

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Ústav speciálněpedagogických studií

Diplomová práce

Bc. Kryštof Coufal

Rozšířená realita: evaluace využitelnosti u osob se zrakovým postižením a jejich
případné přizpůsobení specifickým cílové skupiny

Olomouc 2024

Vedoucí práce: Mgr. Bc. Veronika Růžičková, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Rozšířená realita: evaluace využitelnosti u osob se zrakovým postižením a jejich případné přizpůsobení specifikům cílové skupiny“ zpracoval samostatně pod odborným vedením Mgr. Bc. Veroniky Růžičkové, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Souhlasím, aby moje práce byla uložena na Univerzitě Palackého v Olomouci a zpřístupněna studijním účelům.

V Olomouci dne

Bc. Coufal Kryštof

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucí diplomové práce Mgr. Bc. Veronice Růžičkové Ph.D. za cenné rady, motivaci, podporu, čas a veškeré možnosti další profilace ve studijním oboru. Zároveň bych chtěl poděkovat rodině a přátelům, za jejich neutuchající podporu. Za nezbytné považuji poděkovat také čtenáři, který se nezaleknul a našel odvahu přečíst kompletní práci včetně obtížně vstřebatelných technických termínů a výčtů specifikací jednotlivých zařízení.

V Olomouci dne

Bc. Coufal Kryštof

ANOTACE

Jméno a příjmení:	Kryštof Coufal
Katedra:	Ústav speciálněpedagogických studií
Vedoucí práce:	Mgr. Bc. Veronika Růžičková Ph.D.
Rok obhajoby:	2024

Název práce:	Rozšířená realita: evaluace využitelnosti u osob se zrakovým postižením a jejich případné přizpůsobení specifickým cílové skupiny
Název práce v angličtině:	Extended reality: evaluation of implementation and possible adaptation to specific needs of people who are visually impaired
Anotace práce:	<p>Osoby se zrakovým postižením v každodenním životě používají celou řadu kompenzačních pomůcek, které jim usnadňují život a umožňují jim lépe se začlenit do společnosti. Do kategorie kompenzačních pomůcek můžeme zařadit také zařízení pro rozšířenou realitu. Ty v posledních letech zažily rychlý rozmach a staly se dostupné pro širokou veřejnost. Diplomová práce se zabývá jejich implementací a využitím u cílové skupiny. Popisuje, jak zařízení primárně určená pro intaktní populaci, tak zařízení speciálně uzpůsobená pro potřeby osob se zrakovým postižením. Z práce vyplývá, že zatímco XR zařízení přenášející informace zrakovou cestou již dosáhly dostatečných parametrů pro každodenní využití, XR zařízení využívající hmatové podněty nejsou schopny při současném stavu technologií simulovat realistické objekty. I přes tuto skutečnost nabízejí haptická XR zařízení celou škálu využití u cílové skupiny.</p>

Klíčová slova:	Rozšířená realita, virtuální realita, augmentovaná realita, zrakové postižení, haptická zařízení, kompenzační pomůcky.
Anotace práce v angličtině:	<p>People with visual impairments use a range of compensatory aids in their daily lives to make life easier and enable them to better integrate into society. Extended reality devices can also be included in the category of compensatory aids. These aids have experienced a rapid expansion in recent years and have become available to the general public. The thesis deals with their implementation and use by the target group. It describes both devices adapted specially to the needs of the people with visual impairments and the devices for the rest of the population. The thesis shows that while XR devices transmitting information through the visual path have already reached sufficient parameters for everyday use. XR devices using tactile stimuli are not capable of simulating realistic objects with the current state of technology. Despite this fact, they offer a wide range of applications for the target group.</p>
Klíčová slova v angličtině:	Extended reality, virtual reality, augmented reality, vision impairment, haptic devices, compensatory aids.
Rozsah práce:	94
Jazyk práce:	Český jazyk

Obsah

ANOTACE.....	4
ÚVOD.....	8
1 SMYSLY	10
1.1 Zrak	11
1.1.1 Anatomie zrakového ústrojí.....	13
1.1.2 Fyziologie vidění.....	13
1.1.3 Vlastnosti vidění a jejich diagnostika.....	14
1.1.4 Zraková hygiena.....	18
1.2 Sluch.....	19
1.3 Chut' a čich	20
1.4 Hmat.....	20
1.4.1 Fyziologie hmatu.....	21
1.4.2 Speciálněpedagogické pojetí hmatu.....	23
1.4.3 Využití hmatu v životě osob s těžkým zrakovým postižením	25
1.4.4 Experimentální ověření prahu citlivosti u žáků aktivně využívající Braillovo bodové písmo	27
2 ROZŠÍŘENÁ REALITA VYUŽÍVAJÍCÍ HMAT	59
2.1 Možnosti simulace haptických podnětů	59
2.2 Haptické rukavice	61
2.3 Další haptická zařízení	64
2.4 Bezpečnost a nevýhody zařízení.....	67
3 ROZŠÍŘENÁ REALITA VYUŽÍVAJÍCÍ ZRAK.....	69
3.1 Historie	69
3.2 Zařízení rozšířené reality využívající zrak	70
3.3 Využití u cílové skupiny osob	72
4 DISKUSE, DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝZKUM A LIMITY STUDIE.....	77

4.1	Limity studie.....	79
	ZÁVĚR.....	81
	SEZNAM LITERATURY.....	83
	SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ.....	93
	SEZNAM ZKRATEK.....	94

ÚVOD

Skupina osob se zrakovým postižením je nesmírně různorodá, stejně tak různorodé jsou i kompenzační pomůcky, které mohou tyto jedinci využívat a zkvalitňovat si pomocí nich svůj život. Zařízení rozšiřující realitu jsou skupinou kompenzačních pomůcek, která mohou výrazně pomoci osobám se zrakovým postižením ve všech oblastech jejich života. Může se jednat o oblasti edukace, pracovního uplatnění, trávení volného času, tréninku, rehabilitace nebo péči o vlastní osobu.

Rozšířená realita, dále jen XR, je v kontextu této práce chápána jako zastřešující pojem, jenž pod sebou zahrnuje termíny virtuální realita (VR) a augmentovaná realita (AR). Virtuální realitu je možné chápat jako zcela digitální prostředí, ve kterém je uživatel, pokud možno, zcela odříznut od okolních podnětů, a ztrácí tak povědomí o reálném světě. Augmentovaná realita oproti tomu doplňuje a obohacuje reálné podněty o virtuální prvky. Hranice mezi VR a AR může být v určitých aplikacích natolik tenká, až se ztrácí a termíny působí prakticky synonymně.

Pro simulaci podnětů je nezbytné pochopit, jakým způsobem člověk informace z okolního světa získává a zpracovává. Je potřebné porozumět limitům lidského vnímání a zpracování informací, aby přístroje dokázaly produkovat takové podněty, které obohacují vnímání a nepůsobí naopak protichůdně.

Práce je členěna na tři kapitoly. První kapitola se věnuje lidským smyslům, důraz je kladen převážně na podkapitoly o zraku a hmatu. Součástí podkapitoly věnující se hmatu je i praktická část zjišťující vzdálenost, na kterou jedinec s aktivně rozvíjeným hmatem, není schopen nikdy rozlišit dva body. Druhá kapitola se věnuje zařízením pro rozšířenou realitu, které primárně simulují podněty hmatovou cestou. Třetí kapitola se věnuje zařízením pro rozšířenou realitu, které primárně simulují podněty zrakovou cestou. První kapitola čerpá převážně z tuzemské literatury, jelikož je dostatečně rozsáhlá. V podkapitole o hmatovém vnímání je pracováno i se zdroji polských autorů, vzhledem k tomu, že se standardy haptických popisků mírně liší od standardů na našem území. Druhá a třetí kapitola čerpá převážně z anglicky psaných zdrojů, vzhledem k nízkému počtu publikací na toto téma na našem území.

Diplomová práce ověřuje hypotézu možnosti využití a implementace XR zařízení u cílové skupiny. Na to navazuje i potřeba ověření minimálního prostorového prahu citlivosti u jedinců s aktivně rozvinutým hmatem.

Poznámky autora ke čtení textu:

S ohledem na zachování jasnosti, používá text normy generické maskulinum pro označení osob. Pod veškerými generickými maskuliny v následujícím textu je nutno vnímat i ženské tvary.

V práci je využito ztučnění písma pro lepší čitelnost textu.

V česky hovořícím prostředí v současné chvíli neexistuje ucelená terminologie v oblasti přístrojů simulujících haptické podněty. Autor tudíž anglické výrazy pouze počešťuje, případně je přímo překládá. Může tak docházet k pozměnění, či zkreslení významu oproti originálním textům. Autor si je těchto zkreslení vědom.

1 SMYSLY

Kapitola se věnuje základním lidským smyslům, rozdělena je na čtyři části. Důraz je kladen převážně na část věnující se zraku a hmatu, vzhledem k jejich významu pro cílovou skupinu osob se zrakovým postižením. Pozornost je věnována i podkapitole o sluchu, přestože simulace sluchových podnětů u osob se zrakovým postižením není rozdílná od simulace sluchových podnětů u jedinců intaktních. Část věnující se chuti a čichu byla sloučena v jednu podkapitolu, vzhledem k podobnosti a provázanosti obou smyslů. Zároveň tyto smysly doposud dostatečně nesimulujeme a jejich význam pro tuto práci není stěžejní.

Smyslové orgány a jejich receptory umožňují člověku vnímat podněty vnějšího světa, ale i podněty vnitřní o nás samých. Tyto podněty jsou následně přeměňovány v chemické a/nebo elektrické signály a dále zpracovávány v mozku, kde vytváří celistvou představu. Ačkoliv se od základní školy učíme, že máme pět smyslů, je možné dopočítat se mnohem většího čísla. Jejich počet se liší podle toho, co již považujeme za jiný smysl a co sloučíme ve smysl jediný. Například Poláková (2019) hovoří o osmi až šestnácti smyslech, Bogdashina (2017) uvádí sedm, krom základních pěti (zrak, hmat, sluch, čich a chuť) přidává ještě vestibulární čítí a propriorecepci. Vestibulární činí zprostředkovávají struktury ve vnitřním uchu a umožňují člověku vnímat pohyb a změny polohy hlavy. Pomocí propriorecepce si člověk uvědomuje podněty, které vznikají uvnitř organismu, nejvíce spojené s polohou těla a jeho pohybem, může se však také jednat o informace týkající se potřeby spánku, hladu či žízně. Naše smyslové orgány ve většině případů aktivně nevnímáme a začneme si je uvědomovat až v případě, kdy nám předávají zprávu o nedostatku, jako je právě zmíněný hlad, žízeň, či spánek, a nebo naopak přebytku, jako je příliš velká teplota či tlak způsobující bolest (Poláková, 2019; Bogdashina (2017)).

Smyslové orgány nebo receptory můžeme rozdělit podle toho, jestli zkoumají vnější svět, tedy exteroceptory, nebo vnitřní, tedy interoceptory. Exteroceptory je pak možné dále dělit na distanční (dálkové), kam řadíme zrak, sluch a čich, a kontaktní (dotykové), kam řadíme hmat a chuť (Bogdashina, 2017). Ovšem i u hmatu se můžeme setkat s částečnou schopností vnímat distančně – světelné záření ze slunce dopadající na člověka zanechává na sítnici zrakový vjem a na kůži lze pociťovat jeho teplo. Stejně tak je možné rozpoznat sálající teplo horké plotny ještě před samotným dotekem. Samozřejmě je takovýto vjem velmi nepřesný a člověk je schopen určit pouze přibližný směr odkud přichází.

Při konstrukci zařízení, které člověku simulují senzorické podněty jsou důležité absolutní práh a rozdílový práh. **Absolutní práh** vyjadřuje to, v jaké nejmenší intenzitě smyslový orgán dokáže zaregistrovat podnět. Jedná se však o rozmezí, jelikož je ovlivňován mnoha faktory, jakou jsou únava, pozornost, senzorická adaptace a informační šum. Nad tímto rozmezím se nachází oblast, kterou je člověk schopen postřehnout vždy, a pod ním oblast, kterou není schopen nikdy postřehnout. Tento práh je významný, jelikož je zbytečné simulovat podněty, které člověk není schopen postřehnout. **Rozdílový práh** vyjadřuje to, kdy je člověk schopen rozlišit dva různé počítky od sebe. Ten je nesmírně významný pro účely simulace objektů, jelikož aby se jevil simulovaný objekt jako celistvý, měly by být jednotlivé podněty pod rozdílovým prahem a splývat tak v jeden. Rozdílový práh není konstantní, s rostoucí intenzitou podnětů se snižuje. Člověk tudíž například dokáže lépe rozeznat rozdíl mezi teplotou okolo 25 °C než okolo 60 °C (Plháková, 2023). Aby se simulovaný objekt jevil jako celistvý, je možné využít také různých iluzí, dalších informací z jiných smyslů, předchozích zkušeností, očekávání a specifických vlastností daného jedince.

Důležité je uvědomit si, že smyslové orgány se nevyvinuly proto, aby byly co nejobektivnější. Neumožňují nám objektivní poznání reality, a ani se o to nesnaží, ale poskytují člověku co nejužitečnější informace. Informaci, kterou si pak člověk uvědomuje, je ovlivněna jak jeho předchozí zkušeností, tak jeho ostatními smysly. Lidské smysly jsou navzájem propojeny a doplňují se.¹ Příkladem může být ovlivnění zrakového vnímání hmatovým vnímáním při pozorování sklonu kopce. Pokud člověk nese těžký batoh, vnímá sklon kopce jako větší, jelikož si podvědomě uvědomuje, že energie potřebná ke zdolání kopce je větší (Lotto in Lomvardas et al. 2019). Je tudíž nesmírně důležité na tuto skutečnost myslet i při simulaci virtuálních podnětů. Tohoto efektu lze využít, pokud jeden smysl nedodává dostatek informací pro plnohodnotnou simulaci. Zapojením dalších smyslů je možné tyto informace dodat a dosáhnout lepšího ponoření do simulace. Zároveň to platí i naopak, pokud si podněty získané ze dvou smyslů oponují, může se prožitek stát až nepříjemným.

1.1 Zrak

Podkapitola se věnuje zraku, smyslu, který je považován mnoha autory za nejvýznamnější pro člověka. Kapitola tak představuje jeho význam, způsob, jakým zrak funguje, jaké máme aspekty zrakového vnímání, a jak je můžeme diagnostikovat. Pochopení

¹ Extrémní verzí tohoto propojení je synestézie. Tedy situace, kdy mozek propojí jeden smysl s jiným, který se ovšem nepodílí na získání informace a vzniklý podnět obsahuje „neexistující“ informace. Příkladem může být přiřazení barvy k číslům, nebo chuti k tónům (Cleveland Clinic 2023).

těchto skutečností je klíčové pro co nejlepší kvalitu simulovaných zrakových podnětů. Zároveň tato podkapitola zmiňuje, jak správně o zrak pečovat, aby nedocházelo k jeho zhoršování, které může mít v extrémních případech za následek až úplnou ztrátu zraku.

Zrak má pro člověka obrovský význam, jelikož pomocí něj získává největší množství informací o okolním světě. Dotřelová (in Rozsiva a kol, 2017) hovoří o tom, že člověk pomocí zraku získává 75-85 % informací, zatímco Orel (Merkunová, Orel, 2008) tvrdí, že se jedná až o 90 % informací. O významu zraku rovněž vypovídá i to, že člověk využívá na zpracování zrakových podnětů až 60 % energie mozkové kůry. Zároveň se na zpracování zrakových podnětů podílí okolo jednoho miliónu neuronů, tedy přibližně 33krát více, než na zpracování podnětů sluchových (Šikl, 2013). Z toho vyplývá, že ztráta zraku představuje pro člověka významný deficit informací, který se snažíme nahradit kompenzačními činiteli.

Informace zrakovou cestou získáváme pomocí párového orgánu očí. Světelný paprsek prochází přes optické prostředí oka a dopadá na sítnici. Na sítnici se nacházejí dva typy světločivných buněk – tyčinky a čípky. Lze říci, že čípky jsou určeny k vnímání barev² a tyčinky slouží k vnímání kontrastu. Lidské čípky dokáží vnímat světelné paprsky v rozmezí vlnových délek 390 až 770 nanometrů. Je možné je dále rozdělit podle toho, kterou barvu jsou schopny zachytit. Konkrétně se jedná o čípky zachycující červenou, zelenou a modrou barvu. Kombinací signálů z těchto tří³ druhů čípků pak v mozku vznikají představy o dalších barvách a odstínech (Petr, 2020). Z toho vyplývá, že člověk je evolučně uzpůsobený pro vnímání relativně malého výseku barev a velká část podnětů jeho smyslům uniká. S rozvojem nových technologií lidé objevují nové způsoby, jak zprostředkovaně vnímat i pásma, která byla lidstvu doposud doslova neviditelná. Může se jednat o relativně dobře dostupné termokamery, které jsou určeny pro běžné uživatele, ale také o vesmírné teleskopy⁴ s cenovkou podobnou celoročnímu HDP malého státu.

² Dle Petra (2020) slouží k vnímání barev jen 1/3 čípků. Zbývající dvě třetiny jsou určeny k vnímání informací o obrysech a tvarech.

³ Větší počet druhů čípků bývá na úkor hloubkového vidění. Můžeme se s ním setkat u dravců, u kterých slouží k lepšímu rozpoznání zakamuflované kořisti na pozadí. Další možností je využití velkého počtu druhů čípků u živočichů, kteří mají malou nervovou soustavu a nemusí tak využívat její kapacitu na míchání barev, ale vnímají již přímo danou barvu (Petr, 2020).

⁴ V současné době nejvýkonnější vesmírný teleskop Jamese Webba stál 9,7 miliardy dolarů (U.S. Government Accountability Office 2021), což je podobná cenovka, jako je HDP Kosova v roce 2022 (International Monetary Fund 2023).

1.1.1 Anatomie zrakového ústrojí

Oči jsou párový orgán umístěný v přední části lebky v očníkách, ke kterým jsou přichyceny okohybnými svaly. Okohybné svaly umožňují pohyb očí v šesti rovinách – nahoru, dolů, doprava, doleva, dokola po směru a proti směru hodinových ručiček. Oči mají kulovitý tvar o průměru 23 mm, pouze v předozadní rovině jsou prodloužené na 24 – 26 mm. Stěna oční koule je tvořena třemi vrstvami:

- vnější neprůhledná vazivová vrstva bělima, která v přední části oka přechází v opticky průhlednou rohovku;
- prostřední vrstva žívatka sloužící k vyživování a okysličování oka. Tu tvoří v cévnatka nacházející se v zadní části oka, řasnaté tělísko nacházející se více vpředu a duhovka v přední části oka;
- vnitřní vrstva sítnice.

Oční koule se dělí na dvě komory: přední komora vyplněná komorovou tekutinou je od zadní komory oddělená čočkou, duhovkou a řasnatým tělískem. Zadní komora je vyplněná rosolovitou tekutinou – sklivcem. V zadní části oční koule prochází přes sítnici oční nerv, tuto oblast nazýváme slepou skvrnou a jak název napovídá, nenalezneme zde žádné světločivné buňky, které by umožňovaly vidění. Čtyři milimetry od slepé skvrny naopak najdeme místo nejostřejšího vidění – žlutou skvrnu. Ta má kruhovitý, až eliptický tvar o průměru 3 mm, nachází se v ní vrchol optické osy oka a je složena na rozdíl od zbytku sítnice pouze z čípků (Ludíková, 2012; Synek a Skorková 2014).

1.1.2 Fyziologie vidění

Světelný paprsek prochází přes rohovku do přední oční komory. Duhovka následně reaguje na množství světla, pokud je světla moc, stáhne se a dovolí tak projít pouze menšímu množství světelných paprsků, pokud je naopak světla málo, roztáhne se a okem projede větší množství světelných paprsků. Světelný paprsek poté prochází přes čočku. Tvar čočky upravuje řasnaté tělísko, které změnou tvaru čočky reguluje zaostření tak, aby se obraz, který dále putuje přes sklivec až na sítnici, jevil co možná nejostřejší. Na sítnici se dle Ludíkové (2012) nachází 100 miliónů tyčinek a 4 milióny čípků, podle Synka a Skorkové (2014) se jedná o 130 miliónů tyčinek a 7 miliónů čípků a Merkunová a Orel (2008) hovoří o 120 miliónech tyčinek a 6 miliónech čípcích. Jakmile na světločivné buňky dopadne světelný paprsek, vyvolá chemickou reakci, která ve formě vzruchů putuje očním nervem do mozku. Na cestě do okcipitálního laloku se zrakové nervy částečně kříží v oblasti chiasma opticum – informace

z pravé části zorného pole obou očí putují do levé hemisféry a informace z levé části zorného pole obou očí jsou přenášeny do pravé hemisféry (Ludíková, 2012; Synek a Skorková 2014). Z toho vyplývá, že aby se světelný paprsek stal vjemem dále zpracovávaným mozkiem, musí projít řadou lomivých prostředí oka. Pokud ale dojde na některém z nich k poruše, získá člověk vizuální informaci v lepším případě pozměněnou, v tom horším ji nezíská vůbec.

1.1.3 Vlastnosti vidění a jejich diagnostika

Pomocí zraku jsme schopni vnímat mnoho různých aspektů pozorovaných objektů, jako je například barva, tvar, velikost, pohyb, hloubka, vzdálenost atd. Každý z těchto aspektů je zpracováván v jiném okrsku (v jiné oblasti) zrakového kortexu (Bogdashina, 2017, str. 24). Jsme tudíž schopni určit, která část mozku je zodpovědná za zpracování konkrétní části informace.

- I. **Vizus**, neboli zraková ostrost, je schopnost oka rozlišit od sebe dva různé objekty. K tomu je potřeba, aby na sítnici oka byl mezi těmito objekty alespoň jeden čípek. Při diagnostice zrakové ostrosti zjišťujeme minimální úhel rozlišení (MÚR). Z MÚR následně vypočítáme vizus, který se udává v obloukových minutách. Rozlišujeme vizus do blízka, který se zpravidla měří na vzdálenost 30 nebo 40 cm a vizus do dálky, který se zpravidla měří na vzdálenost 5 nebo 6 m. Zraková ostrost se v jednotlivých částech oka se liší, jelikož se liší hustota světločivných buněk na sítnici. V průměru můžeme na sítnici nalézt 40 000 světločivných buněk na jednom milimetru čtverečním, ovšem v oblasti žluté skvrny dosahuje hustota světločivných buněk 200 000 na jednom čtverečním milimetru (Petr, 2020; Rozsival a kol., 2017).

Při diagnostice vizu používáme optotypy. Jedná se o standardizované testy, na kterých jsou symboly v různých velikostech. Velikost symbolů záleží na tom, pro jakou vzdálenost rozpoznávání je test určen. Při diagnostice vizu do dálky se zpravidla jedná o 5 nebo 6 metrů. Výslednou hodnotu zrakové ostrosti udáváme ve zlomku, jehož číselník představuje vzdálenost, ze které je schopný jedinec rozpoznat daný symbol, a jmenovatel je vzdálenost, ze které je schopný daný symbol rozpoznat jedinec s neporušeným vizem. Vzdálenost, která je udávaná ve jmenovateli je zpravidla násobkem vzdálenosti, na kterou se vyšetřuje, tedy například 12, 18, 60 při testování na 6 m. Výsledný zlomek tudíž ukazuje v čitateli vzdálenost, na kterou je jedinec schopen symbol rozpoznat a ve jmenovateli vzdálenost, ze které by ji měl rozpoznat se zdravým zrakem. Pokud vydělíme číselník jmenovatelem a výsledek vynásobíme 100, získáme procentní vyjádření vizu jedince, tedy kolik % zrakové ostrosti má oproti jedinci

s neporušenou zrakovou ostroší. Nejčastěji se při diagnostice vizu do dálky se symboly ve tvaru písmen, čísel, Landoltových prstenců, Pflügerových háků, nebo LEA symbolů.⁵

Nevýhodou optotypů využívajících písmen a čísel je to, že jednotlivá písmena a znaky nejsou konstantní v tom, ze které vzdálenosti je lze rozpoznat, zatímco některé písmeno/číslici jde z určité vzdálenosti rozpoznat dobře, jiné ve stejné velikosti už nikoliv. Jsou proto nahrazovány znaky, které se liší otočením o určitý úhel, nejčastěji Landoltovými prstenci, které mají tvar písmene O, ve kterém je prázdná výseč. Tato výseč je otočená v násobcích 45° a jedinec má určit, kde se tato výseč nachází. Dalším často využívaným optotypem jsou Pflügerovy háky, jež mají tvar písmena E, které je otočeno v násobcích 90° a stejně jako u Landoltových prstenců určuje proband, kterým směrem je symbol otočen. Dalším často používaným optotypem jsou LEA symboly. Výhodou je dobrá využitelnost u dětí v předškolním věku, kdy ještě nemusí umět pojmenovat symboly využívané v jiných testech, nebo to, kam jsou otočené. V tomto optotypu se setkáváme se symbolem čtverce, kruhu, domečku a jablíčka, ale dítě si je může pojmenovat jakkoliv. Pokud vyšetřujeme dítě, které není schopné symboly říkat, může využít kartiček s těmito symboly a pouze na nich ukazovat, který z nich vidí. Je možné tento optotyp využívat jak pro vyšetřování zrakové ostroší do dálky i do blízka. Zároveň je se s těmito symboly setkáváme i u diagnostiky dalších dílčích zrakových funkcí, jako je například citlivost na kontrast a crowding neboli „nahloučenost“.⁶ Vyšetření vizu do blízka probíhá obdobně, je možné využít stejné optotypy jako u vyšetření vizu do dálky, samozřejmě velikostně standardizované na vyšetřovací vzdálenosti 30 nebo 40 cm. Rovněž se často setkáváme s diagnostikou pomocí Jägerovy tabulky. Jedná se o souvislý text, kdy každý odstavec má postupně narůstající velikost textu. Jednotlivé odstavce jsou označeny čísly. Z množství různých diagnostických materiálů vyplývá, že lze samotnou diagnostiku dobře uzpůsobit potřebám a schopnostem probanda, a tím získat co možná nejpřesnější obrázek o stavu jeho zrakové ostroší (LEA-Test, 2019; Ludíková, Finková, Růžičková, 2017; Rozsival a kol., 2017).

Pokud chceme vyšetřit dítě, které není schopno verbálně ani neverbálně vyjádřit, jaký symbol vidí, je možné použít test LEA Gratings. Ten funguje na principu

⁵ LEA symboly jsou čtyři obrazce, které mají tvar kruhu, čtverce, domečku a jablka. Jsou navrženy tak, aby se všechny ve stejné vzdálenosti/narušení vizu rozmazaly do stejného tvaru. Proband tak na rozdíl od jiných symbolů nemůže ani úspěšně hádat, o jaký symbol se jedná (LEA-Test, 2019).

⁶ „Nahloučenost“ znamená horizontální vzdálenost mezi dvěma symboly. Čím větší je nahloučenost, tím menší je horizontální vzdálenost mezi dvěma symboly.

preferenčního pohledu, tedy toho, že dítě zaujme více plocha, na které se něco nachází, než jednolitá šedá plocha. Vyšetřující má v rukou dvě pátky, jedna je šedá a druhá má na sobě vzor s černobílými svislými čarami. Šedou pátku drží před pátkou se vzorem a následně každou rukou pohybuje pátkami do jiné strany a přitom sleduje, zdali dítě sleduje pohledem pátku se vzorem či nikoliv. Pálek se vzorem je několik a liší se šířkou čar a mezer. Podle toho, na jakou pátku s nejhustějším vzorem čar ještě dítě pohledem reaguje, jsme schopni určit jeho vizus. Test provádíme z 57 cm, nebo v násobcích této vzdálenosti (LEA-Test, 2019). Dalším testem využívajícím principu preferenčního pohledu je Cardiff Acuity test. U něj se nesetkáváme s pátkami, ale na šedé ploše jsou umístěny symboly buď nahoře, nebo dole. Sledujeme tudíž, zdali se dítě dívá nahoru, či dolů. Test je určen pro děti ve věku jeden až tři roky (Grafton Optical). Z výčtu testů je možné pozorovat, že existuje velké množství možností, které lze využít pro zjišťování vizu. Z tohoto důvodu můžeme přizpůsobit volbu testu věku a kognitivním schopnostem probandů.

- II. Zorné pole** je oblast vidění, kterou člověk vnímá při fixaci jednoho bodu, bez toho, aby se oko, nebo celá lebka pohybovala. Velikost zorného pole se liší u každého jedince podle tvaru lebky a postavení očí v ní. Zorné pole určujeme u každého oka zvlášť. Orientační diagnostiku zorného pole můžeme určit pomocí konfrontační zkoušky. Ta probíhá tak, že posadíme probanda naproti nám ve vzdálenosti jednoho metru. Proband si zakryje jedno oko a druhým se dívá na náš nos. V tuto chvíli z periferie do centra pohybujeme prstem, nebo nějakým objektem a proband má za úkol říct, ve který moment daný objekt zaregistruje. Přesnou diagnostiku zorného pole provádíme pomocí počítačové perimetrie, kdy zjišťujeme nejen rozsah zorného pole, ale i defekty v něm. Počítačová perimetrie funguje tím způsobem, že na obrazovce před člověkem se objevují body a on má za úkol zaznamenávat jestli si jich všimnul či nikoliv. Tímto způsobem je možné odhalit případné skotomy, kterých si nemusel ani sám proband ještě všimnout, jelikož je jeho mozek dokázal „doplnit“ (Rozsival a kol., 2017).
- III. Binokulární vidění** vzniká, pokud se obrazy obou očí spojí v jeden a vzniká tak vjem, který je kvalitativně na vyšší úrovni než pouze vidění oběma očima. Binokulární vidění se vyvíjí ještě dlouho po narození a zdokonaluje se až do šesti let. Binokulární vidění je možné dělit do třech vývojových stupňů: Při **simultánní percepci** dokáže jedinec vnímat obraz na sítnicích obou očí, v rámci **fúze** se spojují obrazy obou očí v jeden. Nejdokonalejším stupněm je **stereopse**, kdy je člověk schopen prostorového vnímání (Finková, Ludíková, Růžičková, 2007; Rozsival a kol., 2017). Jedním z častých

screeningových testů je například Langův stereotest. Probandovi je prezentována karta, na které jsou v šumu teček ukryty tvary. Probandovi s neporušeným binokulárním viděním „vystupují“ obrazce z plochy a díky tomu je dokáže identifikovat. Toho je dosaženo pomocí technologie lentikulární čočky (Lang-Stereotest, 2024).

IV. Barevné vidění je schopnost vnímat různé vlnové délky viditelného záření dopadající na sítnici, jako rozlišné barvy. Lidské čípký jsou schopny vnímat záření v rozsahu 380 nm až 760 nm. Tuto schopnost má člověk díky třem⁷ druhům čípků, které každé vnímají jinou barvu – modrou (440–450 nm), zelenou (535–555 nm) a žlutou až červenou (570–590 nm). Informace o barvě, která je nakonec v mozku zpracovávána jako barevný vjem, je charakterizována barevným tónem, sytostí a jasem. Zdravý člověk je schopen vnímat až 10 miliónů barev.⁸ O poruše barevného vidění hovoříme v případě, kdy dochází k poruše na jedné či více skupinách čípků a člověk není schopen vnímat barevné podněty v dané vlnové délce, nebo je vnímá pozměněně. Poruchy barvocitu lze screeningově testovat pomocí pseudoizochromatických tabulek, přesnější jsou ovšem například Farnsworthův a Munsellův 100-hue-test. Ten se skládá z barevných terčů, které má proband za úkol sestavit tak, aby byl rozdíl odstínů sousedních barev co nejmenší. Poruchy barvocitu nejsou v současné době léčitelné, avšak existují brýle, které jsou po nasazení schopny posunout vlnovou délku dopadajícího světla tak, aby některých osobám s mírnou poruchou barvocitu dokázaly zlepšit vnímání na porušených čípcích. Tyto brýle ovšem fungují jen pro velmi specifickou skupinu osob s poruchou barvocitu, nejedná se tak o univerzální kompenzaci zrakové vady (Mukamal, 2017; Mukamal, 2021; Rozsival a kol., 2017).

V. Citlivost na kontrast je významná, jelikož nám ukazuje, jak dokáže člověk rozlišovat objekty v běžném životě a nejen v optimálních světelných podmínkách, jako je tomu u vyšetření vizu. Při vyšetření citlivosti na kontrast se snažíme nalézt prahový stimul, tedy takovou intenzitu stimulu, která právě dokáže vyvolat vjem (Rozsival a kol., 2017). Znamená to, že vyšetření kontrastní citlivosti je velmi významné ve speciální pedagogice právě kvůli tomu, že se zaměřuje na schopnosti, které se promítají do

⁷ Robson (2014) uvádí, že až 12 % žen má 4 druhy čípků, a díky tomu jsou teoreticky schopny vnímat až miliardu různých barev, tedy 100krát více, než zbytek populace. Je to z toho důvodu, že geny pro kódování zelených a červených čípků se nacházejí na chromozomu X, tudíž nositelé dvou chromozomů X mohou mít sadu čípků, které vnímají trochu jinou vlnovou délku a tím rozšiřují schopnost diferenciac barev.

⁸ Vnímání barvy objektu není objektivním vjemem a ovlivňují jej předchozí zkušenosti. Barvu známého objektu vnímáme konstantě během různých světelných podmínek. To znamená, že například pomeranč budeme stále vnímat jako oranžový i pod modrým světlem i když nebudou podrážděny čípký, které mají na svědomí vnímání oranžové barvy (Mukamal, 2017).

běžného života. Kontrast u nejmenších dětí můžeme vyšetřovat například pomocí testu Hiding Heidi, který funguje obdobně jako test s pálkami. Na jedné ploše se nachází smějící se obličej, druhá plocha je šedá. I zde rovněž pozorujeme, za kterou plochou se dítě otočí. Obličejové jsou v kontrastu 25 %, 10 %, 5 %, 2,5 % a 1,25 % (LEA-Test, 2019). U starších osob prezentujeme symboly ve stejných kontrastech jako u nejmenších dětí. Nejčastěji se jedná o LEA symboly, písmena, nebo čísla. Pokud člověk dokáže identifikovat symboly v daném kontrastu, pokračujeme ke kontrastu nižšímu a to až po ten nejnižší.

VI. Adaptace na tmou začíná v momentě, kdy přejde člověk z osvětleného prostředí do tmy. Tento proces má dvě fáze, během kterých se vidění postupně v průběhu hodiny zlepšuje. V první rychlé fázi se rychle adaptují čípky a citlivost sítnice se zlepší 100krát. Po ní následuje fáze adaptace tyčinek, která trvá až 45 minut, během ní se citlivost sítnice zvýší až 100 000krát (Synek a Skorková, 2014). Vzhledem k tomu, že je tato vlastnost navázána na metabolické přeměny vitamínu A, při jeho nedostatku může docházet až k šerosleposti (hemeralopii), tedy k poruše vidění za snížené světelné intenzity (Štefánek, 2015).

1.1.4 Zraková hygiena

Vzhledem k významu zraku pro člověka, je důležité zabránit snižování jeho kvality a snažit se jej udržet na co nejvyšší úrovni. To platí u intaktních jedinců, a o to víc u jedinců se zrakovým postižením, jelikož pro ně absolutní ztráta představuje procentuálně vyšší ztrátu. Přetěžováním zraku může docházet až k jeho ireverzibilnímu poškození, případně úplné ztrátě. Dlouhodobé nedodržování zrakové hygieny má tudíž potenciálně obrovský dopad na život jedince. Z tohoto důvodu je důležité dodržovat zásady zrakové hygieny a předcházet tak prohlubování zrakového postižení. Právě osoby se zrakovým postižením často svůj již poškozený zrak přetěžují z důvodu snahy získat dostatek informací zrakovou cestou za cenu progrese jejich zrakové vady.

Základním pravidlem zrakové hygieny je umožnění zrakového odpočinku. Jedinci mělo být umožněno střídat práci do blízka, která je náročná na zrakovou kontrolu, se zrakovým odpočinkem. Doporučuje se po každých 20 minutách takovéto práce umožnit alespoň 20 sekund „práce“ do dálky – alespoň 20 stop (okolo 6 m). Toto pravidlo nazýváme pravidlem 20/20/20. Důležité je také například zamezovat vysychání očí, to je v dnešní době velmi významné, jelikož člověk nemá při práci na počítači tendenci dostatečně často mrkat. Oči se kvůli nedostatku mrkání vysušují a je potřeba vědomě při činnostech mrkat, nebo používat oční

kapky proti vysychání očí. Lidské oko rovněž vysušuje prašné prostředí, a je proto vhodné využít očních kapek i v případě dlouhodobého pravidelného pobytu v těchto prostředích (Boyd, 2023).

Z této podkapitoly je možné získat základní přehled o tom, jak významnou roli hraje zrak v životě člověka, jaké množství informací pomocí něj získává. Čtenáři je představeno, jakým způsobem člověk tyto informace získává, z jakých aspektů se zrakové vnímání skládá a jak je možné tyto jednotlivé aspekty diagnostikovat.

1.2 Sluch

Sluch je subjektivní smysl, kterým vnímáme zvukové vlny šířící se vzduchem. Lidé jsou schopni vnímat zvukové vlny o frekvenci v rozmezí od 16 do 20 000 Hz. Zvukové vlny projdou sluchovým aparátem, který je přemění na nervové impulzy, a ty potom mozek interpretuje jako zvukové vjemy. Sluchový aparát se skládá z vnějšího, středního a vnitřního ucha. **Vnější ucho** je tvořeno ušním boltcem, vnějším zvukovodem a bubínkem. Ty směřují zvukové vlny do **středního ucha**, kde rozechvívají bubínek. Chvění je přenášeno sluchovými kůstky – kladívkem, kovádlíčkem a třmínkem, na oválné okénko. Oválné okénko je membránou mezi středním a **vnitřním uchem**. Z oválného okénka se chvění dostává do hlemýžďe, kde jsou zvukové receptory – vláskové buňky, které se chvěním ohýbají a tím vzniká nervový vzruch (Orel, Facová a kol., 2010; Plháková, 2023).

Ve vnitřním uchu se nachází rovněž **vestibulární aparát**, který reaguje na rychlost a směr, kterým se hlava otáčí, její polohu, pohyby dopředu, dozadu, nahoru a dolů. Primárním úkolem je udržování rovnováhy, bez ní by člověk nedokázal kráčet po dvou nohách. Vestibulární smysly úzce spolupracují se zrakem. Pokud ovšem informace, které člověk získává z jednoho z těchto smyslů, neodpovídá tomu druhému, může docházet u člověka k nevolnosti. Z tohoto důvodu někteří lidé potřebují sledovat cestu při jízdě dopravními prostředky, aby informace z obou smyslů odpovídaly (Plháková, 2023). Tento rozpor můžeme pozorovat i v rámci virtuální reality. Nevolnost ve virtuálním prostředí většinou vyvolá opačná kombinace, kdy člověk zrakem vnímá, že se v prostředí pohybuje, ale vestibulární aparát předává mozku informace, že je na místě. Poměrně funkčním řešením tohoto problému objevujícím se ve virtuální realitě je použití teleportace místo rovnoměrného pohybu, jako je chůze či běh. Tímto způsobem je možné ošálit tuto neshodu dvou smyslů a zabránit tím vzniku nevolnosti, nebo alespoň výrazně oddálit dobu jejího vzniku (Prithul a kol., 2021).

Z toho vyplývá, že sluch a vestibulární aparát hrají významnou roli při simulaci virtuálních podnětů. Informacemi z těchto dvou smyslů lze dotvářet a obohatit povědomí o virtuálním světě. Kombinací a spoluprací dostatečného množství simulovaných podnětů z vícero smyslů je možné ošálit mozek, který je od určité chvíle považuje za skutečné. Čím více smyslů a kognitivních funkcí je zapojeno do simulace, tím je nutná menší kvalita jednotlivých simulovaných podnětů.

1.3 Chut' a čich

Chut' i čich jsou smysly, které nám poskytují informace o chemických látkách obsažených v kapalinách, respektive v plynech. Receptory chuti, někdy též chuťové pohárky, se nachází v dutině ústní, převážně na jazyku. Receptory čichu najdeme v čichovém epitelu nosních dírek a na rozdíl od všech ostatních smyslů se informace z něj v mozku nekříží a pokračují přímo do mozkové kůry. Zatímco u chuti rozlišujeme 5-6 základních chutí (slanou, sladkou, kyselou, hořkou, pálivou a umami) u čichu hovoříme o 20 a více variantách. Čich může zprostředkovávat silné počitky, na které si ovšem po čase člověk přivykne a přestane je registrovat. Chuť sama o sobě je poměrně slabá, významně ji však obohacuje právě čich a hmat (vnímání textury a teploty) (Bogdashina, 2017). Jak můžeme na příkladu těchto dvou smyslů pozorovat, rozdíl mezi dálkovým a kontaktním smyslem leží na velmi tenké linii. Čich zaznamenává chemické molekuly v plynu, zatímco chuť v kapalině. Důležité je rovněž, že chemické látky ze své podstaty nenesou informaci o vůni. Až mozek přiřazuje chemickým látkám informace o jejich vůni.⁹ Schopnost vnímat vůně a pachy se evolučně vyvinula, aby člověka varovala před nebezpečím, nebo aby jej naopak přivedla k něčemu, co mu poskytlo například stravu¹⁰ (Lomvardas a kol. 2019).

Vzhledem k tomu, že pro vznik podnětu je nutné, aby chemická látka přišla do kontaktu s receptorem, je obtížné simulovat podněty vzniklé pomocí čichu a chuti. Zároveň v průběhu běžného života nezískáváme množství informací těmito dvěma smysly a nemají tudíž takový význam, jako je tomu u zraku, sluchu a hmatu. Z tohoto důvodu se těmito smysly v následujících kapitolách tato práce již dále nevěnuje.

1.4 Hmat

⁹ Již John Locke (2012) na konci 17. století hovořil o tom, že jisté vlastnosti objektů vznikají až v lidské psychice. Řadil zde právě chuť, vůni, barvu, teplo, chlad a bolest.

¹⁰ Ukázkou toho, jak dokonale se vyvinul čich u lidí je schopnost registrovat geosmin, chemickou látku, která se typicky objeví při prvním dešti, který zvlhčí půdu. Tu je schopný člověk registrovat už od koncentrace 100 částic na miliardu, tedy přibližně 10 000 krát lépe, než slavná schopnost žraloka vnímat kapku krve ve vodě (Fox, 2020).

Podkapitola se věnuje hmatovému vnímání. Představuje čtenáři, jakým způsobem člověk získává informace hmatovou cestou. Ukazuje složitost hmatového vnímání, jeho specifika, různorodost buněk, které jsou drážděny různými podněty. Zároveň představuje hmat ze speciálněpedagogického hlediska jako kompenzační smysl, který má v životě osob se zrakovým postižením nezastupitelnou roli. Představuje jeho význam pro cílovou skupinu a specifika, která vyplývají z jeho rozvoje. Součástí této kapitoly je i výzkumná část, která zkoumá rozlišení hmatu u osob, které svůj hmat aktivně rozvíjejí.

Hmat má pro člověka s těžkým zrakovým postižením nezastupitelnou roli, jelikož díky němu může získávat alespoň část informací, které by jinak získával zrakovou cestou. Hmat se od zraku výrazně liší v kvalitě i kvantitě získávaných informací a nedokáže z tohoto důvodu plně nahradit zrakový deficit. Hlavním rozdílem je vzdálenost, na kterou může člověk pomocí hmatu získávat informace. Zatímco zrak je dálkový analyzátor, hmat je analyzátor kontaktní a dokáže tak získávat informace převážně jen přímým dotykem s objektem. Pomocí hmatu z toho důvodu není možné například poznat barvu objektu, nebo to, jestli je na něm něco napsané, ale naopak lze lépe vnímat jeho strukturu, tvar a pro zrak nepostřehnutelnou tvrdost, váhu či teplotu. Člověk s těžkým zrakovým postižením využívá hmat, případně sluch, na kompenzaci svého zrakového deficitu prakticky ve všech činnostech (Finková a kol., 2007; Růžičková, Kroupová, 2020).

1.4.1 Fyziologie hmatu

Hmat vnímáme jako jeden smysl, je ovšem možné jej dále dělit na jednotlivé části podle toho, jaké podněty jednotlivé receptory vnímají, a kde se tyto receptory nacházejí. Rozlišujeme receptory nacházející se nejčastěji v hlubších strukturách těla – ve svalech, kloubech, šlachách. Ty nám poskytují informace o statické a dynamické propriorepci, tedy o poloze lidského těla a jeho částech a o jejich dynamice. Tuto část hmatu nazýváme **hloubkovým čítím**. Oproti tomu receptory **kožního čítí** se nacházejí v kůži a informují člověka o působení vnějšího světa na lidské tělo. Kůže je největším orgánem lidského těla, má povrch 1,5 až 2 m². Jednotlivé receptory v ní však nejsou rovnoměrně zastoupeny, jejich rozlišení se liší jak v závislosti na umístění na těle, tak v rámci jednotlivých vrstev kůže. Nejvíce kožních receptorů můžeme nalézt na bříšcích prstů horních končetin, na rtech, špičce jazyka, vnějších pohlavních orgánech či bradavkách. Naopak nejméně kožních receptorů a tudíž nejmenší kožní citlivost nalezneme na zádech a chodidlech (Merkunová, Orel, 2008; Plháková, 2023). Hmatové vnímání na ploskách nohou je však významné během prostorové orientace osob s těžkým zrakovým

postižením, jelikož jim mohou poskytovat další užitečné informace. Z tohoto důvodu u těchto osob pracujeme na rozvoji hmatu už od dětství.

Rozlišujeme tři základní druhy receptorů **kožního čítí** a to: **mechanoreceptory**, **termoreceptory** a **nocireceptory**. **Mechanoreceptory** slouží k rozlišování mechanického působení podnětů na lidské tělo. Kromě přímého působení podnětu na kůži dokáží také zaznamenat jejich působení na vlasy a ochlupení. K **mechanoreceptorům** patří:

- **Merkelovy disky**, ty slouží k vnímání doteku a lehkého tlaku. Z tohoto důvodu jsou umístěny co nejbližše podnětům, tedy v povrchových vrstvách kůže. Slouží k rozpoznávání obrysů předmětů;
- **Meissnerova tělíska**, která zaznamenávají jemné chvění do frekvence 80 Hz. Tyto tělíska se nacházejí v horní části škáry. Slouží k rozpoznávání struktury povrchu předmětu. Meissnerova tělíska i Merkelovy disky jsou nejvíce zastoupeny na bříscích prstů horních končetin. To znamená, že tato část těla nejlépe zachycuje tyto podněty;
- **Ruffiniho tělíska**, nacházejí se v hlubokých vrstvách koria kůže. Jsou citlivá na napětí kůže spojené s pohyby. Zároveň reagují na zvyšující se teplotu v kůži. Znamená to tedy, že dokáží zaznamenávat vícero podnětů najednou;
- **Vaterova-Paciniho tělíska** se nacházejí ze všech mechanoreceptorů nejhluběji, v tela subcutanea. Podle Plhákové (2023) optimálně reagují na vibrace o frekvenci 100 až 200 Hz, podle Rokyty (2015) optimálně reagují na vibrace o frekvenci 100 až 300 Hz.

Termoreceptory jsou citlivé na změnu teploty kůže ve vrstvách, kde jsou uloženy. Termoreceptory dělíme na dva typy. Již výše zmiňované **Ruffiniho tělíska**, která reagují na vyšší teplotu, než je teplota tělesná. Optimálně tudíž reagují na teplotu 40 až 45 °C. Druhými termoreceptory jsou **Krauseho tělíska**, které reagují na chlad, tedy teplotu nižší, než je teplota tělesná.

Nocireceptory jsou kožní receptory, které reagují na bolestivé podněty. Můžeme je dělit na tři typy a to na **mechanosenzitivní nocireceptory**, které reagují na silnou mechanickou stimulaci. **Termosenzitivní nocireceptory**, které reagují na teploty vyšší než 45 °C, nebo nižší než 10 °C. Třetím typem nocireceptorů jsou **polymodální nocireceptory**, které reagují na všechny druhy bolestivé stimulace. Ty se nacházejí nejen v kůži, ale i v hlubších tkáních a reagují na chemické látky uvolňované při poškození tkáně (Merkunová, Orel, 2008; Plháková, 2023; Rokyta a kol., 2015).

Receptory **hloubkového čítí**, nebo též proprioreceptory, reagují na pohyby v kloubech, napětí ve svalech a šlachách. Díky tomu je mozek schopen vyhodnotit polohu jednotlivých kloubů, šlach a svalů a jejich dynamiku. **Ruffiniformní tělíska** nalezneme v kloubních pouzdrech a vazech. Tyto receptory nám umožňují vnímat extrémní polohu kloubů. **Paciniformní tělíska** rovněž umístěná v kloubních pouzdrech a vazech nám oproti tomu poskytují informace o jemnějších pohybech. **Svalová vřeténka** jsou umístěny paralelně s vlákny příčně pruhovaného svalu a předávají informace o poloze jednotlivých svalů (Rokyta a kol., 2015).

1.4.2 Speciálněpedagogické pojetí hmatu

Speciální pedagogika vnímá hmat u zrakově postižených jako jeden z nižších kompenzačních činitelů, který je třeba rozvíjet už od nejtělejšího věku. Je to z toho důvodu, aby dítě se zrakovým postižením hmat zdokonalovalo a mohlo jej tak v co největší míře využívat v běžném životě. Speciální pedagogika dělí hmat podle toho, jakým způsobem jej osoba se zrakovým postižením používá, a to na hmat **aktivní**, **pasivní** a **instrumentální** (zprostředkovaný). **Aktivním hmatem** rozumíme situaci, kdy jedinec svou vlastní částí těla vyhmatavá určité předměty. To znamená, že se část těla, nejčastěji dominantní horní končetina, případně obě horní končetiny, pohybuje na předmětu, který chce jedinec zkoumat. V mozku tímto způsobem skládá jednotlivé detaily k sobě a utváří si tak představu o zkoumaném objektu. Hovoříme tedy o hmatové analýze a syntéze. Tímto způsobem získává jedinec poměrně mnoho informací o objektu, avšak je omezen dosahem svého těla. V rámci **pasivního vnímání** je jedinec v klidu a objekt působí na jeho hmatové receptory. Tímto způsobem získává jedinec méně informací, než je tomu u hmatu aktivního. Během **instrumentálního hmatu** stojí mezi jedincem a objektem, který prozkoumává, další předmět, který slouží k zvýšení rozsahu hmatu. Nejčastěji používaným předmětem využívaným při instrumentálním hmatu osobami se zrakovým postižením je **bílá hůl**. Hmat můžeme rovněž rozdělit podle toho, jestli používáme pouze jednu horní končetinu – tento způsob nazýváme **monomanuální**. Druhou možností je využití obou rukou – tedy **bimanuální** způsob hmatání. Výhodou bimanuálního způsobu hmatání je vyšší přesnost, rychlost a podrobnost (Finková, 2011).

Hmat se od zraku rovněž liší způsobem, jakým se v mozku tvoří představy o objektu. Zatímco při zrakovém vnímání nejdříve člověk vnímá celek a až následně se zaměřuje na jednotlivé detaily, hmatem naopak nejdříve vnímáme jednotlivé detaily, které jsou následně v mozku skládány v ucelenou představu o daném objektu. Tento způsob vnímání je ovšem mnohem náročnější na pozornost i na čas, z náročnosti celého procesu zároveň vyplývá i to, že

i zdánlivě jednoduchá činnost může způsobovat poměrně velké kognitivní vyčerpání (Růžičková, Kroupová, 2020). Na kognitivní vyčerpání je potřeba myslet zejména v procesu edukace jedince. Je důležité v rámci dne pamatovat na tuto skutečnost a umožnit žákovi či studentovi odpočinek, aby mohl i nadále podávat odpovídající výkon.

Hmatové vnímání může být negativně ovlivněno na jedné straně jedincem samotným a na druhé straně zkoumaným objektem. Důsledkem toho může být získaný vjem kvalitativně horší, nebo není možno jej zcela vnímat tímto smyslem. Negativně ovlivnit hmatové vnímání ze strany jedince může například poškození kožního cití ať už fyzikální, chemické či biologické; poškození centrální nervové soustavy; momentální rozpoložení jedince, jako je únava, či pozornost; překážky psychogenního původu jako jsou strach, či přecitlivělost na některé podněty vyvolávající pocity nelibosti; věk. Překážky můžeme nalézt i na straně zkoumaného objektu a jedná se například o velikost objektu, kdy je objekt například příliš malý, nebo naopak příliš velký; fyzikální a chemické vlastnosti jako je teplota, elektrické napětí, ionizující záření, chemické složení poškozující tkáň; dynamika objektu, kdy je velmi obtížné a často úplně nemožné hmatem vnímat pohybující se objekty (Růžičková, Kroupová, 2020). Z toho vyplývá, že celá řada podnětů je pro osoby se zrakovým postižením nevnímatelna pomocí hmatu. Řešením by mohla být právě simulace těchto podnětů v takové podobě, která by je dovoľovala bezpečně poznat a přizpůsobit velikost individuálním potřebám každého jedince. Bylo by tudíž možné si například upravit velikost staveb tak, aby se člověku vešli do hmatového pole, osahat si jaderný reaktor či bezpečně nacvičit nebezpečné činnosti, u kterých by jinak hrozil úraz.

Vzhledem k významu hmatu pro člověka s těžkým zrakovým postižením je nezbytně nutné, aby pečoval o své ruce, především bříška prstů. Je vhodné dbát zvýšené opatrnosti, aby nedošlo ke zranění pokožky, zjizvená tkáň totiž ztrácí část svých kvalit a není tudíž možné ji uplatnit do takové míry jako tomu bylo před zraněním. Zranění mohou být nejrůznějšího charakteru, může se jednat o řezné zranění, popáleniny ať už teplem, nebo chemickými látkami, ionizující záření, jiná mechanická zranění atd. K poškození kůže může docházet také vlivem různých nemocí, jako jsou například ekzémy. Negativní dopad na schopnost hmatání mohou mít i mozoly a jiné rohovatění kůže. Kromě opatrnosti je proto zároveň důležité pokožku chránit a hydratovat pomocí různých mastí.

1.4.3 Využití hmatu v životě osob s těžkým zrakovým postižením

Hmat dosahuje nejvyššího významu právě u osob s těžkým zrakovým postižením, jelikož osoby s lehčím zrakovým postižením ve valné většině případů preferují využití zachovalých úrovní zrakového vnímání. Hmat částečně redukuje informační deficit vzniklý těžkým zrakovým postižením. Osoba s tímto postižením jej používá během aktivit běžného života. Významnou roli hraje v sebeobsluze, prostorové orientaci a samostatném pohybu, ve využívání kompenzačních pomůcek, tyflografiky, Braillova bodového písma. Hmat je tak nepostradatelnou součástí edukace cílové skupiny z důvodu umožnění čtení, psaní, názornosti, rozvoje představivosti, fantazie, samostatnosti, propojování vztahů mezi dvěma předměty, ale i uměleckého cítění.

Významnou roli v životě osob s těžkým zrakovým postižením hraje tyflografika – grafické znázornění vytvořená nevidomými, nebo pro nevidomé. Rovněž se můžeme setkat s pojmenováním hmatová, reliéfní nebo taktilní grafika. K tomu, aby byla tato grafika přístupná pro cílovou skupinu osob se využívá reliéfních bodů, čar, ploch a pohyblivých objektů (Jesenský, 1988). V rámci České republiky při tvorbě tyflografiky stále vycházíme ze standardů rozměrů stanovených Jesenským v druhé polovině dvacátého století. Jesenský (1988) stanovil, že optimálně by **bod** měl mít při vertikálním řezu tvar paraboly a při horizontálním řezu tvar kružnice. Výška tohoto bodu by měla být 0,75 mm a průměr v základně 1,2 mm. Aby bylo možné odlišit dva takovéto body od sebe, měla by být vzdálenost jejich bází alespoň 1,2 mm a z toho vyplývající vzdálenost vrcholů alespoň 2,4 mm. Optimální **čára** by rovněž měla mít při svislém řezu tvar paraboly. Poměr výšky k šířce by měl být 3:2 s tím, že šířka může být minimálně 1 mm. Při tvorbě čáry je možné zvyšovat poměr výšky k šířce až na 4:2, opačně však nikoliv. Při zvýšení šířky čáry na 1,5 mm můžeme pracovat s poměrem 1:1. Optimální vzdálenost dvou čar je rovněž jako u vzdálenosti dvou bodů v bázi rovna šířce čáry a ve vrcholu dvojnásobku šířky čáry (Jesenský, 1988). V současné cizojazyčné literatuře se ovšem setkáváme s hodnotami, které jsou vyšší. Wabińsky a kol. (2022) uvádějí, že nejčastěji se v literatuře můžeme setkat s údajem, že minimální vzdálenost dvou bodů pro zachování jejich rozlišitelnosti jsou 3 mm. Tento standard vychází z rozlišení hmatu udávaného na 2,4 mm až 3 mm. Ovšem pokud se jedná o dva symboly, které jsou si tvarem podobné, nebo jedná-li se o body menších rozměrů, než doporučených, měla by být tato vzdálenost navýšena na 5-6 mm. Wabińsky a kol. (2022) ovšem při svém výzkumu dospěli k tomu, že lze snížit minimální vzdálenost mezi dvěma body optimalizací výšky těchto čar. Z toho vyplývá, že pokud chceme věrohodně simulovat objekty, je nutné, aby rozlišení bylo vyšší, než je minimální rozlišitelná

vzdálenost, nebo doplnit rozlišení i o hmatové triky. Osoby s těžkým zrakovým postižením však často rozvíjí svůj hmat a dokážou tak rozlišit body, které jsou blíže, než je tomu u osob intaktních, tudíž přístroje simulující hmatové podněty musí mít větší minimální rozlišení, než je tomu u přístrojů u osob intaktních.

Pro osoby s těžkým zrakovým postižením je důležité ovládat Braillovo bodové písmo. Má důležitou¹¹ roli hlavně v procesu edukace, kdy jsou texty z černotisku/digitální podoby převáděny do hmatem postřehnutelné formy. Braillovo bodové písmo je standardizované a velice logicky uspořádané, takže jeho kódování se dá poměrně rychle naučit. Důležitá je samozřejmě samotná motivace jedince, která tento proces do velké míry řídí. Výuka Braillova bodového písma probíhá ve třech stádiích a to v: předslabikářovém období, slabikářovém období a poslabikářovém období. **Předslabikářové období** slouží zejména k rozvoji hmatu, seznámení se s rozložením šestibodu a rozvoji orientace na ploše. V rámci **slabikářového období** se žáci učí čtení a psaní Braillova bodového písma ve standardní velikosti. **Období postslabikářové** slouží zejména k dalšímu procvičování a dovednosti s Braillovým písmem pracovat. Psaní probíhá zejména na Pichtově psacím stroji, který má 7 hlavních kláves. Šest z nich slouží k zapisování jednotlivých bodů šestibodu a sedmá k vytváření prostoru mezi jednotlivými slovy. Kromě Pichtova psacího stroje je možné využít také například Pražské tabulky. Velikost šestibodu je 6 mm na výšku ku 3,6 mm na šířku. Velikost jednotlivých bodů je stejná, jakou popsal Jesenký (1988) a je popsána výše. Tedy kdy bod má kruhovitý průměr o velikosti 1,2 mm, výšku 0,75 mm a vzdálenost mezi body je rovněž 1,2 mm (Finková, 2011). Znamená to tedy, že aby se člověk mohl naučit používat Braillovo bodové písmo, musí trénovat jeho rozpoznávání hmatem, jelikož netrénovanému bříšku prstu body o této velikosti splývají a nedokáže je v dostatečné rychlosti a kvalitě určit.

Člověku s těžkým zrakovým postižením pomáhají v každodenním životě také kompenzační pomůcky využívající hmat. Ty je možné rozdělit podle mnoha kritérií, například podle toho, kde je využíváme nebo toho, jestli se jedná o pomůcky klasické či moderní. Mezi klasické pomůcky můžeme zařadit například bílou hůl, Pichtův psací stroj nebo Pražskou tabulku. Mezi pomůcky moderní řadíme pomůcky elektronické (Finková, 2011). Z tohoto důvodu tam můžeme zařadit například Braillovský řádek, který umožňuje vstup a výstup Braillova

¹¹ S rozmachem moderních technologií mnoho osob s těžkým zrakovým postižením upřednostňuje využití nejrůznějších odečítačů a hlasových výstupů k převodu černotisku na jimi postřehnutelnou formu informací. Dochází tak k postupnému úpadku významu Braillova bodového písma. Tento trend je znatelnější u osob, které o zrak přišly v pozdější fázi života a je pro ně snadnější využít těchto technologií. Ne vždy však jde Braillovo bodové písmo plnohodnotně pomocí těchto technologií nahradit.

bodového písma z a do počítače. Dále pak různé například haptické rukavice, nebo pomůcky využívající zvuk jako primární prostředek předávání informací. Těmi jsou třeba dálkový ovladač akustických orientačních zařízení, indikátor barev, či digitální lupy s hlasovým výstupem.

1.4.4 Experimentální ověření prahu citlivosti u žáků aktivně využívající Braillovo bodové písmo

V rámci této práce bylo provedeno experimentální ověření prostorového prahu citlivosti u žáků aktivně využívajících Braillovo bodové písmo. Prostorovým prahem je rozuměna nejmenší vzdálenost mezi dvěma taktilními podněty, při které jedinec rozeznává tyto podněty jako dva. K detekování těchto vzdáleností se standardně používá Weberovo kružítko (Rokyta a kol., 2015). V rámci experimentu bylo ovšem využito specifické testovací baterie, která sloužila k zachycení snižující se schopnosti rozlišit s klesající vzdáleností od sebe dva body. Cílem experimentu bylo ověření prostorového prahu citlivosti u osob, jenž rozvíjeli hmat natolik, že jsou schopni aktivně používat Braillovo bodové písmo. Je tomu z toho důvodu, že většina experimentů týkající se této oblasti se soustřeďuje na zjištění nejmenší vzdálenosti, kterou je možné vždy rozeznat. Cílem experimentu v této práci bylo zjistit největší vzdálenost, na kterou již jedinci s rozvinutým hmatem nejsou schopni od sebe rozlišit dva. Tato potřeba vyplývá z podstaty haptické simulace objektů. Pokud chceme simulovat objekt pro potřeby hmatového vnímání, musí být rozlišení simulovaných objektů vyšší, než je rozlišení, které je schopen člověk vnímat. Díky tomu se následně objekt nejví jako soubor jednotlivých bodů, ale jako celistvý objekt. Experimentu se zúčastnilo 12 žáků základní a střední školy, kteří aktivně v průběhu svého vzdělávání využívají a ovládají Braillovo bodové písmo. V souboru byly rovnoměrně zastoupeny obě pohlaví. Rozlišitelná vzdálenost byla zkoumána na bříšcích ukazováků pravé a levé ruky a orientačně také na dlaních obou horních končetin. Vzhledem ke způsobu výuky Braillova bodového písma, které je vždy primárně čteno pravou rukou, a velikosti vzorku, nebyla brána v potaz lateralita. Dva probandi byli vyloučeni z konečného výsledku z důvodu své sekundární diagnózy, která negativně ovlivňovala jejich hmatové vnímání, nebo jeho zpracování centrální nervovou soustavou. Jsou ovšem uvedeni níže a na grafech jejich hmatového vnímání lze dobře pozorovat tento negativní dopad sekundárního postižení.

Zjišťování prostorového prahu citlivosti u cílové skupiny bylo prováděno pomocí bodů pěti různých velikostí. Bříško ukazováku horní končetiny probanda bylo umístěno na jednotku bodů a proband měl za úkol určit, zdali se jednotka skládá z jednoho, či dvou bodů. Pro každou

velikost bodů byl zkoumán práh citlivosti zvlášť. Každá velikost bodů se dále skládala z 6-7 postupně se zmenšujících vzdáleností. Každá z nich čítala 8 jednotek. Každou jednotku tvořil jeden, nebo dva body. Pro vyhodnocení bylo určováno, kolik jednotek skládajících se ze dvou bodů byl schopen proband určit. Jednotky skládající se pouze z jednoho bodu do výsledků nebyly započítávány.

Velikost č. 1 představovaly jehly o velikosti hlavičky 0,6 mm. Jednalo se o nejmenší velikost bodů. Body byly od sebe vzdáleny 3,5; 3; 2,5; 2; 1,5; 1; a 0,5 mm.

Velikost č. 2 představovaly jehly o velikosti hlavičky 0,86 mm. Jednalo se o druhou nejmenší velikost bodů. Body byly od sebe rovněž vzdáleny 3,5; 3; 2,5; 2; 1,5; 1; a 0,5 mm.

Velikost č. 3 představovaly hřebíčky s plochou kruhovou hlavičkou o průměru hlavičky 1,78 mm. Vrcholy bodů byly od sebe vzdáleny 4; 3,5; 3; 2,5; 2; 1,5 a 1 mm. Menší vzdálenosti nebylo možné dosáhnout, jelikož by se jednotlivé hlavičky bodů musely překrývat.

Velikost č. 4 představovaly špendlíky s kulovitou hlavičkou o průměru 2,8 mm. Vrcholy bodů byly od sebe vzdáleny 4,5; 4; 3,5; 3; 2,5 a 2 mm. Menší vzdálenosti mezi vrcholy bodů nebylo možné dosáhnout, jelikož by se jednotlivé hlavičky bodů musely překrývat, což není možné vzhledem k tvaru hlaviček dosáhnout.

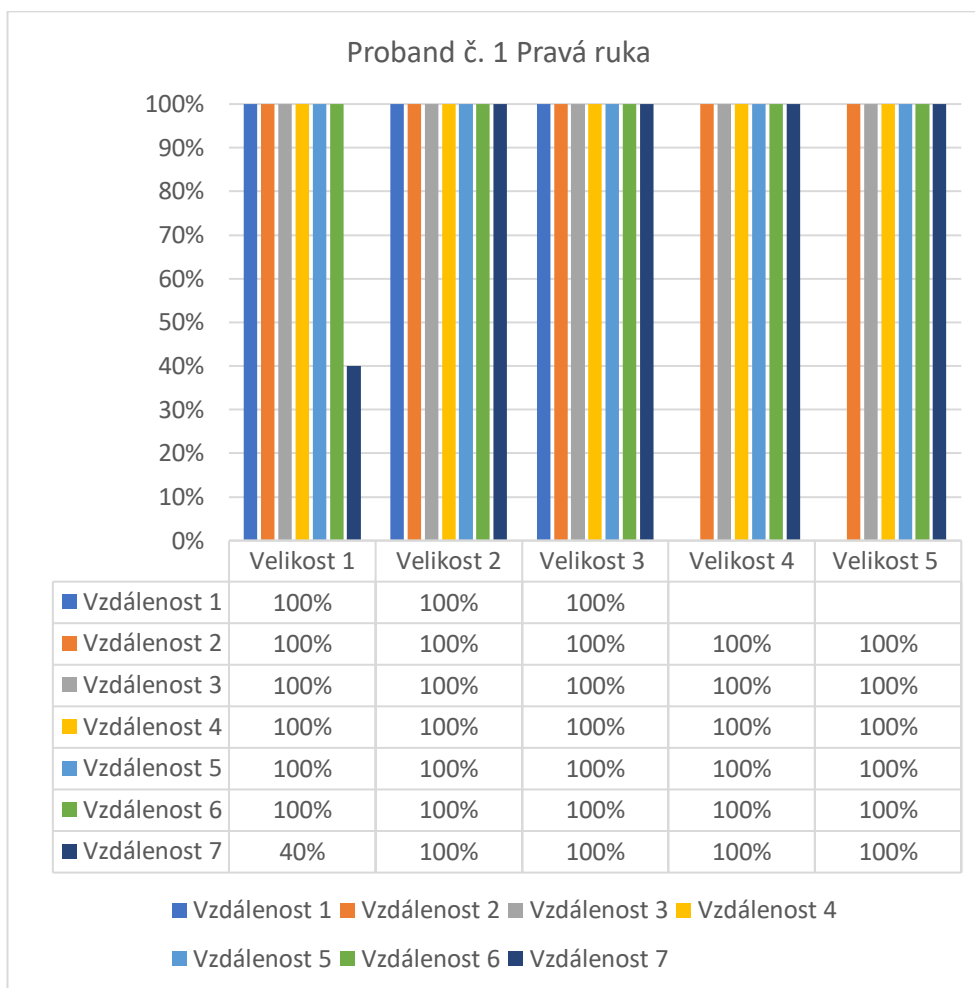
Velikost č. 5 představovaly špendlíky s kulovitou hlavičkou o průměru hlavičky 3,94 mm. Vrcholy bodů od sebe byly vzdáleny 6; 5,5; 5; 4,5; 4 a 3,5 mm. Menší vzdálenosti mezi vrcholy bodů nebylo možné dosáhnout, jelikož by se jednotlivé hlavičky bodů musely překrývat, což není možné vzhledem k tvaru hlaviček dosáhnout.

U všech velikostí byla vzdálenost mezi jednotkami bodů 1 cm, aby ostatní jednotky na probanda nepůsobily jako hmatový šum.

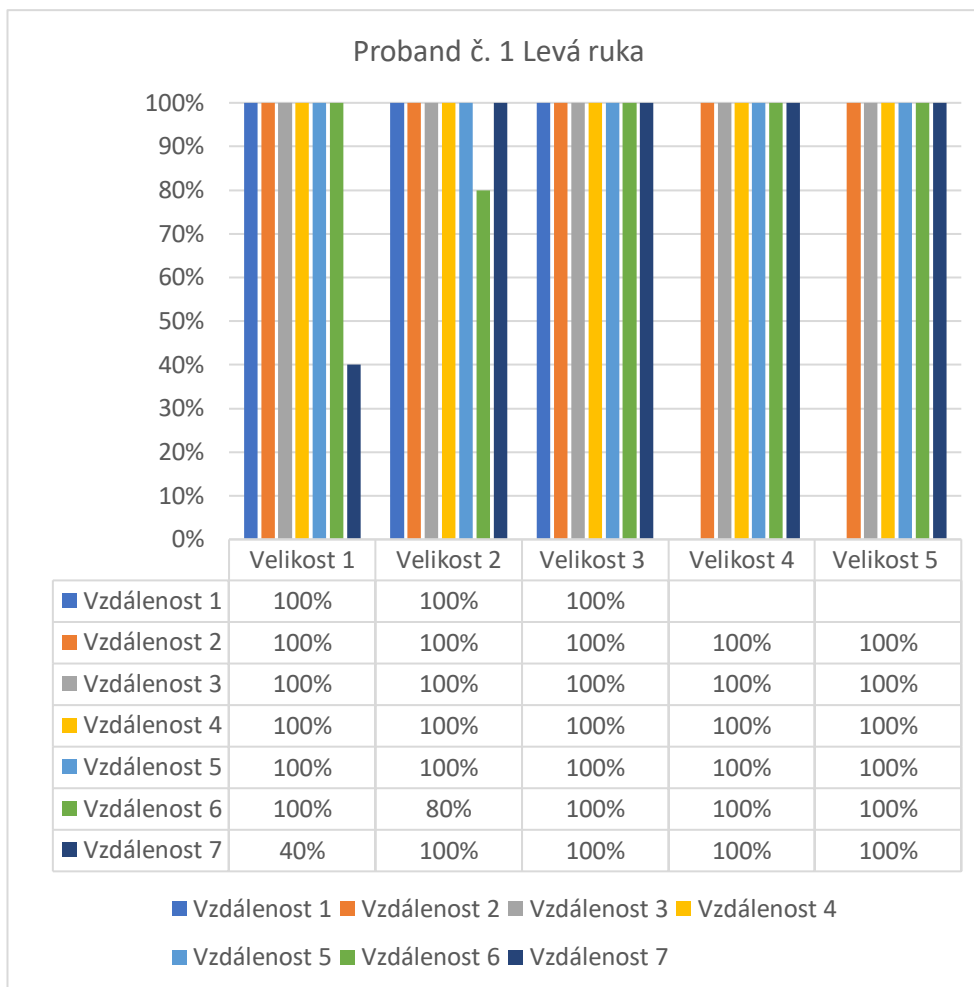
Zjišťování prostorového prahu citlivost na dlaních probíhalo pomocí bodů velikosti 4, které od sebe byly vzdáleny 15; 10; 7,5; 6; 5; 3 a 2 mm. Jednalo se o orientační zjišťování vzdálenosti pro budoucí přesnější výzkum.

Následující výčet ukazuje výsledky výzkumu v podobě grafů v případě bříšek prstů ukazováků a číselných hodnot v případě dlaní u jednotlivých probandů.

Proband č. 1



Tabulka 1 Proband č. 1 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh

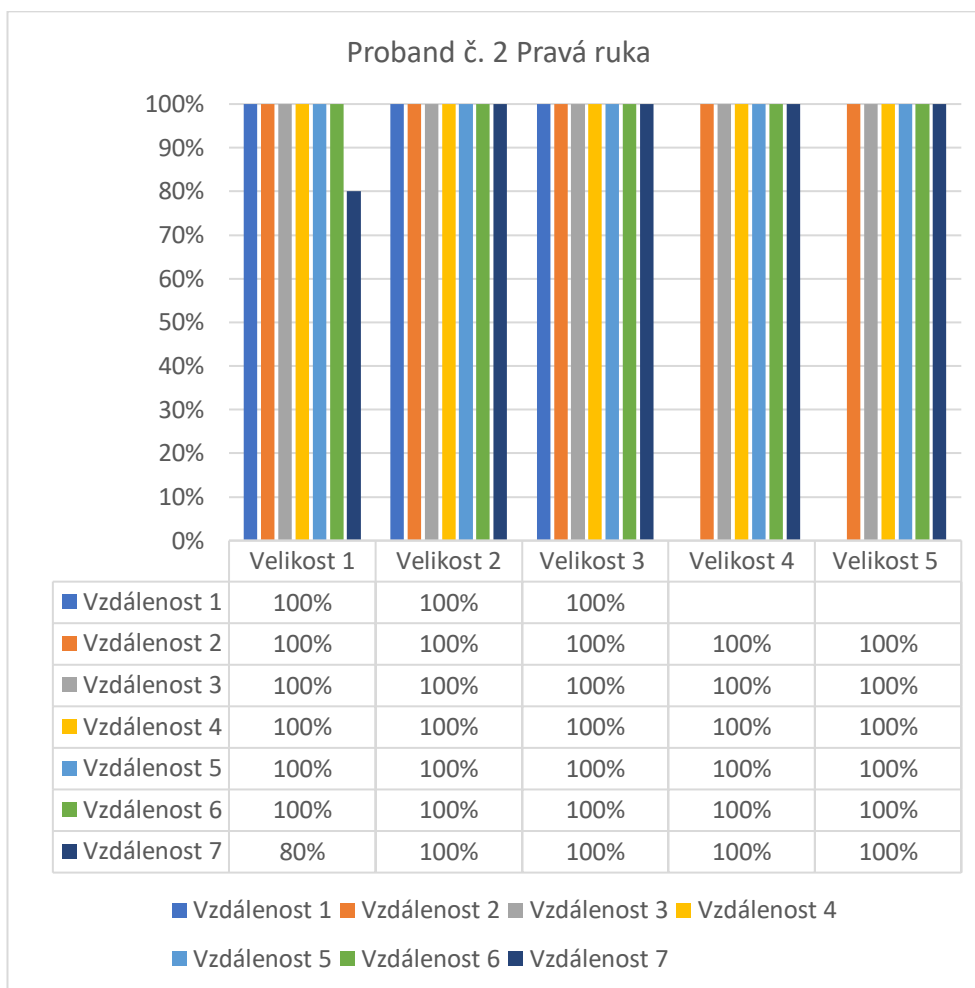


Tabulka 2 Proband č. 1 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

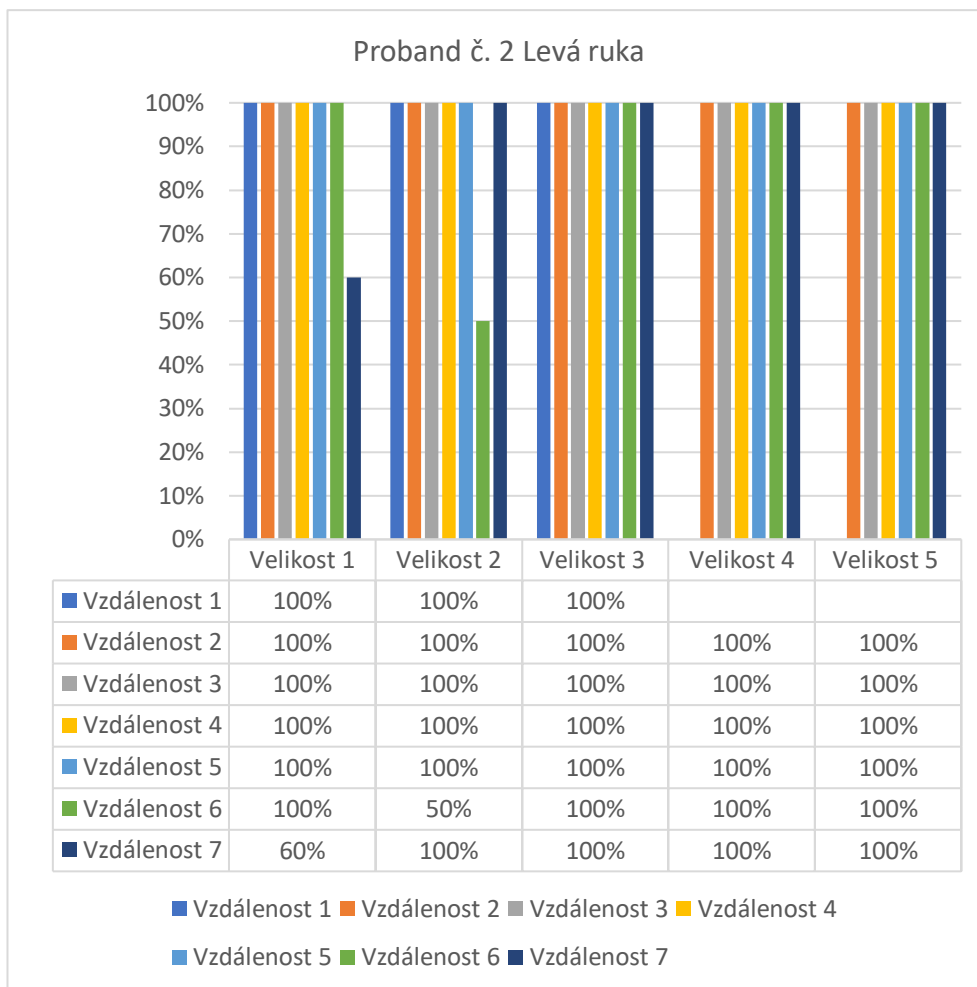
V tabulce č. 1 a č. 2 lze pozorovat, že prostorový práh citlivosti probanda č. 1 na bříšku ukazováku pravé ruky se pohybuje při velikosti bodů č. 1 u hodnoty 0,5 mm. Rovněž je tomu i u bříška ukazováku levé ruky. Proband zároveň chyboval levým ukazovákem ve velikosti č. 2, ale vzhledem k tomu, že se jedná pouze o jednu chybu a u velikosti č. 1 nechyboval, nelze určit, jestli to bylo chybou v hmatovém cití, nebo se jednalo o chybu způsobenou jinými faktory. U rozlišování počtu bodů velikosti 3, 4 a 5 proband nechyboval a práh citlivosti pro takto velké body se nachází pod hodnotami měřitelnými touto testovou baterií.

Při určování prostorového prahu na dlaních dosáhnul proband č. 1 hodnoty 5 mm na pravé i levé ruce.

Proband č. 2



Tabulka 3 Proband č. 2 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh

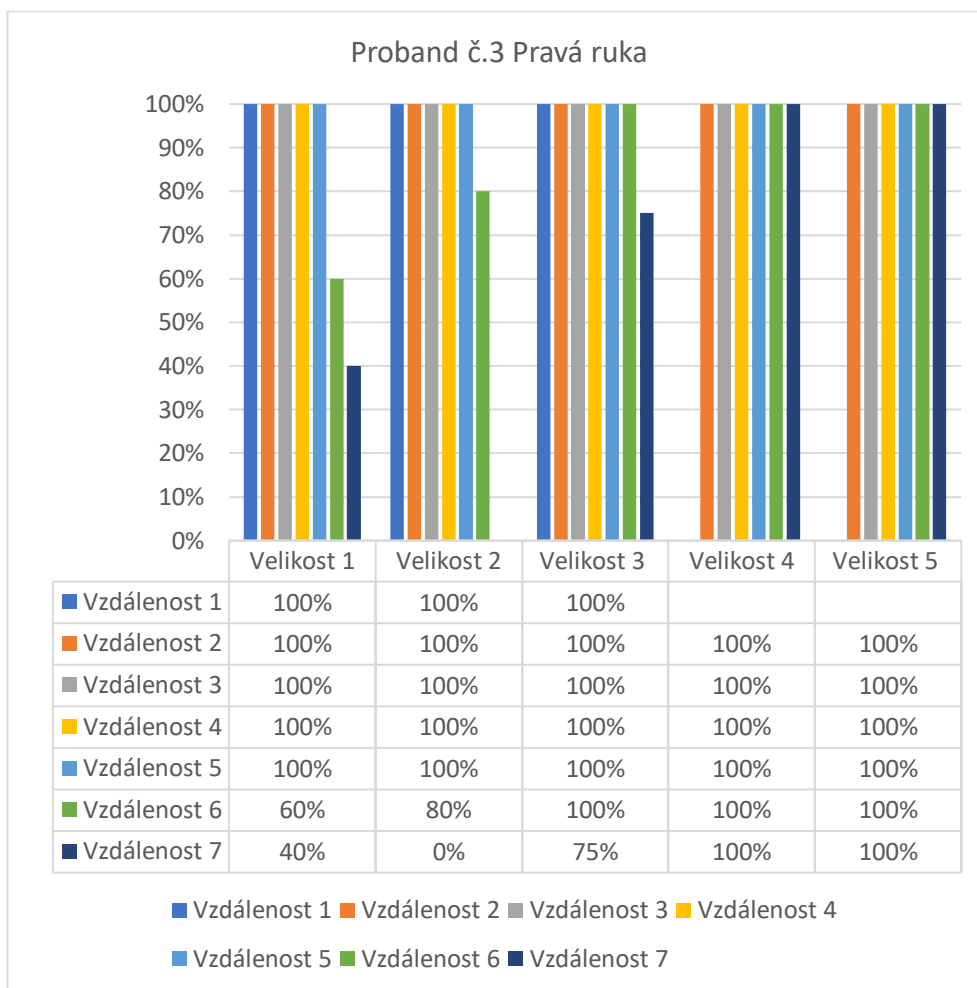


Tabulka 4 Proband č. 2 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

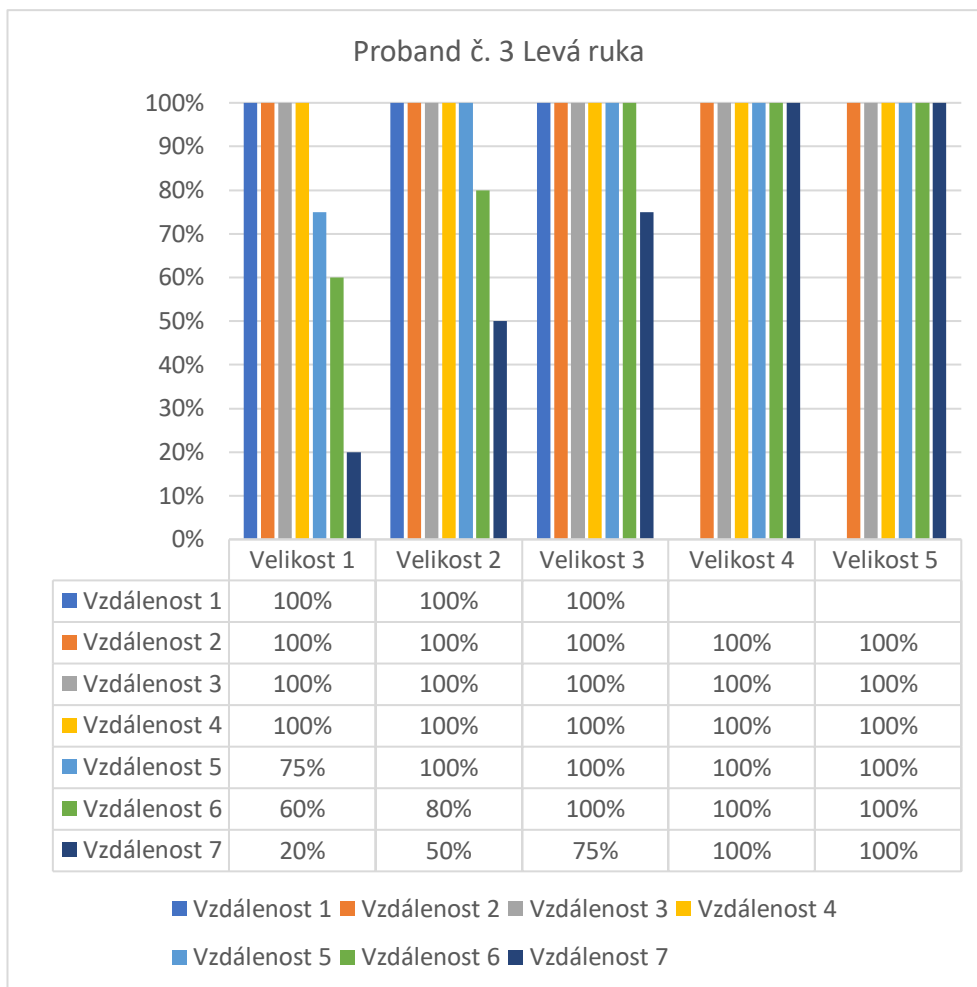
V tabulce č. 3 a č. 4 lze pozorovat, že prostorový práh citlivosti probanda č. 2 na bříšku ukazováku pravé ruky se pohybuje při velikosti bodů č. 1 u hodnoty 0,5 mm. Rovněž je tomu i u bříška ukazováku levé ruky. U velikosti bodů č. 2 proband dvakrát chyboval bříškem levé ruky ve vzdálenosti bodů 1 mm od sebe, ale zcela správně určil počet bodů u menší vzdálenosti. Pravou rukou určil při této velikosti bodů jejich počet správně. U velikostí bodů č. 3, 4 a 5 určil počet bodů zcela správně ve všech případech oběma rukama.

Při určování prostorového prahu na dlaních dosáhnul proband č. 2 hodnoty 5 mm na pravé i levé ruce.

Proband č. 3



Tabulka 5 Proband č. 3 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh

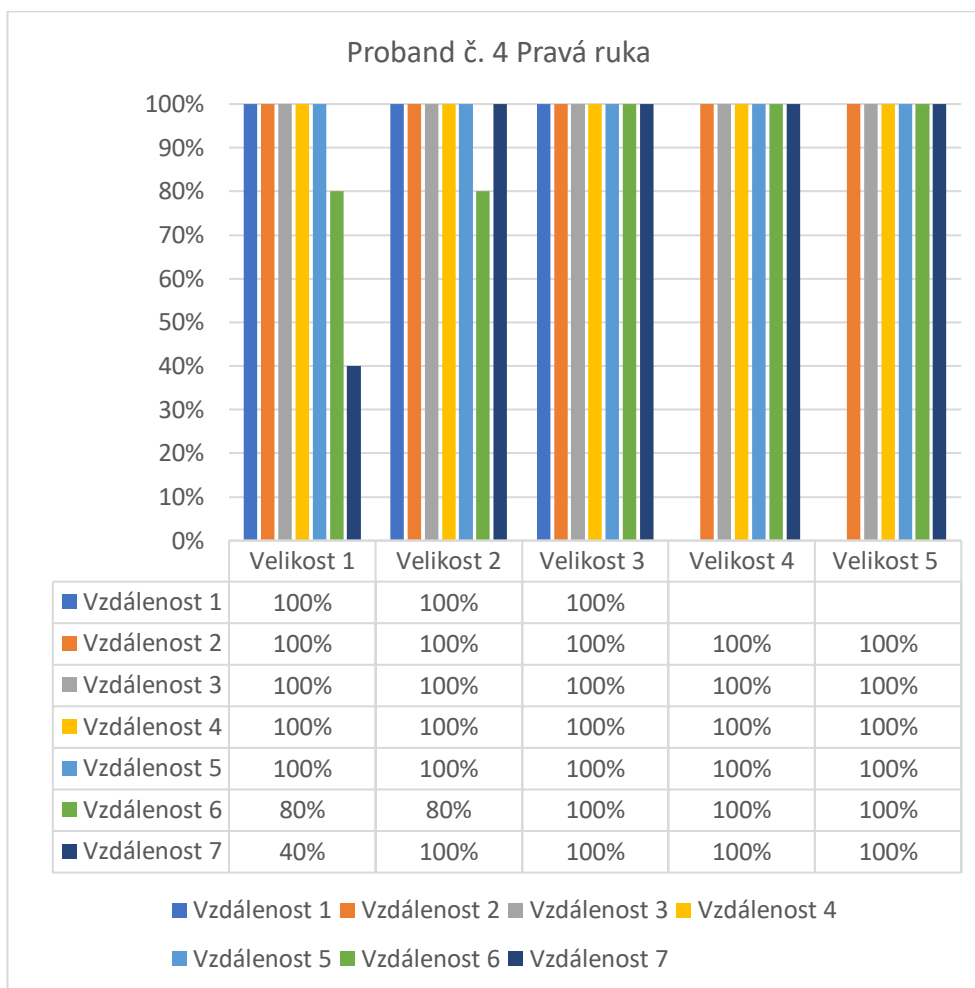


Tabulka 6 Proband č. 3 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

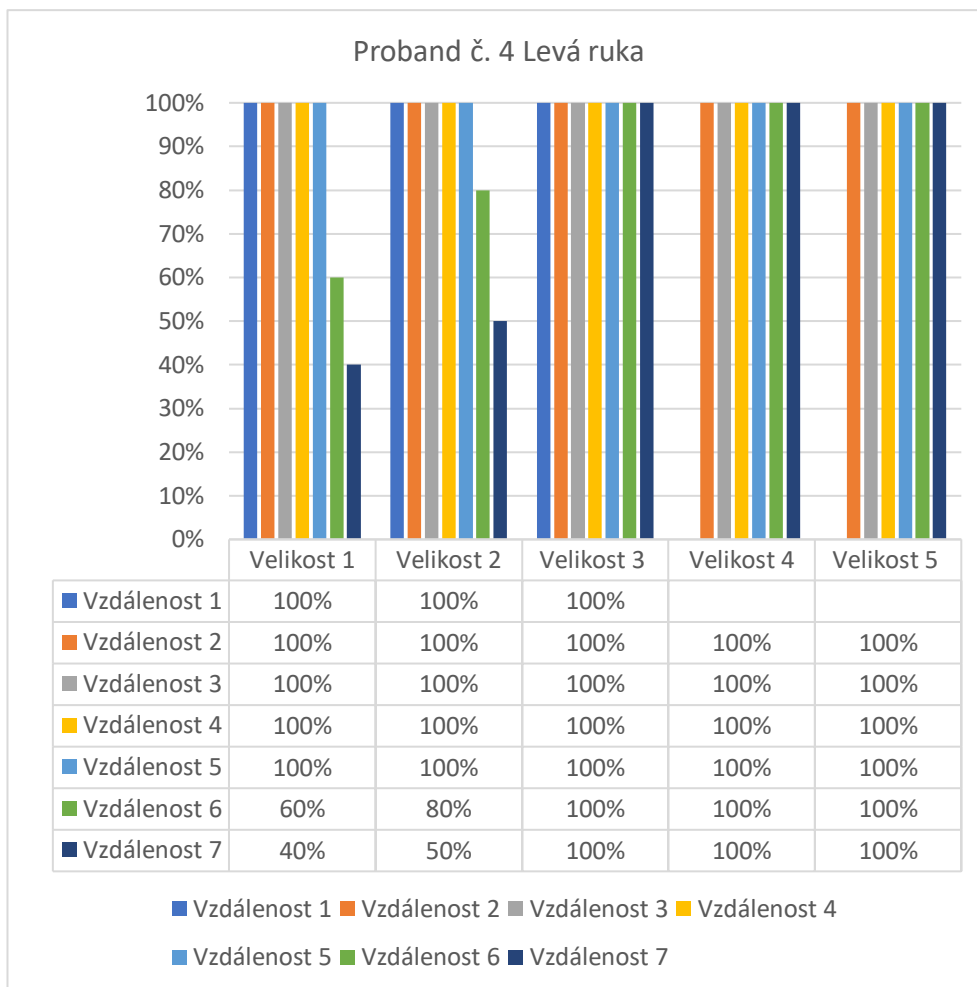
Tabulky č. 5 a č. 6 znázorňují prostorový práh citlivosti probanda č. 3. Na bříšku ukazováku pravé ruky se pohybuje u velikosti bodů č. 1 u vzdálenosti 1 mm, v případě ukazováku levé ruky je to u vzdálenosti 1,5 mm. U velikosti bodů č. 2 a č. 3 se pohybuje prostorový práh na bříšku ukazováku pravé i levé ruky ve vzdálenosti 1 mm. U velikosti bodů č. 4 a č. 5 proband určil správně počet bodů i na nejmenší testované vzdálenosti oběma rukama. Prostorový práh citlivosti pro tyto dvě velikosti se tudíž nachází pod testovanými vzdálenostmi.

Při určování prostorového prahu na dlaních dosáhnul proband č. 3 hodnoty 7,5 mm na pravé i levé ruce.

Proband č. 4



Tabulka 7 Proband č. 4 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh

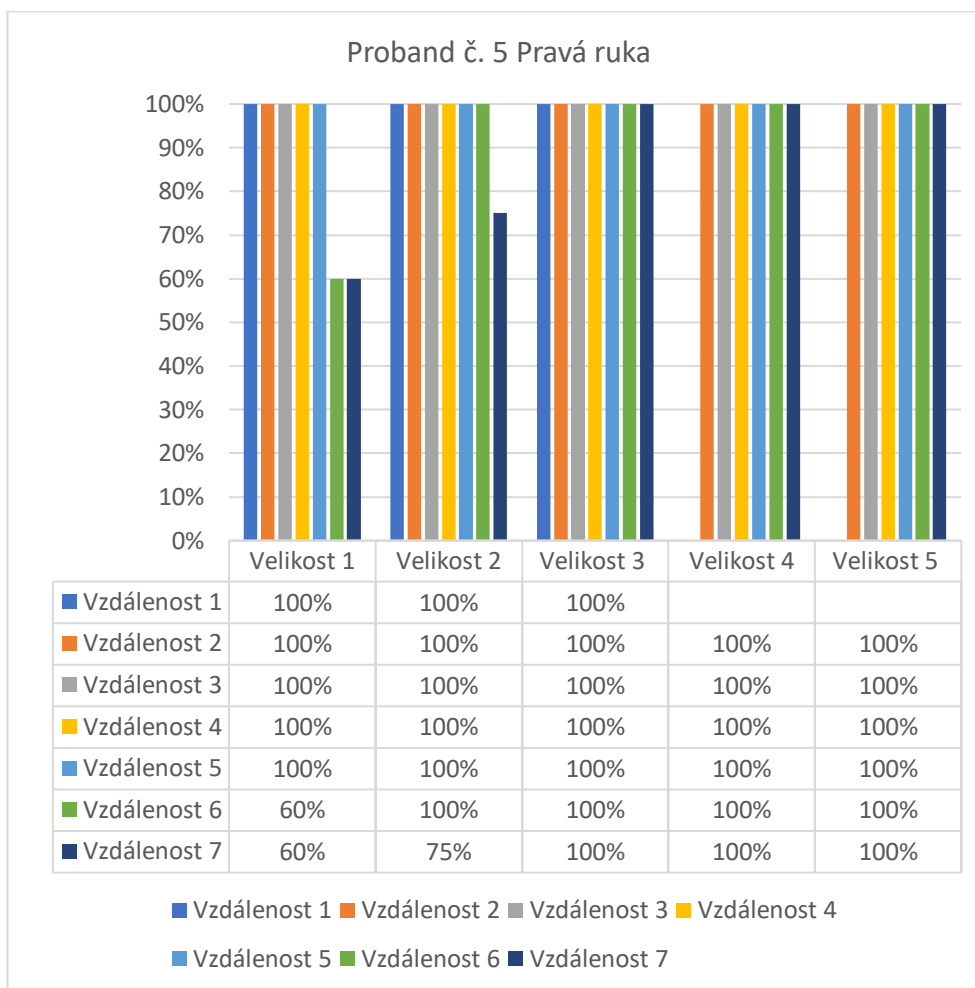


Tabulka 8 Proband č. 4 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

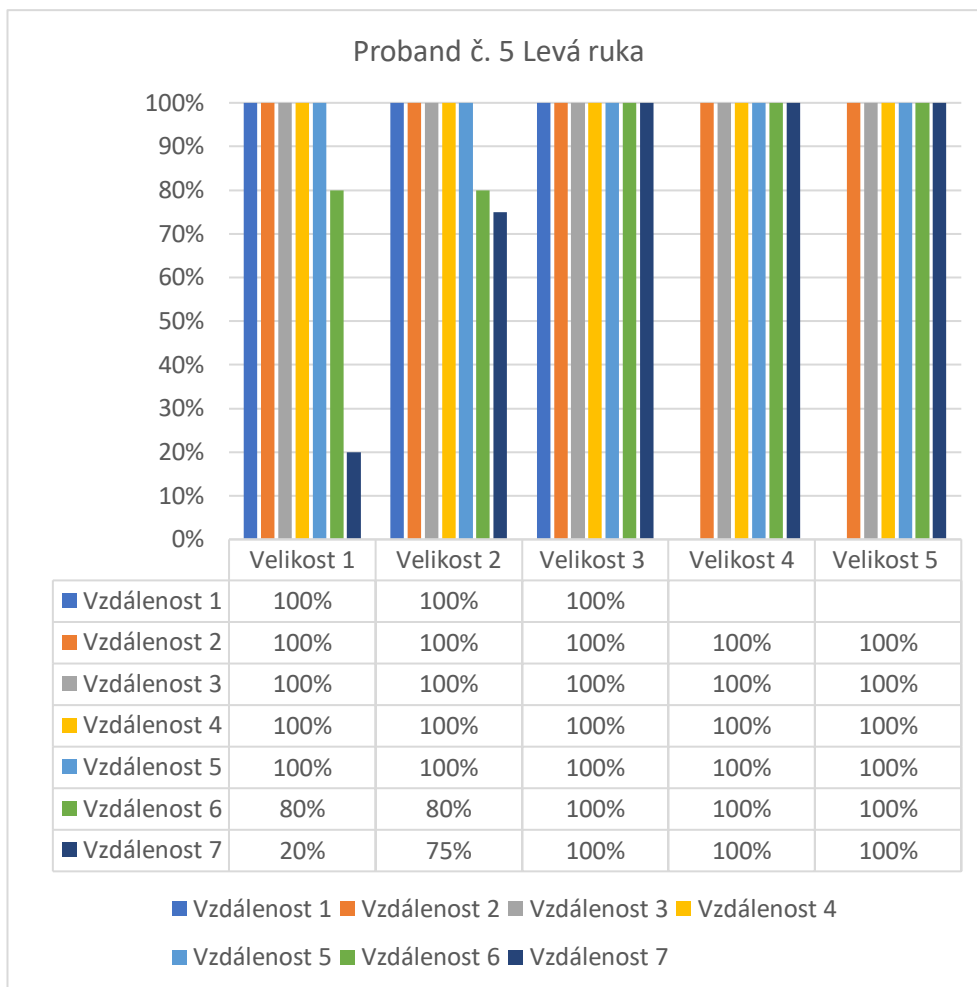
Tabulky č. 7 a č. 8 znázorňují prostorový práh citlivosti probanda č. 4. Na bříšku ukazováku pravé i levé ruky se pohybuje u velikosti bodů č. 1 u vzdálenosti 1 mm. U velikosti bodů č. 2 bříškem ukazováku pravé ruky byl proband schopen správně určit počet bodů u nejmenší vzdálenosti ovšem u vzdálenosti č. 6 jednou chyboval. U bříška ukazováku levé ruky se při velikosti bodů č. 2 prostorový práh pohybuje okolo vzdálenosti 1 mm. U bodů velikosti č. 3, 4 a 5 byl proband schopen správně určit pokaždé počet bodů oběma rukama. Znamená to tedy, že prostorový práh citlivost této velikosti bodů se nachází pod hodnotou testovaných vzdáleností.

Při určování prostorového prahu citlivost na dlaních dosáhnul proband č. 4 hodnoty 5 mm na pravé ruce a 7,5 mm na levé ruce.

Proband č. 5



Tabulka 9 Proband č. 5 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh

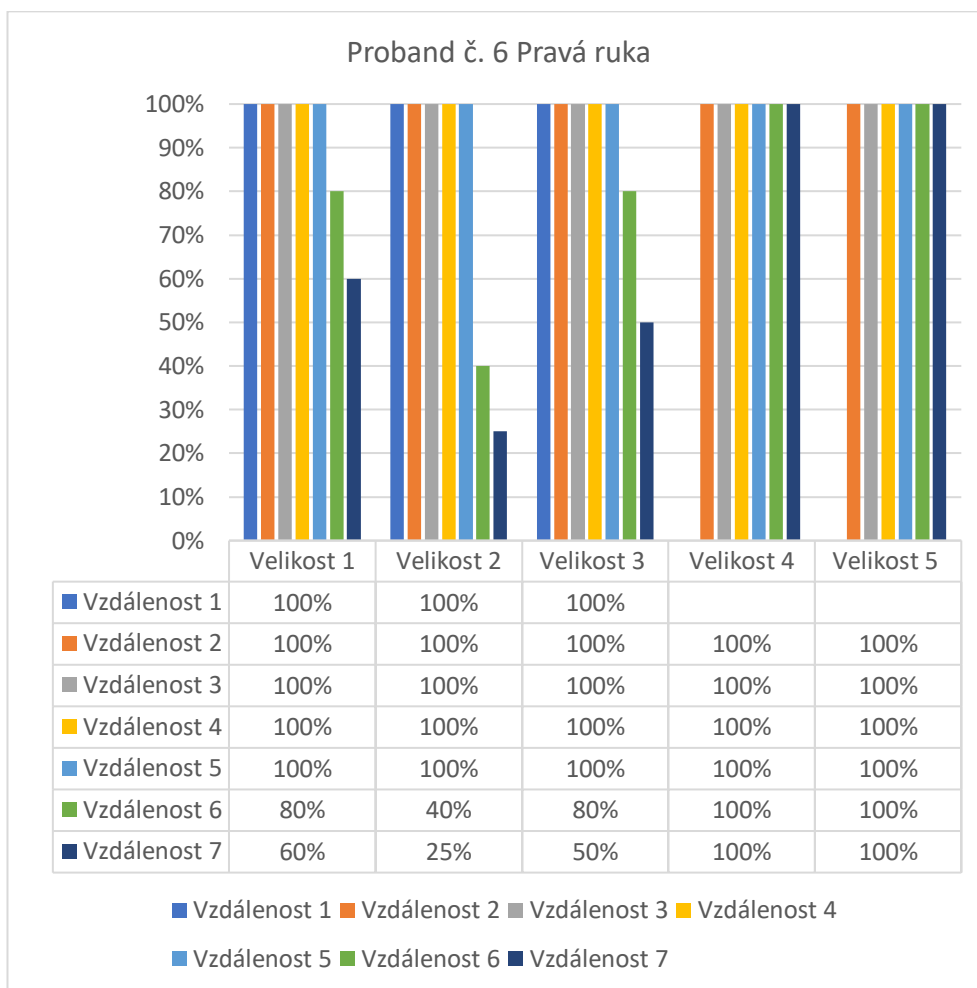


Tabulka 10 Proband č. 5 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

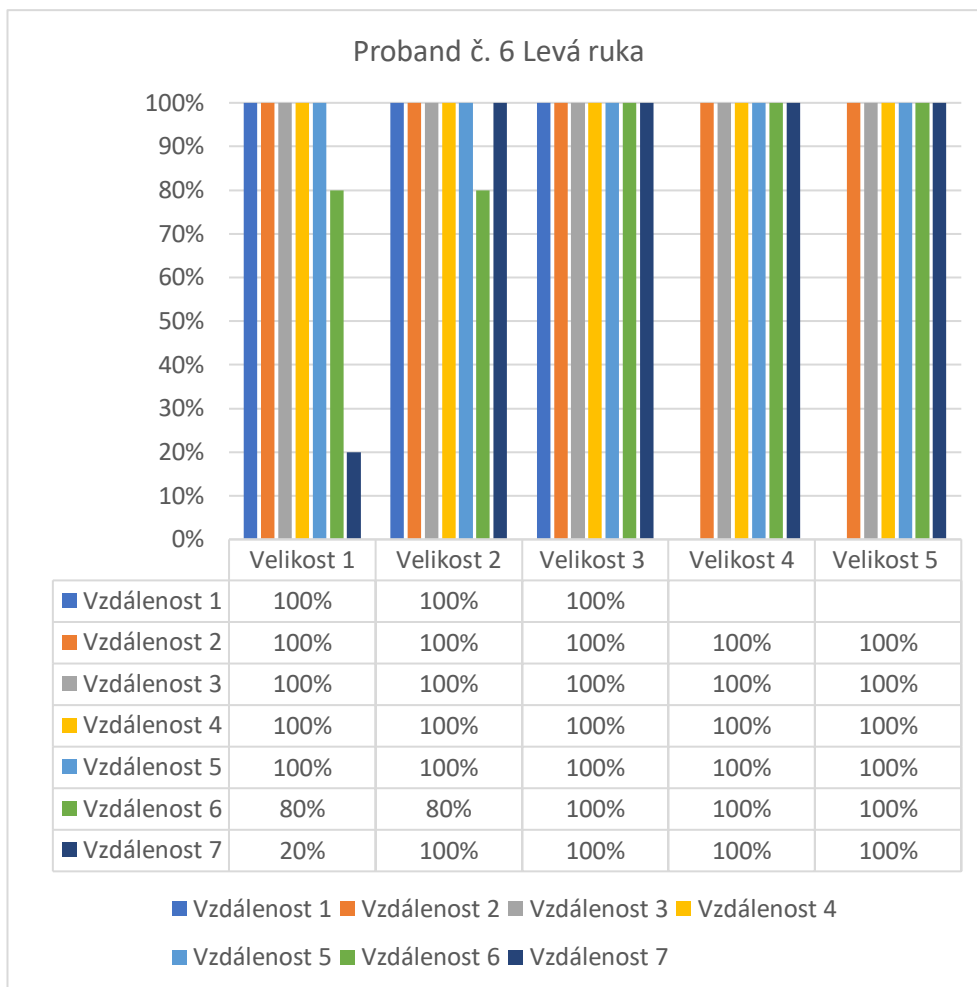
Tabulky č. 9 a č. 10 znázorňují prostorový práh citlivosti probanda č. 5. Na bříšku ukazováku pravé i levé ruky se pohybuje u velikosti bodů č. 1 u vzdálenosti 1 mm. U velikosti bodů č. 2 proband chybuje bříškem prstu pravé ruky u nejmenší velikosti, prostorový práh citlivosti se tak pohybuje u vzdálenosti 0,5 mm. Bříškem ukazováku levé ruky u velikosti č. 2 chybuje u posledních dvou nejmenších vzdáleností, prostorový práh citlivosti se proto nachází u vzdálenosti 1 mm. U bodů velikosti č. 3, 4 a 5 byl proband schopen správně určit pokaždé počet bodů oběma rukama. Znamená to tedy, že prostorový práh citlivost této velikosti bodů se nachází pod hodnotou testovaných vzdáleností.

Při určování prostorového prahu citlivost na dlaních dosáhnul proband č. 5 hodnoty 5 mm na pravé ruce a 7,5 mm na levé ruce.

Proband č. 6



Tabulka 11 Proband č. 6 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh

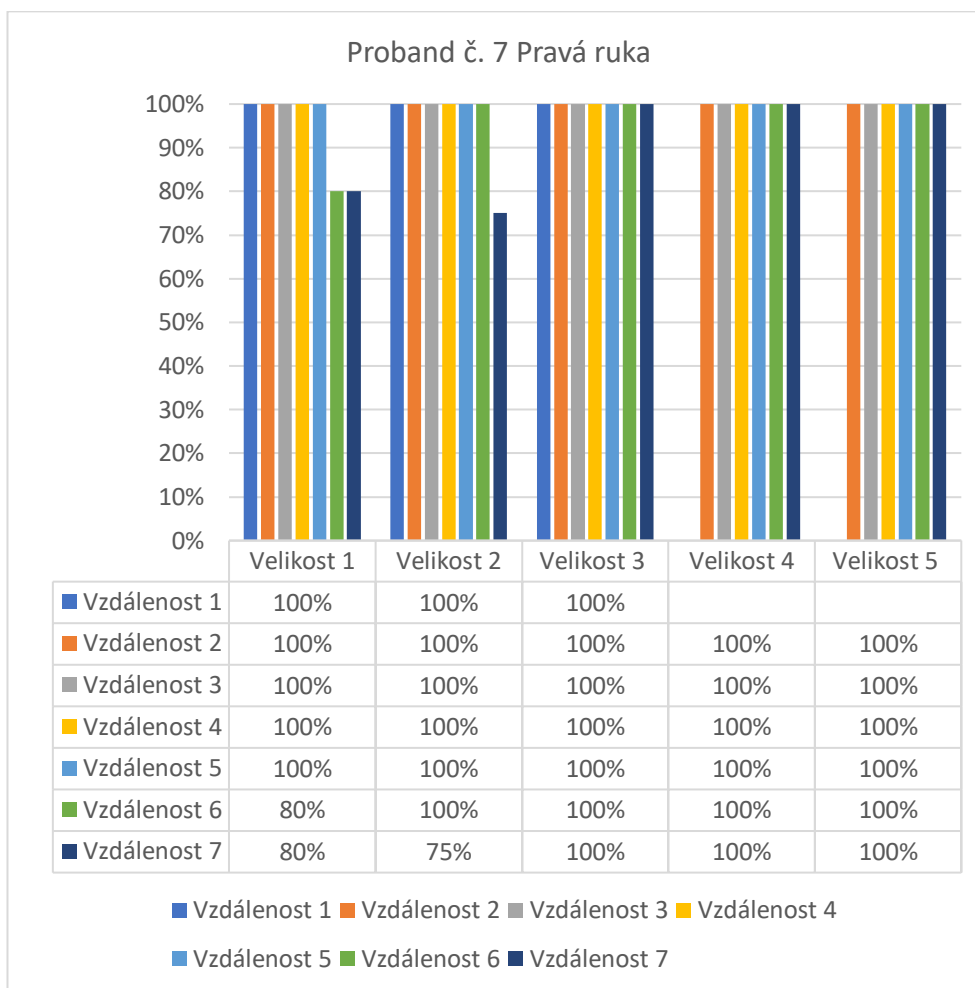


Tabulka 12 Proband č. 6 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

Tabulky č. 11 a č. 12 znázorňují prostorový práh citlivosti probanda č. 6. Na bříšku ukazováku pravé i levé ruky se pohybuje u velikosti bodů č. 1 u vzdálenosti 1 mm. U velikosti bodů č. 2 proband chybí bříškem prstu pravé ruky u dvou nejmenších vzdáleností, prostorový práh citlivosti se tak pohybuje u vzdálenosti 1 mm. Bříškem ukazováku levé ruky u velikosti č. 2 chybí u předposlední nejmenších vzdálenosti, avšak poslední vzdálenost určuje bezchybně. Bříškem ukazováku pravé ruky u velikosti č. 3 chybí v posledních dvou nejmenších vzdálenostech, z toho vyplývá prostorový práh citlivosti této velikosti bodů 1,5 mm. Ukazovákem levé ruky bezchybně určuje počet bodů velikosti č. 3, 4 a 5. Ukazovákem pravé ruky bezchybně určuje počet bodů velikosti č. 4 a 5.

Při určování prostorového prahu citlivost na dlaních dosáhnul proband č. 6 hodnoty 3 mm na pravé ruce a 5 mm na levé ruce.

Proband č. 7



Tabulka 13 Proband č. 7 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh

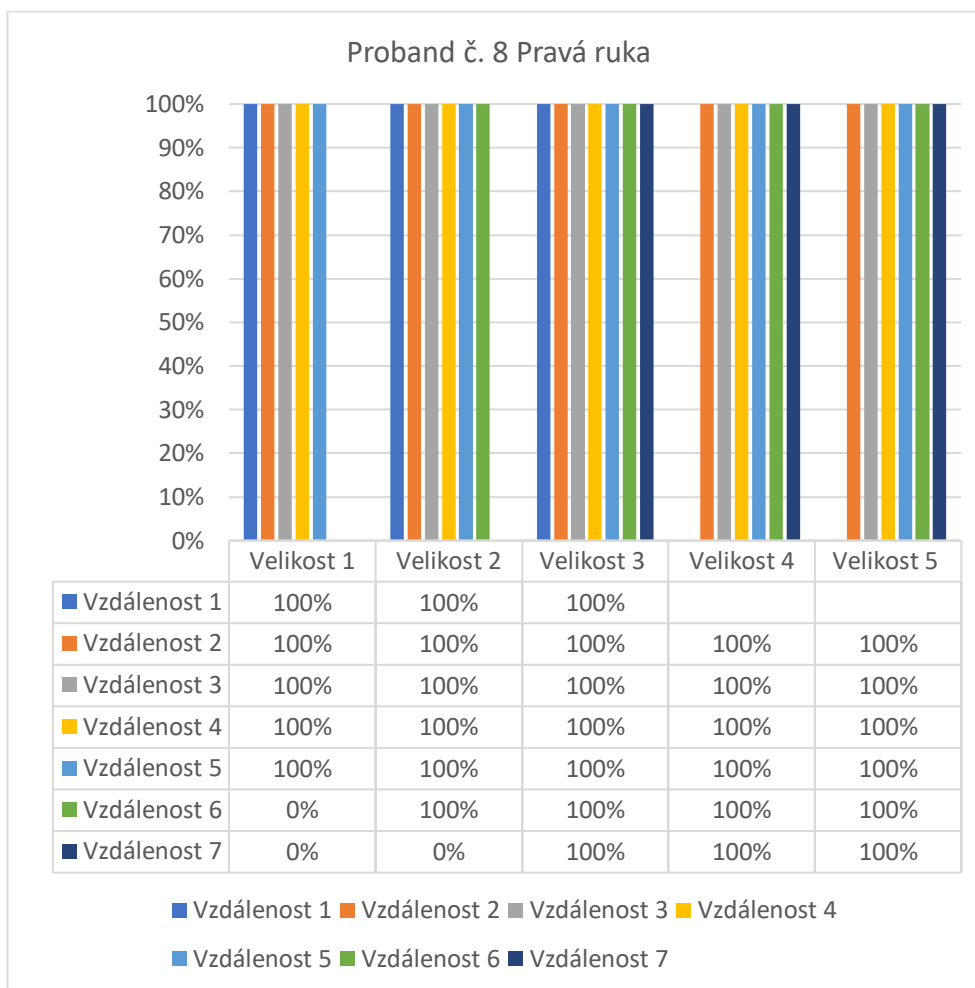


Tabulka 14 Proband č. 7 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

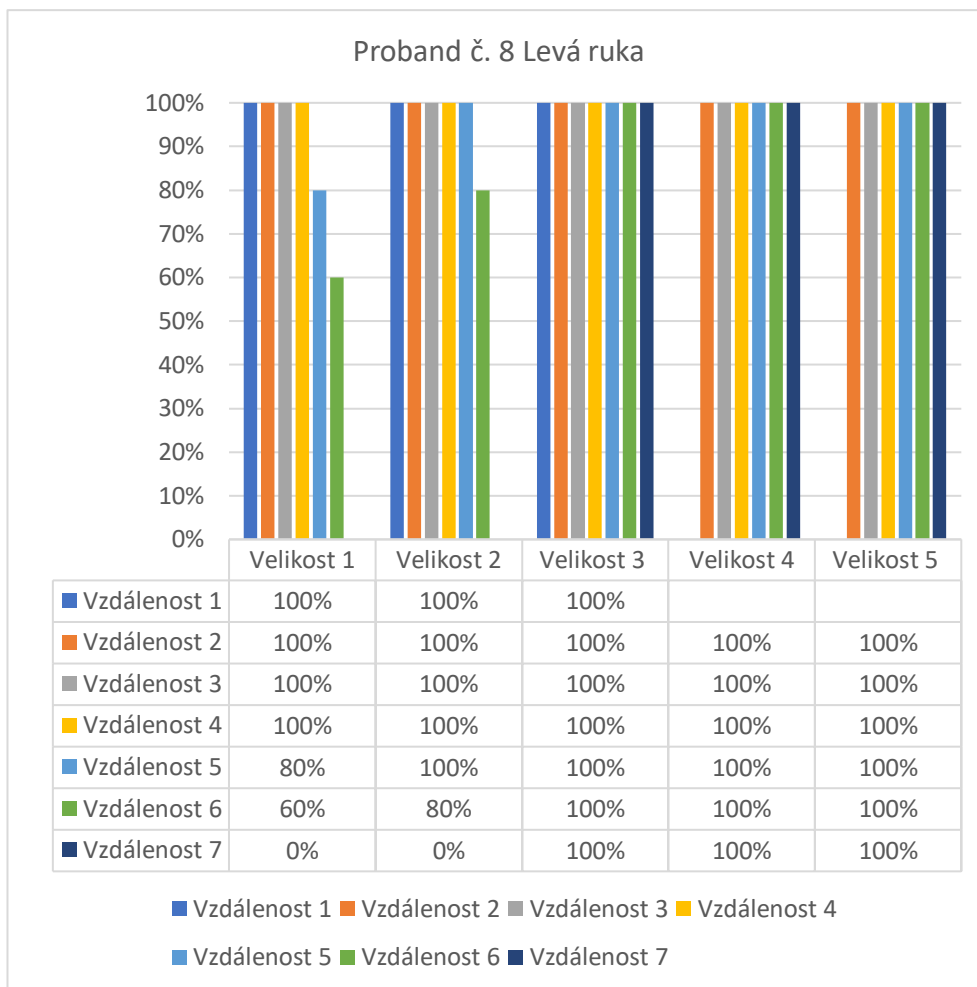
Tabulky č. 13 a č. 14 znázorňují prostorový práh citlivosti probanda č. 7. Na bříšku ukazováku pravé ruky se pohybuje u velikosti bodů č. 1 u vzdálenosti 1 mm. U velikosti bodů č. 2 se pohybuje u vzdálenosti 0,5 mm. U velikosti bodů č. 3, 4 a 5 bříškem ukazováku pravé ruky správně určuje počet bodů na všechny vzdálenosti. Bříškem ukazováku levé ruky chybuje pouze u nejmenší vzdálenosti u velikosti bodů č. 1. Ve všech ostatních velikostech bodů správně určuje počet bodů.

Při určování prostorového prahu citlivost na dlaních dosáhnul proband č. 7 hodnoty 6 mm na obou rukách.

Proband č. 8



Tabulka 15 Proband č. 8 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh

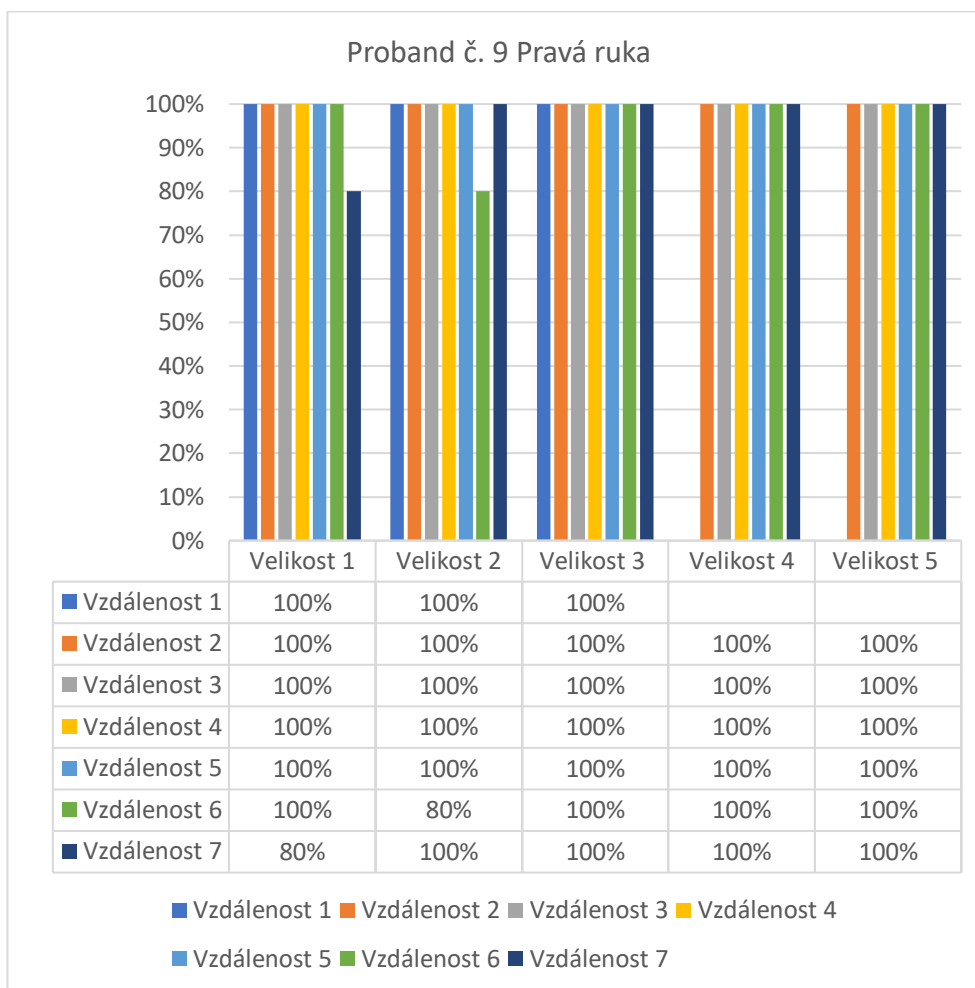


Tabulka 16 Proband č. 8 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

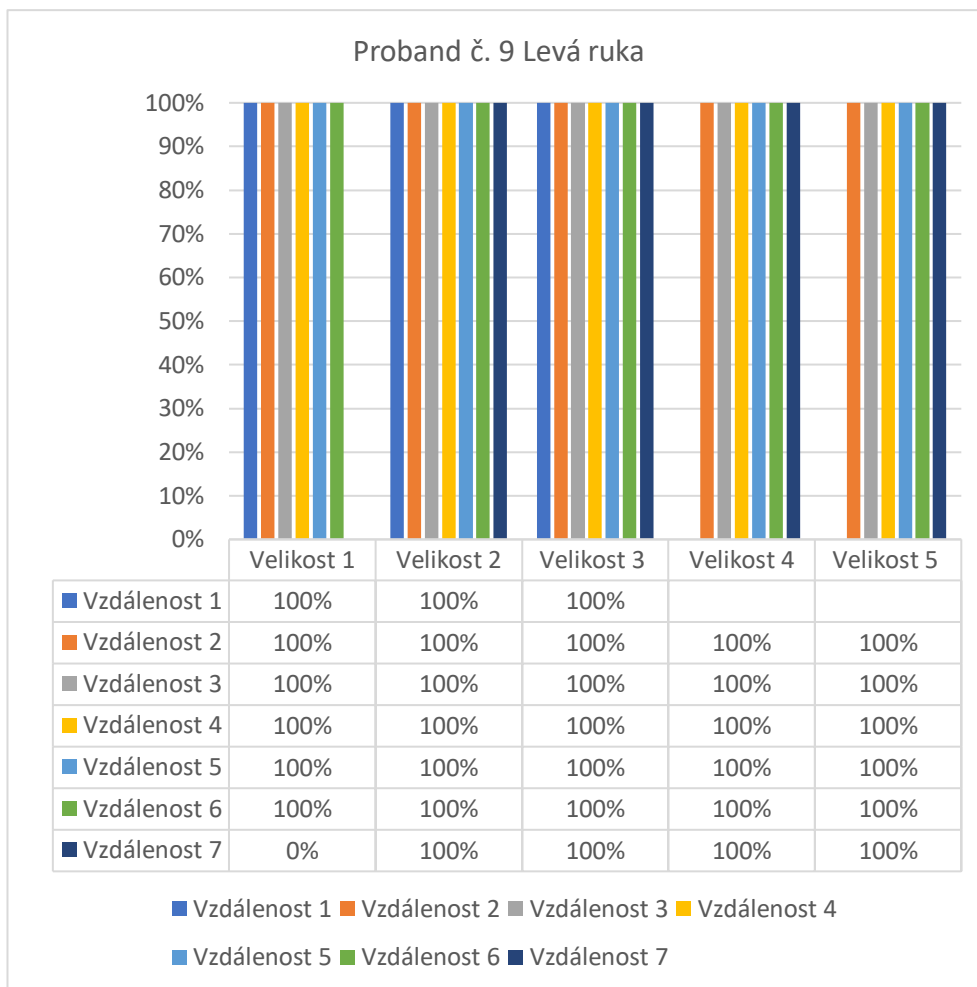
Tabulky č. 15 a č. 16 znázorňují prostorový práh citlivosti probanda č. 8. Bříškem ukazováku pravé ruky nedokáže rozeznat počet bodů u velikosti č. 1 ve vzdálenosti č. 6 (1 mm) a 7 (0,5mm), u velikosti č. 2 ve vzdálenosti č. 7 (1 mm). Bříškem ukazováku levé ruky při velikosti bodů č. 1 mírně chyboval již při vzdálenosti č.5 (1,5mm) a se zmenšující se vzdáleností chybovost dále narůstala. U velikosti č. 2 proband chyboval při vzdálenosti č. 6 (1 mm). Při velikosti bodů č. 3, 4 a 5 nechyboval.

Při určování prostorového prahu citlivost na dlaních dosáhnul proband č. 8 hodnoty 6 mm na obou rukách.

Proband č. 9



Tabulka 17 Proband č. 9 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh



Tabulka 18 Proband č. 9 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

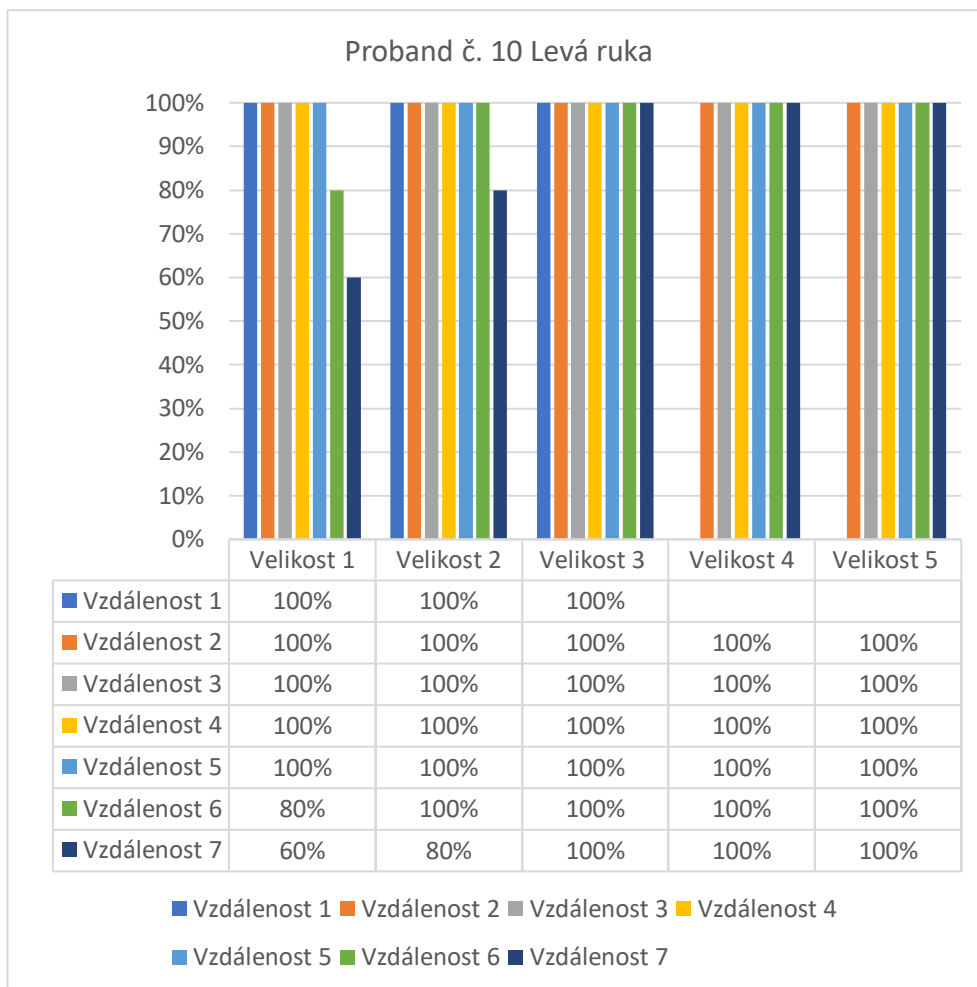
Tabulky č. 17 a č. 18 znázorňují prostorový práh citlivosti probanda č. 9. Prostorový práh citlivosti na bříšku ukazováku pravé ruky se při velikosti bodů č. 1 pohybuje okolo 0,5 mm. Proband rovněž tímto prstem jednou chyboval u předposlední vzdálenosti velikosti č. 2, ovšem počet bodů u menší vzdálenosti určil správně. U velikostí č. 3, 4 a 5 nechyboval a prostorový práh citlivosti se tudíž nachází pod minimálními měřenými vzdálenostmi u těchto velikostí. U bříška ukazováku levé ruky se prostorový práh nachází u velikosti č. 1 okolo 0,5 mm. U všech ostatních velikostí byl proband schopen správně určit počet bodů a prostorový práh citlivosti se při těchto velikostech bodů nachází pod měřenými hodnotami.

Při určování prostorového prahu citlivost na dlaních dosáhnul proband č. 9 hodnoty 7,5 mm na obou rukách.

Proband č. 10



Tabulka 19 Proband č. 10 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh

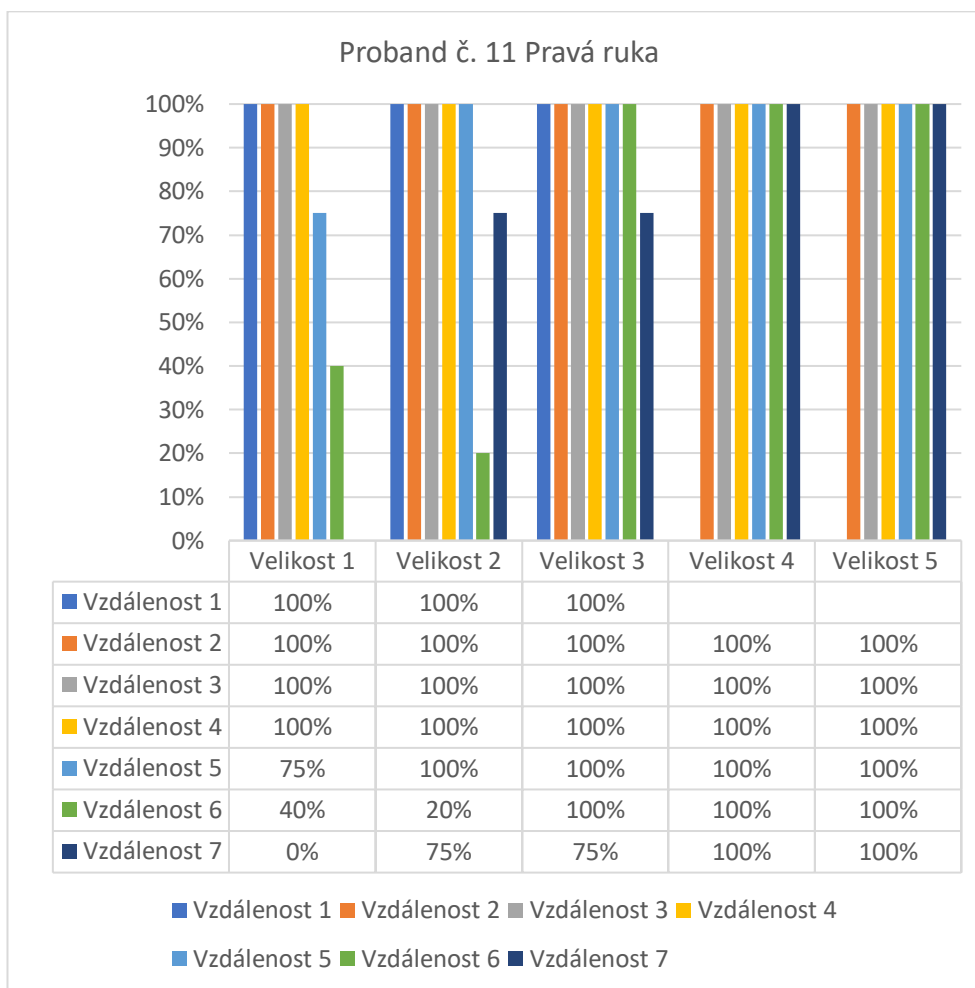


Tabulka 20 Proband č. 10 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

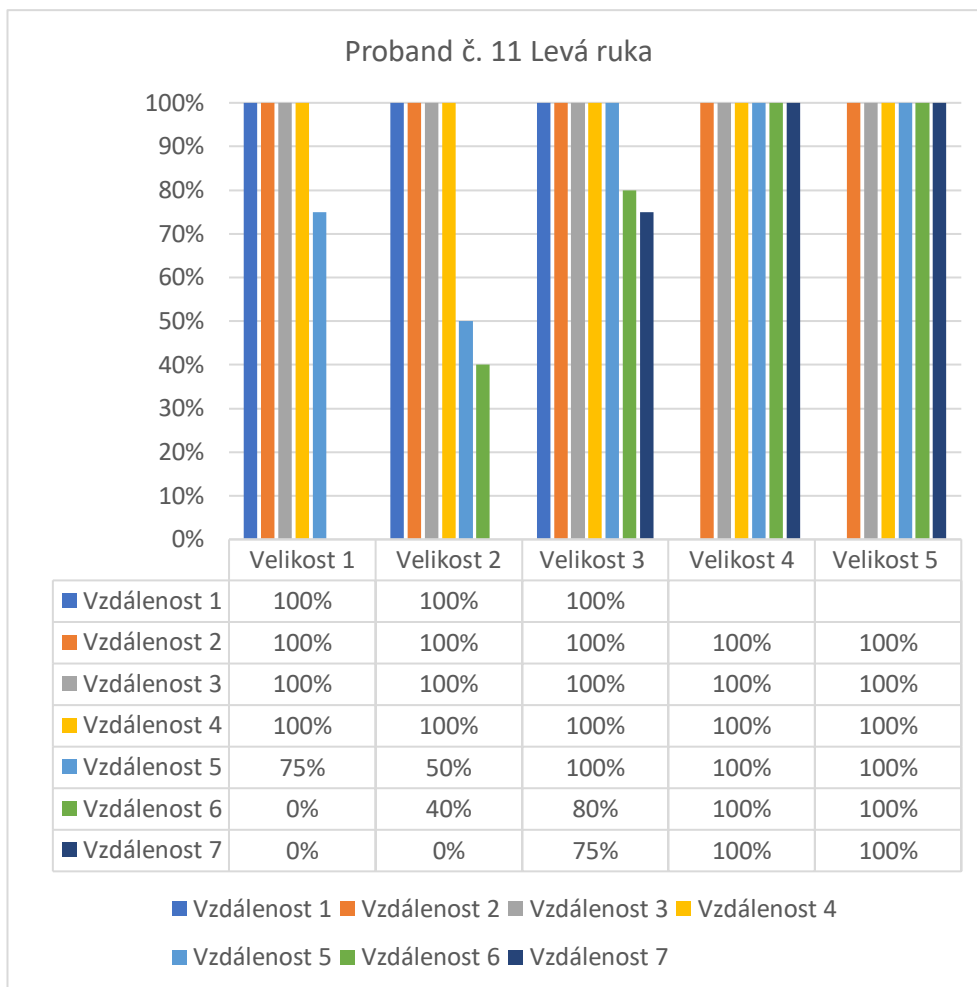
Tabulky č. 19 a č. 20 znázorňují prostorový práh citlivosti probanda č. 10. Prostorový práh citlivosti na bříšku ukazováku pravé ruky se při velikosti bodů č. 1 pohybuje okolo 0,5 mm, ne-li níž, jelikož v nejmenší velikosti chyboval pouze jednou. U ostatních velikostí bodů tímto prstem nechyboval a prostorový práh citlivosti se tudíž nachází pod měřenými hodnotami. Prostorový práh citlivosti na bříšku ukazováku levé ruky se při velikosti bodů č. 1 pohybuje okolo 1 mm, u velikosti č. 2 se pohybuje okolo 0,5 mm a u velikostí č. 3, 4 a 5 se pohybuje pod měřenými hodnotami.

Prostorový práh citlivosti probanda č. 10 na obou dlaních probanda se pohybuje okolo 5 mm.

Proband č. 11



Tabulka 21 Proband č. 11 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh

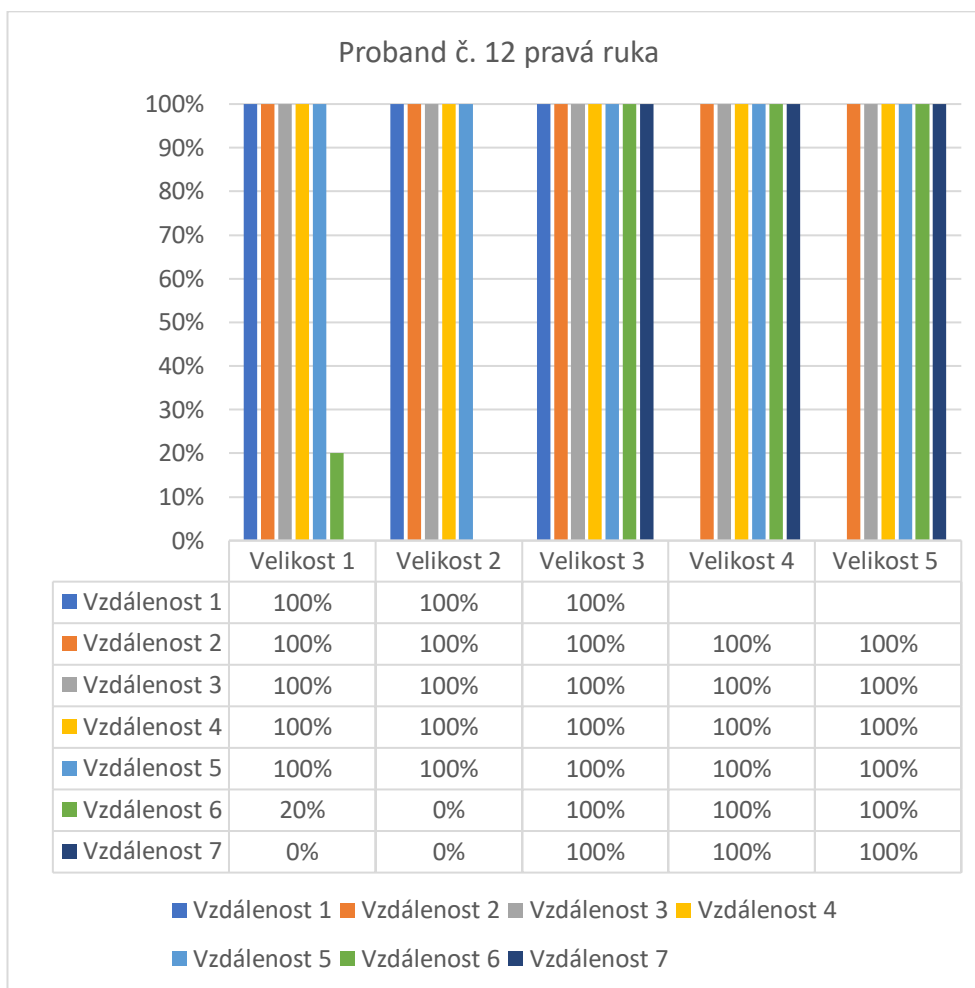


Tabulka 22 Proband č. 11 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

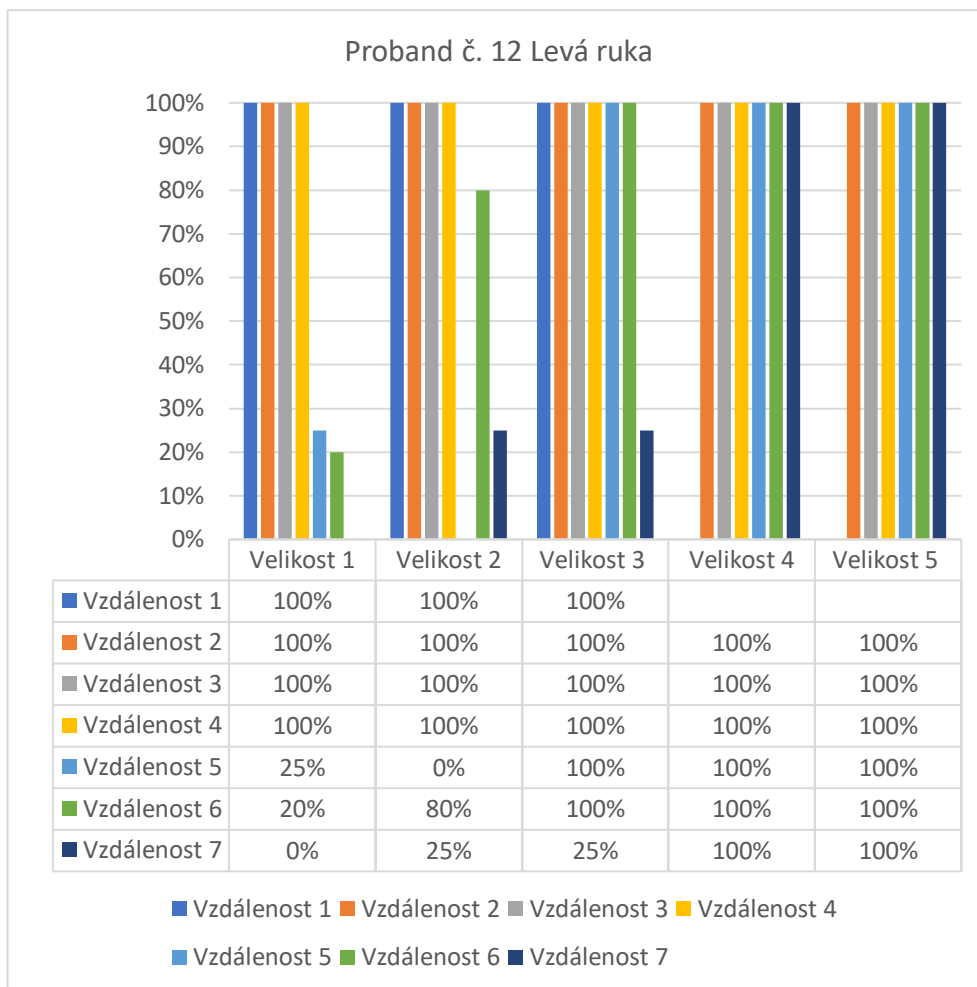
Tabulky č. 21 a č. 22 znázorňují prostorový práh citlivosti probanda č. 11. Prostorový práh citlivosti probanda č. 11 byl významně ovlivněn sekundární diagnózou, která negativně ovlivňuje hmatové vnímání. Prostorový práh citlivosti bříška ukazováku pravé ruky se u velikosti bodů č. 1 pohybuje okolo 1,5 mm, u velikostí bodů č. 2 a 3 se pohybuje okolo 1 mm a u velikostí bodů č. 4 a 5 se pohybuje pod měřenými vzdálenostmi. U velikosti bodů č. 1, 2 a 3 se prostorový práh citlivosti bříška ukazováku levé ruky pohybuje okolo 1,5 mm. U velikostí bodů č. 4 a 5 se pohybuje prostorový práh citlivosti pod měřenými hodnotami.

Prostorový práh citlivosti probanda č. 11 se na dlaních obou rukou pohybuje okolo 7,5 mm.

Proband č. 12



Tabulka 23 Proband č. 12 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh



Tabulka 24 Proband č. 12 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh

Tabulky č. 23 a č. 24 znázorňují prostorový práh citlivosti probanda č. 12. Prostorový práh citlivosti probanda č. 12 byl významně ovlivněn sekundární diagnózou, která negativně ovlivňuje hmatové vnímání. Prostorový práh citlivosti bříška ukazováku pravé ruky se u velikostí č. 1 a 2 pohybuje okolo 1 mm. U bodů velikosti č. 3, 4 a 5 se pohybuje pod měřenými hodnotami. Prostorový práh citlivosti u bříška ukazováku levé ruky se pohybuje okolo u velikostí č. 1 a 2 okolo 1,5 mm, u velikosti č. 3 u 1 mm a u velikostí 4 a 5 pod měřenými hodnotami.

Prostorový práh citlivosti probanda č. 11 se na dlaních obou rukou pohybuje okolo 10 mm.

Průměr proband č. 1 až proband č. 10



Tabulka 25 Průměr prostorového prahu citlivosti bříšek ukazováků pravých rukou probandů 1-10

Z výsledků experimentu vyplynulo, že bříšky ukazováků **pravé ruky u velikosti č. 4 a 5** probandi byli schopni určit, zdali se jedná o dva body i v nejmenších měřených vzdálenostech, kdy se body navzájem dotýkaly a nešlo tudíž již vzdálenosti mezi vrcholy bodů zkrátit. To znamená, že prostorový práh pro body této velikosti se nachází na překryvu bodů – pod hodnotou 2 mm u velikosti bodů č. 4, respektive pod vzdáleností 3,5 mm u velikosti bodů č. 5. Z toho vyplývá, že pokud chceme simulovat objekty pro osoby se zrakovým postižením s rozvinutým hmatovým vnímáním pomocí bodů o poloměru 1,4 mm a vyšší, je potřeba aby se body překrývaly, k tomu, aby vzniklý objekt působil sám o sobě celistvě.

U velikosti č. 3 byli probandi schopni bříškem ukazováku pravé ruky vždy určit vzdálenost č. 1 až 5. Tedy vzdálenost mezi vrcholy bodů 2 mm a vyšší. Pouze jeden proband

jednou chyboval ve vzdálenosti č. 6, tedy při vzdálenosti 1,5 mm mezi vrcholy bodů. Dva probandi chybovali u vzdálenosti č. 7, tedy při vzdálenosti 1 mm mezi vrcholy bodů. 8 probandů bylo schopno určit zdali se jedná o dva body i u vzdálenosti č. 7. Z toho vyplývá, že ač se jednalo o body se skoro stejným průměrem jako body č. 4, znesnadňovalo zploštění bodů části probandům rozeznávání počtu bodů. Zploštěné body tudíž jde hůře rozeznat, než body kulovitého tvaru.

U velikosti č. 2 byli probandi bříškem ukazováku pravé ruky schopni určit vzdálenosti č. 1 až 5. Tedy vzdálenosti 1,5 mm a vyšší. 4 probandi chybovali u vzdálenosti č. 6 tedy u vzdálenosti mezi vrcholy bodů 1 mm. 5 probandů chybovalo u nejnižší vzdálenosti č. 7, tedy u vzdálenosti mezi vrcholy bodů 0,5 mm. Pouze 3 probandi nechybovali ani ve vzdálenosti č. 6 ani ve vzdálenosti č. 7.

U velikosti č. 1 byli probandi bříškem ukazováku pravé ruky schopni určit vzdálenosti č. 1 až 5. Tedy rovněž vzdálenosti 1,5 mm a vyšší. U vzdálenosti č. 6 chybovalo 6 probandů. U vzdálenosti č. 7 chybovali alespoň v jedné skupině bodů všichni probandi.

Průměrná úspěšnost určování, zdali se jedná o dva body či nikoliv u bříšek ukazováků pravé ruky byla u velikosti č. 5 a 4: 100 %, u velikosti č. 3: 98,64 %, u velikosti č. 2: 93,64 % a u velikosti č. 1: 90,29 %. Celkový průměr úspěšnosti bříška ukazováku pravé ruky byl 96,30 %.

Z výsledků tudíž vyplývá, že se 100% přesností zvládli všichni probandi s aktivně rozvíjeným hmatem určit dva body na vzdálenost mezi vrcholy bodů 2 mm a vyšší. 9 probandů rozlišilo 2 body na vzdálenost 1,5mm a vyšší. 3 probandi byli schopni se 100% přesností určit dva body na vzdálenost mezi vrcholy bodů 1 mm a vyšší. Vzdálenost, na kterou by všichni probandi nebyli schopni od sebe ve všech případech odlišit dva body, nebylo možné pomocí této testové baterie určit. Z výsledků experimentu vyplývá, že na bříscích ukazováků pravé ruky u probandů aktivně rozvíjejících hmat se vzdálenost, na kterou by probandi nebyly vždy rozlišit počet bodů, nachází pod vzdáleností 0,5 mm od vrcholů bodů.

Průměr prostorového prahu citlivosti na dlani pravé ruky probandů č. 1 až 10 byla 5,5 mm.



Tabulka 26 Průměr prostorového prahu citlivosti bříšek ukazováků levých rukou probandů 1-10

Z výsledků experimentu vyplynulo, že bříšky ukazováků **levé ruky** u **velikosti č. 4 a 5** probandi byli schopni určit, zdali se jedná o dva body i v nejmenších měřených vzdálenostech, kdy se body navzájem dotýkaly a nešlo tudíž již vzdálenosti mezi vrcholy bodů zkrátit. To znamená, že prostorový práh pro body této velikosti se nachází na překryvu bodů – pod hodnotou 2 mm u velikosti bodů č. 4, respektive pod vzdáleností 3,5 mm u velikosti bodů č. 5. Z toho vyplývá, že pokud chceme simulovat objekty pro osoby se zrakovým postižením s rozvinutým hmatovým vnímáním pomocí bodů o poloměru 1,4 mm a vyšší, je potřeba aby se body překrývaly, k tomu, aby vzniklý objekt působil sám o sobě celistvě.

U **velikosti č. 3** byli probandi schopni bříškem ukazováku pravé ruky vždy určit vzdálenost č. 1 až 6. Tedy vzdálenost mezi vrcholy bodů 1,5 mm a vyšší. Pouze jeden proband jednou chyboval u vzdálenosti č. 7, tedy při vzdálenosti 1 mm mezi vrcholy bodů. Vzhledem

k tomu, že se jedná pouze o jednu chybu, nelze prezentovat jednoznačné výsledky. Práh citlivosti většiny probandů se nachází pod nejmenší měřenou vzdáleností, tedy 1 mm při dané velikosti a tvaru bodů.

U velikosti č. 2 byli probandi bříškem ukazováku pravé ruky schopni určit vzdálenosti č. 1 až 5. Tedy vzdálenosti 1,5 mm a vyšší. 7 probandů chybovalo u vzdálenosti č. 6, tedy u vzdálenosti mezi vrcholy bodů 1 mm. 5 probandů chybovalo u nejmenší vzdálenosti, tedy u vzdálenosti mezi vrcholy bodů 0,5 mm. Pouze 2 probandi nechybovali u vzdálenosti č. 6 ani u vzdálenosti č. 7. Prostorový práh citlivost, při němž probandi začínají ztrácet schopnost správně rozlišit dva body se vyskytuje okolo 1 mm.

U velikosti č. 1 byli probandi bříškem ukazováku levé ruky schopni určit vzdálenosti č. 1 až 4.

Tedy vzdálenost 2 mm a vyšší. U vzdálenosti č. 5 (1,5 mm) chybovali 2 probandi. U vzdálenosti č. 6 (1 mm) chybovalo 6 probandů. U vzdálenosti č. 7 chybovalo všech 10 probandů.

Průměrná úspěšnost určování, zdali se jedná o dva body či nikoliv u bříšek ukazováků pravé ruky byla u velikosti č. 5 a 4: 100 %, u velikosti č. 3: 99,64 %, u velikosti č. 2: 94,07 % a u velikosti č. 1: 87,36 %. Celkový průměr úspěšnosti bříška ukazováku levé ruky byl 95,98 %.

Z výsledků vyplývá, že se 100% přesností zvládli všichni probandi s aktivně rozvíjeným hmatem určit dva body na vzdálenost mezi vrcholy bodů 2 mm a vyšší. 8 probandů ve všech případech rozlišilo od sebe dva body na vzdálenost 1,5 mm a vyšší. 2 probandi byli schopni od sebe rozlišit ve všech případech dva body na vzdálenost 1 mm a vyšší. Velikost, na kterou by všichni probandi nebyli schopni od sebe odlišit dva body alespoň v jednom případě bříškem ukazováku levé ruky, nebylo možné pomocí této testové baterie nalézt, jelikož je nižší než 0,5 mm.

Průměr prostorového prahu citlivosti na dlani levé ruky probandů č. 1 až 10 byla 6,2 mm.

Porovnáme-li mezi sebou výsledky experimentů obou rukou: Při velikostech bodů č. 4 a 5 byli probandi schopni bříšky ukazováku levé i pravé ruky rozlišit všechny body. U velikostí č. 2 a 3 dosahovali probandi lepších výsledků ukazováky levé ruky. U velikosti č. 3 byl průměr úspěšnosti levé ruky 99,64 %, zatímco u pravé 98,64 %. U velikosti č. 2 byl průměr úspěšnosti levé ruky 90,07 %, zatímco u pravé ruky 93,64 %. U velikosti č. 1 probandi zdárněji určovali pravou rukou v 90,29 %, oproti levou rukou 87,36 %. Porovnáme-li průměrnou

úspěšnost obou rukou napříč všemi velikostmi, lepší schopnost rozlišit dva body měli probandi pravou rukou (96,3 %), než levou rukou (95,98 %).

Dlaní pravé ruky byli probandi schopni rozlišit dva body v průměru na vzdálenost 5,5 mm, zatímco dlaní levé ruky v průměru na vzdálenost 6,2 mm.

Zjištění experimentu:

- Vzdálenost, na kterou jsou probandi vždy schopni rozlišit dva body od sebe se pohybuje od 1 mm u nejlepších do 2 mm, při velikostech bodů 0,6 mm až 1,78 mm.
- Při velikostech bodů 2,8 mm a výše by se musely tyto body částečně překrývat, aby je probandi ve všech případech nerozlišili správně.
- Vzdálenost, na kterou by všichni probandi nebyli nikdy schopni určit, zdali se jedná o jeden bod, nebo dva se nachází pod minimální testovanou vzdáleností 0,5 mm. Nebylo jí tudíž možné pomocí této testovací baterie stanovit.
- Probandi dosahovali v průměru lepších výsledků bříškem ukazováku pravé ruky, ne však natolik, aby bylo možné říct, že zařízení simulující hmatové podněty může mít nižší rozlišení na bříšku ukazováku levé ruky, než na tom pravém.
- Znatelně lépe rozvinutý mají probandi hmat na dlani pravé ruky, než na dlani levé. Zatímco nejmenší rozlišitelnou vzdálenost mezi dvěma body byla na levé dlani 5 mm, jeden proband zvládnul určit dva body na vzdálenost 3 mm. Vzhledem k tomu, že prostorový práh citlivosti byl zjišťován pouze orientačně na dlaních obou rukou, nelze z tohoto zjištění vyvozovat závěry a slouží tak spíše k poukázání v jakých řádech by se měl pohybovat další výzkum v této oblasti.

Níže budou projednávány limity výzkumu a komentáře spojeny s experimentem:

V rámci testu nebyl měřen čas, který proband potřeboval ke správnému určení počtu bodů. Z pozorování vychází, že se snižující se vzdáleností potřeboval proband více času na určení počtu bodů. V navazujícím výzkumu by proto bylo vhodné zaměřit se i na tento faktor.

Limitem tohoto způsobu testování byla ruční výroba této testovací baterie. Vzdálenost vrcholů byla měřena v bázi bodů a ručním zasouváním bodů došlo k nepřesnosti. Zároveň úhel pod kterým body byly do podložky zasouvány nebyl konstantní a mohlo tak dojít k mírným odchylkám vzdáleností mezi vrcholy bodů.

Další zkreslení mohly způsobit mikropohyby¹² prstů probandů, bez zvednutí břicha prstu, kterými si někteří probandi mohli usnadnit určování bodů. Ač vrchní vrstva kůže při těchto pohybech zůstávala na místě, hlubší vrstvy kůže se mohly částečně pohnout a usnadnit tak určování počtu bodů. Probandi byli na nevhodnost takového chování během experimentu upozorňováni a slovně upomínáni, aby se takovému chování vyhnuli. I přesto nebylo možné vzhledem k věku probandů plně tuto skutečnost odstranit.

Další nekonzistentností tohoto způsobu testování byl tlak, jenž probandi aplikovali na jednotlivé body a tím zapojení různých druhů hmatových buněk. Slovně i názorně byli probandi vyzýváni k aplikování konzistentního tlaku na body. I přesto nebylo možno odstranit nekonzistentnost aplikovaného tlaku bříškem prstů všech probandů.

V rámci výzkumu nebyla rovněž zohledněna denní doba, ve které se probandi účastnili výzkumu. Jelikož byli probandi testováni v odpoledních hodinách školních dní, nemuseli podat optimální výkon, jako by tomu bylo v dopoledních hodinách.

Podkapitola čtenáře uvedla do problematiky hmatového vnímání, představila mu, jakým způsobem hmatové vnímání funguje, které buňky registrují jaké aspekty hmatových podnětů. Zároveň tato podkapitola čtenáři ukazuje, jaký význam má hmat v životě osob s těžkým zrakovým postižením, jaké je jeho místo v každodenním životě a v procesu edukace. Podkapitola čtenáři představuje experimentální část práce, která má za cíl zjištění prostorového prahu citlivosti na bříscích ukazováků horních končetin a dlaní.

Na rádcích této kapitoly může čtenář pozorovat, že zrak má pro člověka nezastupitelný význam a kompenzačními mechanismy lze pouze částečně nahradit kvalitu a kvantitu informací, které pomocí něj získáváme. Tato kapitola čtenáři představila, jakým způsobem získáváme informace z okolního světa jednotlivými smysly. Jaký význam mají tyto smysly pro člověka se zrakovým postižením. Jaké existují pomůcky, které využívají ostatních smyslů. Čtenáři tak poskytuje základní ponětí o fungování smyslů, které je důležité pro pochopení zařízení, které simulují podněty získávané pomocí zraku a hmatu.

¹² Pro potřeby této práce je mikropohyb definován jako takový pohyb, který je sotva znatelný okem.

2 ROZŠÍŘENÁ REALITA VYUŽÍVAJÍCÍ HMAT

Simulace hmatových podnětů v rámci rozšířené reality hraje v současné době spíše doplňkovou funkci k simulovaným zrakovým a sluchovým podnětům. V takovém případě je ovšem nutné, aby informace získané touto cestou odpovídaly informacím ze zraku a sluchu a rozvíjeli je tak, místo toho, aby naopak působily rušivým dojmem. Existuje řada specifických zařízení, u kterých hraje haptická simulace prim, a u kterých zrak a sluch není využit zcela, nebo jen v malé míře. Existuje celá řada možností, jakým způsobem simulovat haptické podněty, na jaké části těla tyto podněty simulovat, jakým zařízením a k čemu tyto stimuly využít. Kapitola tak čtenáře seznamuje s možnostmi simulace haptických podnětů, s přístroji primárně určenými pro intaktní jedince a s příklady přístrojů pro cílovou skupinu.

2.1 Možnosti simulace haptických podnětů

Nejprve je důležité seznámit se s možnostmi, simulace haptických podnětů, ty lze simulovat několika základními způsoby. Neurčité haptické podněty je relativně jednoduché simulovat. Ty ale poskytují uživateli pouze omezené množství informací. Naopak čím přesnější simulace haptických podnětů je, tím náročnější je jí dosáhnout. Ovšem nelze říct, že přesnější simulace je vždy lepší. Pro běžné uživatele jsou v současné době dobře dostupné zařízení využívající vibrace k simulaci haptických podnětů. Většina z nás takové zařízení nosí každý den s sebou v podobě mobilního telefonu. K simulaci přesných a komplexních haptických podnětů je ovšem potřeba složitějších technologií a jejich kombinace. Možnosti simulace je možné rozdělit následovně na simulaci pomocí:

- **Vibrotaktilní zpětné vazby**, která využívá k simulaci hmatových podnětů vibrací. Jedná o nejrozšířenější způsob, kterým jsou simulovány haptické podněty. Setkáváme se s ním v každodenním životě u vibrací mobilních telefonů, odezvy dotykových obrazovek nebo u herních periferií. Jedná se o finančně dobře dostupné řešení implementace haptických podnětů, avšak zároveň poskytuje jen velice obecné podněty, které nedokážou vytvářet plnohodnotnou simulaci daného objektu (Vezzoli, 2022).
- **Kinestetiky**, neboli silová zpětná vazba, je další možností, kterou jsme schopni simulovat hmatové podněty. Pomocí kinestetiky je zařízení schopno simulovat pocit, že simulovaný objekt klade uživateli odpor. Je poměrně rozšířená v soukromé sféře, k běžným uživatelům se v současné chvíli pouze dostává. Kinestetiku je dále možné rozdělit na pasivní a aktivní. **Pasivní kinestetika** klade pouze odpor pohybu až do takové míry, kdy jej zcela zastaví. Lze tak například simulovat, že jedinec v ruce svírá

pevný předmět, který není možné již více stlačit. Oproti tomu **aktivní kinestetika** dokáže pohyb nejen zcela zastavit, ale může aplikovat tolik síly, že s kloubem zcela pohne. Aktivní kinestetikou proto jdou simulovat podněty, které pomocí pasivní kinestetiky nejdu simulovat, může se jednat třeba o nafukování balónku, který postupně rozevívá uživateli ruku. Je proto vhodné před samotným použitím zařízení nastavit sílu zařízení na míru jeho uživateli, aby nedošlo k negativním zkušenostem (Vezzoli, 2022).

- **Kontaktní haptická zpětná vazba** využívá přímo kontaktu přístroje s kůží uživatele. To může činit tření, deformací kůže, nebo elektrostimulací (Vezzoli, 2022). Tyto způsoby simulace haptických podnětů jsou poměrně přesné, avšak technicky vysoce náročné. Vyžadují totiž, aby každý stimulovaný bod byl představován konkrétním taktorem (taktilním aktuátorem).¹³ Taktor si je možné představit jako hmatový pixel. Ovšem narozdíl od hustoty pixelů v obrazovce, není hustota taktorů napříč povrchem těla konstantní, ale měla by odpovídat hustotě hmatových bodů pokožky. Největší hustota taktorů se tudíž bude nacházet bříšcích prstů horních končetin. Kromě hustoty bodů je důležitá také obnovovací frekvence těchto bodů a kolika různých poloh jsou teoreticky schopny dosáhnout za vteřinu. Dle společnosti HaptX (2024) je to 20 až 30 poloh za vteřinu, aby uživatel vnímal simulovaný objekt plynule. Dále je důležité zmínit, že taktory musí být schopny vytlačit poměrně velký objem kůže, vůči samotné tloušťce taktoru, k tomu, aby byl člověk schopný tuto informaci zaznamenat. Například společnost HaptX (2024) uvádí, že ideální taktor by měl být široký maximálně 2 až 3 mm a měl by být schopen vtlačit pokožku až 2 cm hluboko.
- **Bezkontaktní haptická stimulace** využívá vln stlačeného vzduchu k stimulování hmatových buněk. Jedná se o velice specifický způsob, který není moc využíván, ale má poměrně značný potenciál využitelnosti, díky své bezpečnosti a „průhmatnosti.“¹⁴

Jelikož při simulaci haptických podnětů velmi často nevyužíváme pouze jednu metodu, ale jejich kombinace, získáváme poměrně bohatou škálu možností, pomocí kterých jsme schopni dosáhnout různých úrovní realističnosti simulovaných podnětů. Můžeme tak zvolit takovou kombinaci, která nejlépe odpovídá potřebám a možnostem uživatelům, a která se zároveň nejlépe hodí pro daný účel. Vezzoli (Vezzoli a kol., 2023) uvádí, že kombinací

¹³ Taktilní akční člen (taktor) převádí informaci programu na hmatový podnět působící na pokožku jedince.

¹⁴ Průhmatnost znamená, že umožňuje uživateli vnímat virtuální stimuly a skrze ně i podněty z reálného světa. Konstrukce haptického zařízení nebrání uživateli vnímat skutečné podněty.

stávajících technologií nelze plnohodnotně simulovat realistické hmatové podněty a je nutné dojít ke kompromisu v simulaci některé ze složek hmatu. Z tohoto tvrzení tudíž vyplývá, že neexistuje zázračná komplexní pomůcka.¹⁵ Nejsme schopni sestavit přístroj, který by bylo možné univerzálně aplikovat na simulaci hmatových podnětů. Znamená to, že pro danou aplikaci je potřeba využít konkrétní přístroje sestavené za tímto účel.

2.2 Haptické rukavice

Vzhledem k hustotě hmatových buněk cílí převážná řada zařízení simulující haptické podněty právě na tuto oblast lidského těla. Jedná se o celou řadu ovladačů, dotykových zařízení, herních periférií a haptických rukavic. Haptické rukavice jsou nositelné zařízení, které simulují haptické podněty virtuálních objektů (Siegel, Zhao, 2008). Jak již vypovídá název mají tvar rukavice, tudíž si je uživatel nasazuje na ruce. Častěji se setkáváme s bimanuálním způsobem užití, ale je možné je používat i monomanuálně. V současné době tyto zařízení procházejí poměrně rychlým vývojem. Jednotlivé taktory se zdokonalují, jsou přesnější, menší, levnější. Haptické rukavice kombinují různé formy simulace haptických podnětů. Od těchto forem simulace a jejich přesnosti se následně odvíjí i cena výsledného produktu. Kdy může začínat na několika desítkách dolarů u rukavic vyrobených na 3D tiskárně v domácích podmínkách (De Bonet, 2022), po tisíce dolarů u rukavic, které dokáží simulovat velmi jemné a detailní hmatové podněty. Haptické rukavice tak mohou simulovat jemné haptické podněty i kinestetiku, některé dokonce i teplotu. Zároveň některé zařízení sledují polohu v prostoru až jednotlivých kloubů a získávají tím mnoho informací o chování uživatele při interakci s virtuálními objekty, které je možné následně vyhodnocovat (HaptX, 2024).

Haptické rukavice jsou významné pro trénink, kdy umožňují nácvik činností v bezpečném prostředí a s přístroji, které nejsou dobře fyzicky dostupné. Jsou tudíž významné pro edukaci celé řady povolání. Haptické rukavice představují bezpečnou formu nácviku mnoha činností, využívají se při armádním tréninku, tréninku krizových složek, či jiných profesionálů na situace, při kterých může dojít ke zranění, nebo újmě na majetku. Můžou tak nacvičovat práci, která běžně zahrnuje ionizující záření, vysoké napětí, nebezpečné teploty a další. Díky haptickým rukavicím tak může celá řada povolání cvičit svalovou paměť, aniž by tím ohrožovala svůj život, život jiných, nebo majetek. Zároveň je tento způsob častokrát méně nákladný, jelikož při něm není potřeba drahých přístrojů, ale pouze jejich virtuálních verzí,

¹⁵ Pokud bychom chtěli simulovat plně realistické haptické podněty po celém povrchu lidského těla, potřebovali bychom okolo 48 000 jednotlivých hmatových aktuátorů. Zároveň by každý tento musel být schopen simulovat všechny složky hmatu (Vezzoli a kol. 2023)

které se tímto tréninkem neničí. Haptické rukavice tak mohou být využity při zácviku nových pracovníků ve velkých firmách. Významné jsou také při vývoji nových produktů, kdy není nutné jednotlivé prototypy vytvářet nejprve ve fyzické podobě, ale je možné je pouze virtuálně simulovat. Což může ušetřit čas a peníze na vývoj. Zároveň mohou být haptické rukavice významné pro marketing nových produktů, které si může tímto způsobem zákazník ihned vyzkoušet, bez nutnosti složitých logistických operací. S využitím haptických rukavic se tak v tuto chvíli můžeme setkat například na Dánského ministerstva obrany, Volkswagenu, v medicíně, robotice, vzdělávání, nebo herním a zábavním průmyslu (SenseGlove, 2022).

Haptické rukavice, které jsou schopny simulovat objekty s poměrně vysokou přesností jsou **HaptX gloves G1**. Ty disponují pasivní silovou zpětnou vazbou, sledováním jednotlivých částí rukavic v prostoru a mikrofluidní technologií,¹⁶ která simuluje jednotlivé taktilní body. Podle patentů (Rubin a kol., 2017) a webových stránek společnosti (HaptX, 2024) se v bříšcích ukazováku předchozího modelu DX2 nachází celkem 12 taktorů. S tím, že v celé rukavici se jich nachází dohromady 135. Počet a rozložení taktorů v modelu G1 není v současné době známo (Shen a kol., 2023). Rukavicemi s ještě vyšším rozlišením jsou rukavice společnosti **Fluid Reality** (Fluid Reality, 2023), které mají 32 taktorů, využívajících elektroosmózy¹⁷ na bříšcích prstů a celkově 160 taktorů napříč celou rukavicí. Na rozdíl od HaptX gloves G1 ovšem nemají taktory na dlaních. Bohužel ani jedna společnost neuvádí velikost těchto bodů. S tím, že HaptX G1 má mezi jednotlivými body výrazné mezery, zatímco body u haptických rukavic od Fluid reality se jednotlivé body na první pohled částečně překrývají. HaptX G1 jsou ovšem v pokročilejší fázi vývoje. Haptické rukavice společnosti Fluid Reality tak nedisponují silovou zpětnou vazbou, a tudíž uživateli nedávají přesnou představu o velikosti objektu. Nelze tak bez experimentální komparace říci, které z těchto dvou haptických rukavic by byly vhodnější pro využití u cílové skupiny.

Dalšími haptickými rukavicemi primárně určenými pro intaktní populaci jsou:

- **SenseGlove Nova 2**, které disponují vibrotaktilní zpětnou vazbou, pasivní silovou zpětnou vazbou a umístění rukavic v prostoru (SenseGlove, 2023). Z toho vyplývá, že dokáží simulovat velikost objektů, jejich polohu v prostoru a jejich přibližnou strukturu. Vibrotaktilní zpětnou vazbou ovšem nejdou simulovat přesné, jemné detaily objektů.

¹⁶ Mikrofluidní technologie funguje na principu, kdy jsou jednotlivé taktory ovládány tlakem kapaliny. Jsou tedy buď napouštěny, nebo vypouštěny kapalinou a tím se mění jejich tvar a tím i hmatový podmět.

¹⁷ Elektroosmóza funguje na principu, kdy jsou částice kapaliny přitahovány k elektricky nabitému povrchu (Wilson, 2000).

- **Manus Prime 3**, které disponují vibrotaktilní zpětnou vazbou a přesným sledováním umístění v prostoru (Manus, 2023). Jsou tudíž vhodné jako doplněk k VR headsetu, ale samotné uživateli poskytují pouze vibrotaktilní zpětnou vazbu a na základě toho je pro uživatele obtížné vytvořit si představu o objektu.
- **Tesla Glove**, disponují aktivní a pasivní silovou zpětnou vazbou, vibrotaktilní zpětnou vazbou, sledováním rukavic v prostoru a sledováním biometrických údajů uživatele (TeslaSuit, 2022). Rukavice tudíž dokáží dobře simulovat velikost objektu, jeho strukturu a umístění v prostoru, nedokáží ovšem simulovat jemné detaily.

Existují ovšem haptické rukavice, které jsou přímo určeny pro potřeby osob se zrakovým postižením. Příklady těchto rukavic a jejich využití jsou:

- **Anora**, jedná se o haptickou rukavici, která má na hřbetu ruky senzory, které nevidomému uživateli dokáží předávat následující informace: Vzdálenost od objektu, která je uživateli předávána vibrotaktilní zpětnou vazbou a zvukovou aplikací; barva objektu; světelné podmínky – zdali je v místnosti rozsvíceno, jestli je v prostoru přirozené, nebo umělé světlo; rozpoznání peněz, nouzové tlačítko, které v nouzi dokáže odeslat informace o poloze uživatele blízké osobě (Krstic, 2022). Banovic (2019) ve svém článku o Anora rukavicích dokonce uvádí, že by měly rukavice být schopny rozpoznat informace o výrazu obličeje, na který uživatel rukavicí ukazuje. Z popisu dané rukavice můžeme vidět, že se jedná o zařízení, které poskytuje svému uživateli nespočet velice užitečných informací a usnadňuje mu díky tomu život. Rukavice ovšem nejsou v současné době komerčně dostupné. Zároveň název rukavice je v tomto případě lehce zavádějící, jelikož se jedná spíše o senzor na hřbetu ruky uživatele, než o rukavice v pravém slova smyslu.
- Haptické rukavice sloužící pro komunikaci uživatelů s duálním sensorickým postižením. Tyto haptické rukavice mají na dlani Braillskou klávesnici, na kterou uživatel píše zprávy, ty jsou následně pomocí Bluetooth přenášeny do mobilní aplikace, která je zpracovává do podoby latinky a odesílá komunikačnímu partnerovi uživatele. Rukavice rovněž dokáží zprávy v šestibodu přijímat hřbetem ruky. Z výsledků testování vyplynulo, že komunikace tímto způsobem je rychlejší, než pomocí vypichování do Pražské tabulky (Villarreal a kol., 2020). V rámci výzkumu ovšem nebyl tento způsob

komunikace srovnáván s psaním na Braillovém řádku. Vzhledem k rychlosti komunikace se tak jeví komunikace pomocí Braillového řádku jako rychlejší, jelikož lze používat prsty obou rukou. Zároveň Braillový řádek neomezuje uživatelskou ruku v pohybu, zobrazuje několik symbolů najednou a umožňuje zobrazovat osm bodů místo šesti. Využití haptických rukavic tímto způsobem se autorovi této práce zdá vhodné pouze ve velmi specifických případech.

- **Avatar VR**, byly haptické rukavice, které vyvinula společnost NeuroDigital a byly použity pro zprostředkování umění pomocí hmatu osobám s těžkým zrakovým postižením. Rukavice mohli využít i uživatelé na výstavě v roce 2018 v Praze v Anežském klášteře s názvem *Touching Masterpieces*. Haptické rukavice s vibrotaktilní zpětnou vazbou dovolovaly uživatelům vnímat strukturu a tvar uměleckých děl. Ač autoři rukavic tvrdí, že se jedná o velmi přesné vibrace (Koval, 2018), je možné touto technologií dosahovat pouze omezené míry detailů. Tyto rukavice nepřinášejí revoluční technologie, pouze aplikují ty, které jsou využívány nespočtem jiných haptických rukavic. Zajímavým se tak jeví jejich využití v podobě této výstavy. Ovšem o rukavicích ani firmě samotné nejsou v posledních letech žádné zmínky a webové stránky společnosti jsou k nalezení. Je tudíž možné se domnívat, že firma ukončila svou činnost.
- **FeelX glove** je haptická rukavice, která má na bříšcích prstů Braillových osmibodů a zároveň využívá aktivní silové zpětné vazby. Tato haptická rukavice byla využita u cílové skupiny k navigaci v operačním systému, který ovšem nebyl grafické podoby, ale hmatové. Uživatel rukou přejíždí po rovné ploše, kterou snímá kamera. Rukavice pak simulují hmatové podněty, které znázorňují hmatové rozhraní počítače. FeelX glove byla testována na rozpoznávání jednoduchých tvarů a vykazovala poměrně slibné výsledky (Soviak a kol., 2016). Autoři na výsledky tohoto výzkumu navázali v roce 2019, ovšem z haptické rukavice se stalo zařízení více podobné počítačové myši i když ve tvaru lidské ruky (Borodin a kol. 2019). Z výsledků této práce tak vyplývá, že pro orientaci v dvojdimenzionálním počítačovém rozhraní se více hodí zařízení v podobě myši, než haptická rukavice.

2.3 Další haptická zařízení

Existuje nespočet zařízení, které využívají pro přenos informací hmatové podněty. Ovšem rozlišit, kdy se jedná o přístroje rozšiřující realitu a kdy už ne, je náročné, až nemožné.

Z tohoto důvodu tato podkapitola představuje pouze několik možností využití, ale nesnaží se zachytit celou jejich škálu.

Vysoce významnou roli ve vývoji haptických zařízení hraje průmysl erotických pomůcek. Je to z toho důvodu, že zařízení, která jsou produkty tohoto odvětví, musí dosahovat vysokých standardů, vyšších, než je tomu například u herních periférií. Je potřeba aby byly velice bezpečné, ale rovněž velmi silné, vyrobené z materiálů, které jsou odolné, ale ve stejnou chvíli příjemné na dotek a zároveň být chemicky i teplotně stabilní. Mnohé z nich se pohybují až v 9 pohybových směrech. Zapojují tepelné podněty do haptické simulace. A mnoho dalších vlastností, které naplňují uživatelské preference (Machulis, 2022). Velikost tohoto odvětví dosahovala 34 miliard dolarů v roce 2021 (Statista, 2022). Díky tomu může investovat nemalé prostředky do vývoje nových technologií, které se postupem času rozšiřují za hranice tohoto průmyslu do jiných aplikací.

Bohatou skupinu zařízení využívajících hmatových podnětů jsou herní periferie. Jedná se o zařízení, která primárně slouží k ovládání her, jak těch běžných, tak virtuálních. Můžeme se zde setkat s jednoduchými ovladači, které poskytují haptickou odezvu pouze v podobě vibrací, ale i s vysoce komplexními zařízeními, jako jsou haptické vesty, nebo pohybové platformy. Příkladem poměrně levných a dostupných ovladačů využívajících vibrací jsou **Xbox controller** (Xbox, 2024), **Meta quest touch plus controller** (Meta, 2024b) nebo **Dualshock** od playstationu (Playstation, 2024). Novější **Dualsense** od playstationu (2021) disponuje krom vibrací i aktivní kinestetikou. Příkladem haptický vest jsou například **Tactsuit** od bHaptics (bHaptics, 2024), která disponuje až 40 body poskytující haptické podněty, nebo **Skinetic vest** (Skinetic, 2023) se 30 haptickými body. Haptické zařízení mají mnoho podob, velikostí, tvarů a užití. Jakýkoliv objekt může být vytvořen do podoby haptického zařízení. Můžou mít podobu zbraní, nástrojů či křesel, avšak nejčastěji se setkáváme s ovladači univerzálních tvarů, jako je Dualsense. Haptická zařízení nalézají svá uplatnění i v nespočtu dalších odvětví a mají nespočet aplikací. Od humanitních oborů, až po technické. Můžeme se s nimi setkat při vzdělávání, v medicíně, rehabilitaci, v designu, průmyslu, marketingu a v mnoha dalších.

Setkáváme se s celou řadou haptických zařízení, které primárně slouží cílové skupině. Jde především o zařízení, které určené k navigaci, prostorové orientaci a samostatnému pohybu. Jedná se například o:

- **Navigační opasky**, jako je **Active Belt**, který uživateli předává haptické informace o směru chůze, kterým má jít. Výhodou tohoto způsobu navigace,

před hlasovou navigací je to, že nezahluje uživatele zvukovými informacemi. Zvuk je pro cílovou skupinu velmi důležitý při prostorové orientaci a samostatném pohybu a je důležité, aby jím mohl plně získávat informace z okolního světa. Zařízení pro využívá pro určování polohy GPS. Směr je určován pomocí různého počtu vibračních aktuátorů umístěných rovnoměrně po obvodu opasku (Tsukada, Yasumura, 2004). Modernějším pokračovatelem této myšlenky navigace je **naviBelt**, který je lehčí, má zabudovanou baterii, informace o poloze přijímá skrze mobilní telefon. Informace o poloze předává pomocí 16 vibrotaktilních aktuátorů (PointIoT, 2020).

- Podobným zařízením je také **ALVU** (Array of Lidars and Vibrotactile Units), které pomocí lidarů zaznamenává překážky v různých výškách a předává informace o nich uživateli, skrze vibrotaktilní aktuátory, které jsou umístěny v horní části břišní oblasti. Uživatel tak získává informace o výšce umístění překážek a o vzdálenosti ve které se od něj nacházejí. Zařízení zároveň dokáže informovat o umístění schodů (Rus, 2018). Z toho vyplývá, že zařízení je schopno rozpoznat umístění překážek, které se nacházejí i ve výšce, která je běžně nezaznamenatelná pomocí bílé hole. Umožňuje tak uživateli bezpečněji se pohybovat v prostoru.
- S rychlým rozvojem strojového učení („umělé inteligence“) v posledních několika letech, se tato technologie začíná dostávat i do zařízení, která jsou určena pro osoby se zrakovým postižením ke, kompenzaci jejich zrakového postižení. Jedním z takových zařízení jsou i **.Lumen Glasses**. Jedná se o headset, který má uživatel nasazený na hlavě. Cílem tohoto zařízení je nahradit potřebu vodících psů¹⁸ cílovou skupinu, jelikož výcvik vodících psů je drahý a péče o ně je náročná. Toto zařízení dokáže člověka navigovat bezpečně prostorem do jeho cílové destinace. Využívá k tomu technologie podobné jako samořídící auta, kdy pomocí senzorů v přední části zařízení zkoumá trasu a překážky, které na ni jsou. Tyto informace pak předává uživateli pomocí haptické zpětné vazby na čele uživatele a pomocí zvuků. Zařízení není v tuto chvíli ještě komerčně dostupné a informace o využívaných technologiích jsou tak pouze velmi obecné (dotLumen, 2024). Ač zařízení nabízí velké množství

¹⁸ Podle vyjádření společnosti dotLumen (2024) vodícího psa má pouze 28 000 osob se zrakovým postižením z celkových 40 miliónů. Tedy necelé jedno procento osob se zrakovým postižením. V České republice je v současné době přibližně 500 vodících psů (Cibulová Vokatá, 2023).

užití, nedokáže některé věci, které dokáže vodící pes, jelikož nemá ústa, která může vodící pes využívat například k podání předmětu.

2.4 Bezpečnost a nevýhody zařízení

Při implementaci haptické simulace pro jakékoliv účely je nutné dbát na bezpečnost ve vícero oblastech, ať už z pohledu samotného uživatele, tak velkých regulátorů, jako je například Evropská Unie. Následující výčet tak čtenáři letmo představuje tyto oblasti za účelem zamýšlení se nad touto problematikou a upozorněním. Cílem není hloubková analýza těchto oblastí.

- **Fyzické zdraví:** Oblast fyzického zdraví je základní oblastí bezpečnosti, kterou by měly zařízení simulující hmatové podněty dodržovat. Zařízení interaguje přímo s pokožkou uživatele a při přílišném používání zařízení proto hrozí riziko vzniku **zranění z opakovaného přemáhání**. To znamená, že pokud například nějakým kloubem často a v přílišné zátěži pohybujeme dochází k jeho poškození. Zároveň u přístrojů, které aktivně ovlivňují pohyb hrozí riziko, že přístroj pohne s částí těla natolik, že ji poškodí. Například, že zohne prst natolik dozadu, že jej vykloubí a potrhá pojiva.
- **Bezpečí ve virtuálním světě a ochrana osobních údajů:** Ve virtuálním prostředí hrozí uživatelům mnoho nebezpečí, které si často ani neuvědomuje. Objevují se případy hromadných znásilnění ve virtuálním prostředí. Ačkoliv se mohou mnoha lidem zdát tyto případy jako banální, jelikož nezanechávají žádnou fyzickou újmu, jejich psychický a emocionální dopad reálný je. Rapidní rozvoj virtuální reality výrazně překonává rychlost legislativního procesu. V tuto dobu není tato oblast dostatečně regulovaná a chráněná, aby uživatele chránila ve stejné míře, jako je tomu ve fyzickém světě. Není přesně jasné, jak by měly být zpracovávány hmatové informace, které jsou v rámci rozšířené reality zaznamenávány (Camber, 2024; Oppenheim, 2022; Sales, 2024).
- **Nedostatečné vnímání vlastního okolí:** S příchodem headsetu Apple Vision Pro se přímo nabízí otázka ohledně schopnosti uživatelů plnohodnotně vnímat své okolí při jeho využívání. Již první dny po vydání se objevily záběry, kdy lidé s tímto headsetem například řídí auto. Tento Headset je nastavený tak, že jednotlivá grafická okna zůstávají na místě a uživateli tak částečně brání v nebezpečných činnostech. Ale i samotné zastavení uprostřed chodníku a otevření oznámení může být pro člověka nebezpečné, jelikož přestane vnímat své okolí a bude plně zabraný do virtuální činnosti.

- **Manipulace:** Množství finančních prostředků vynaložených na reklamní sdělení stále roste (Statista, 2023). Racat (2023) tvrdí, že zapojením hmatu je možné výrazně podpořit uskutečnění nákupu i jeho výši. Z toho vyplývá, že hmat se může stát významným prostředkem, jak ovlivnit uživatele ke koupi a zvýšit tak prodeje. Je tudíž důležité být v tomto smyslu obezřetný, aby uživatelé tento druh reklamních sdělení ještě více nezmanipuloval.
- I přesto, že uživatelé mohou utíkat před reálným světem do světa virtuálního, jejich činy v něm a události, které se v něm odehrají budou mít na člověka neméně závažné dopady. Je tak možné uvažovat o nastavení jasných pravidel a zákonů pro virtuální prostory, které budou vymáhány. Tímto by mohlo být alespoň částečně poskytnuto uživatelům bezpečí.

Kapitola čtenáři představila způsoby simulace haptických podnětů, jejich výhody a nevýhody. Dále se v ní mohl čtenář seznámit s haptickými rukavicemi a jejich využitím, s dalšími zařízeními simulujícími haptické podněty, s možnostmi, které nabízejí a s nebezpečími, na které je nutné myslet při jejich využívání.

3 ROZŠÍŘENÁ REALITA VYUŽÍVAJÍCÍ ZRAK

Tato kapitola se zabývá rozšířenou realitou, která využívá zachovalých zrakových schopností u osob se zrakovým postižením. Z tohoto důvodu se tato část práce zabývá pouze osobami se zrakovým postižením, u kterých je zraková vada na takové úrovni, že dokáží běžně využívat zrak pro získávání informací. Při využívání rozšířené reality je ovšem velmi důležité přísně dodržovat zásad zrakové hygieny, aby nedocházelo k progresi zrakové vady. Jelikož v průběhu využívání rozšířené reality může člověk mít zkreslený pojem o čase a dění kolem sebe, může zapomínat na zrakový odpočinek. Oči jsou tímto přetěžovány a může z tohoto důvodu docházet k nežádoucím účinkům, vedoucím až k ireverzibilní progresi zrakové vady. Kapitola představuje historii rozšířené reality, jednotlivá zařízení a možnosti využití přístrojů pro rozšířenou realitu u cílové skupiny osob.

3.1 Historie

Historie virtuální reality nemá v současné literatuře jednoznačně rozlišitelný počátek. Virtual Reality Society (2017) například hovoří o tom, že za první pokusy o virtuální realitu lze považovat první panoramatické obrazy z 19. století, které zabíraly celé zorné pole pozorovatele. V návaznosti na to lze polemizovat, zdali i jeskynní malby pokrývající obrovskou plochu nejsou prvními pokusy o totéž. První trojdimenzionální obrázky si mohli lidé prohlédnout díky siru Charlesovi Wheatstonovi, který v roce 1838 představil první stereoskop. Ten umožňoval pohled každým okem na jinou fotografii a jejich spojením vznikala prostorový obraz (King's College London, 2016). V návaznosti na rozmach letectví v meziválečném období sestrojil Edward Link v roce 1929 první letecký simulátor, který byl využíván pro výcvik pilotů a dokázal simulovat realistickou odezvu jednotlivým mechanickým vstupům. V polovině 50. let minulého století přišel Morton Heilig se Sensoramou. Jednalo se o budku, ve které si bylo možné si přehrát 5 filmů, kde nejenže byl trojrozměrný obraz a zvuk, ale sedačka měla zabudované vibrace a větráček v budce na člověka pouštěl vůně související s filmem (Basso, 2017). První skutečný VR/AR headset byl Meč Damoklův z roku 1968, který sestrojil Ivan Sutherland a jeho student Bob Sproull. Headset byl zavěšen ze stropu, byl připojený k počítači a dovolovat uživateli prohlížet si naprogramované místnosti z pohledu uživatele (Van Krevelen 2007). V druhé polovině 20. století šel vývoj v této oblasti velmi rychle a vznikalo nepřeberné množství přístrojů. Za zmínku stojí například simulátor astronautů NASA jménem VIEW z roku 1985, který kromě zrakových a sluchových podnětů simulovalo i haptické podněty skrze rukavici (National Air and Space Museum). VR se na začátku 90. let začalo dostávat k široké

veřejnosti, nejdříve v podobě arkádových her a přístroj a postupně se rozšiřovaly i mezi nadšence do domácností v podobě například Nintendo Virtual Boy. Největšího rozmachu zažívá virtuální realita od druhého desetiletí tohoto tisíciletí. Průkopníkem komerčně dostupných VR headsetů pro běžné uživatele byl Oculus Rift (Virtual Reality Society, 2017). Jak je možné na řádcích výše vidět, definování milníku, který je možné určit za prvopočátek virtuální reality je náročné a v konečném výsledku vlastně, bezpředmětné. Historie nám ovšem ukazuje, že člověk byl od nepaměti fascinován zážitky, které v danou chvíli přímo člověk neprožíval. Virtuální realita v současné době zažívá obrovský rozmach a je stále více dostupná běžným uživatelům. I obyčejný mobilní telefon se dá proměnit za pár korun na zařízení, které umožňuje člověku vyzkoušet si virtuální realitu.¹⁹

3.2 Zařízení rozšířené reality využívající zrak

Převážná většina zařízení, která rozšiřují realitu, využívají pro přenos informací zrakovou cestu. Vzhledem k tomu, že je zrak koncentrován do poměrně malé oblasti lidského těla, a to do očí, jsou všechny tyto zařízení konstruovány tak, aby je uživatel nosil před nimi. Z tohoto důvodu, na rozdíl od zařízení hmatových, má většina těchto zařízení tvar brýlí, headsetů, nebo se jedná o malé přenosné obrazovky. Jak vyplývá z primární diagnózy, mohou takováto zařízení využívat pouze osoby, které mají zachovalé zrakové vnímání do potřebné míry. Brýle pro virtuální realitu jde využít s korekčními čočkami, tudíž lze tyto přístroje používat i s mnohými zrakovými vadami. Příklady těchto brýlí a headsetů jsou:

- **Meta Quest 3**, jedná se o nejnovější generaci headsetů pro rozšířenou realitu od společnosti Meta. Tento XR headset disponuje na každém oku displejem o rozlišení 2064x2208 pixelů s obnovovací frekvencí až 120 Hz a zorným polem 110° horizontálně a 96° vertikálně. Pro využití headsetu při rozšířené realitě je vybaven dvěma barevnými kamerami, které snímají prostor před uživatelem z jeho pohledu. Zároveň využívá čtyřech infračervených kamer ke snímání polohy rukou v prostoru, takže je možné ovládat některé funkce pomocí gest rukou. Headset je možné používat samostatně, nebo jej připojit k počítači a využít tak vyššího výkonu. Hmotnost tohoto zařízení je 515 gramů. V současné chvíli začíná cena tohoto zařízení na 500 USD (Meta, 2024a).
- **Apple Vision Pro** je první generací rozšířené reality od společnosti Apple. Disponuje 23 milióny pixelů s obnovovací frekvencí 100 Hz. Obraz z okolního světa přijímá

¹⁹ Jednou z nejlevnějších možností, jak je možné pořídit si virtuální realitu je například Google Cardboard, který, jak již název napovídá, je z velké části z lepenky. Tu uživatel poskládá do podoby brýlí, vloží čočky, které jsou součástí balení a vloží do nich mobil. Tímto způsobem vzniknou velice primitivní 3D brýle (Alphabet, 2021).

pomocí dvou hlavních kamer, šesti kamerami ke snímání polohy, čtyřmi kamerami sledujícími pohyby očí, kamerou rozlišující vzdálenost, LiDAREm a dalšími senzory. Jak můžeme vidět, Apple Vision pro má násobně více senzorů, což se projevuje i na jeho hmotnosti 600 až 650 g bez baterie, kterou má uživatel připojenou k zařízení kabelem a na ceně, která začíná na 3500 USD (Apple, 2024). Mark Zuckerberg (2024), zakladatel společnosti Meta, při svém porovnání těchto dvou produktů došel nejen k tomu, že Meta Quest 3 poskytuje víc s ohledem ke své ceně, ale že podle něj je i lepším produktem. Tento svůj závěr podložil tím, že MQ3 je pohodlnější na nošení, vzhledem ke své nižší váze a absenci kabelů. Na rozdíl od AVP, má větší zorné pole a větší jas displejů. AVP má sice lepší rozlišení, ale za cenu rozmazaného obrazu při pohybu. Velkou výhodou AVP je sledování očních pohybů, které MQ3 nemá. MQ3 je univerzálnější, má mnohem větší nabídku využitelnosti (hry, videa, produktivita, práce), podporuje využívání ovladačů, ne pouze pomocí gest. Je však důležité mít na paměti, že nemůže být při tomto zhodnocení nestranný, a tudíž je nutné brát jeho vyjádření také jako marketingový tah.

- Firma Adaptech, významný hráč na Českém trhu s technickými kompenzačními pomůckami pro osoby se zrakovým postižením, dodává ke svým digitálním lupám brýle pro rozšířenou realitu **Smart Glasses TLC Nextwearg**. Brýle je možné připojit k digitální lupě pomocí kabelu a následně je do nich přenášén obraz zachycovaný lupou. Zároveň se obrazovka brýlí nachází na horní polovině zorného pole, takže uživatel může jen drobným pohybem očí střídat pohled mezi displejem a prací v reálném světě. Brýle mají pouze 100 gramů, takže je jejich nošení pohodlné. Jsou využívány jako náhrada klasického displeje, který je oproti nim mnohem větší a hůře přenositelný. Zároveň brýle obsahují obroučky s korekčními čočkami, takže je možné korigovat některé ze zrakových vad (Adaptech, 2024; TLC, 2023). Virtuální brýle tak mohou představovat zajímavou kompenzační pomůcku, kterou mohou osoby s lehčí formou zrakového postižení využívat během práce, či edukace a neslouží pouze pro zábavu. Je však otázkou zdali, případně o kolik, jsou takovéto brýle lepší v běžném, dlouhodobém používání, než obyčejný displej za stejnou, ne-li nižší cenu.
- Dalším zařízením určeným přímo u cílové skupiny osob je **AceSight**. Jedná se o několik zařízení buď pro virtuální, nebo pro augmentovanou realitu, záleží na konkrétním typu. **AceSight** a **AceSightS** jsou brýle pro augmentovanou realitu. Jsou určeny pro osoby s vizem mezi 20/100 až 20/600, kteří mají zorné pole alespoň 10°. Tyto brýle dokáží zvýšit kontrast, zvýraznit okraje, až 15krát zvětšit obraz, oddálit obraz a tím zvýšit zorné

pole, vyfotit obraz a prohlédnout si jej z více úhlů, funkci vyhledávání. Brýle mají 45° zorné pole a obnovovací frekvenci displeje 60 Hz. AceSight S na rozdíl od AceSight nedisponuje funkcí vyhledávání a oddálení obrazu. AceSight má 10 kontrastních módů, AceSight S pouze 4. **AceSight VR** jsou brýle pro virtuální realitu o hmotnosti 460 g. Disponují displejem o rozlišení 2340 na 1080 pixelů, zorným polem 65°, 48 megapixelovou kamerou na snímání okolního světa, která dokáže přiblížit obraz až 16krát. Tyto brýle disponují stejnými funkcemi jako jejich AR varianty (Zoomax Technology co., 2024).

- **eSight 4** jsou VR brýle, které mají mezi displeji umístěnou kameru, která přenáší obraz před uživatelem do těchto displejů. Tyto OLED displeje mají rozlišení 1280 na 960 pixelů, se zorným polem 37,5°. Kamera, která na ně přenáší obraz má 18 megapixelů a je tudíž možné pomocí ní přiblížit obraz až 24krát. Pomocí těchto brýlí je možné převést obraz až do 6 barevných kombinací. Brýle mají 596 g a vydrží 3 h na jedno nabití. Je možné je používat i s předepsanými dioptrickými brýlemi. Podle výrobce jsou vhodné pro jedince se zrakovou ostrostí od 20/60 až 20/800 (ve výjimečných případech až 20/1400) (eSight, 2022).

Jednotlivá zařízení jsou marketingově prezentována na daných stránkách a propagačních materiálech výrobců. Dochází tudíž k tomu, že je zde vybrána jen část informací o daných zařízeních. Není tudíž možno pouze z těchto informací určit, které zařízení je lepší, než jiné. Zároveň cílová skupina této práce je tak různorodá, že ke každému jedinci je nutné přistupovat individuálně a volit zařízení podle jeho konkrétních potřeb. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby si uživatel nejdříve brýle vyzkoušel, nejlépe i při činnostech, ke kterým chce zařízení využívat. Pouze tehdy lze vybrat nejvhodnější zařízení pro daného uživatele.

S rozšířenou realitou se můžeme setkat i u přenosných zařízení, které obsahují kameru a displej, tedy u mobilních telefonů a tabletů. Pomocí nepřeborné škály softwarových aplikací pak jde obraz snímáný kamerou a přenášený na displej upravovat a doplňovat. Jedná se o běžné videochatovací platformy, které dokáží doplnit do obličeje uživatele virtuální prvky (Meta, 2021), ale i o komplexní programy pro vzdělávání, které například umožní člověku interaktivně prohlédnout si anatomii těla, nebo jednotlivé části motoru (Merge Labs inc., 2024).

3.3 Využití u cílové skupiny osob

Vzhledem k tomu, že většina osob se zrakovým postižením preferuje využívání zraku, nad ostatními kompenzačními smysly, mají zařízení, která využívají zrak k simulaci podnětů

obrovský význam. Existují tři hlavní cesty, jak implementovat XR u osob se zrakovým postižením. Buď na průhledný display přidáme virtuální podněty, nebo obraz z okolního světa zachycujeme kamerami a do jejich obrazu doplníme virtuální prvky a třetí možností je promítání čistě virtuálních podnětů na displeje. Tyto metody je možné využít například v rámci **prostorové orientace a samostatného pohybu**, kdy tyto zařízení dokáží například:

- **zjednodušit zrakem vnímané podněty**, zrakový vjem může být zbaven detailů, které nejsou pro jedince v danou chvíli potřebné, nebo mohou být jednotlivé druhy objektů barevně rozlišeny a tím jedinci usnadněno jejich rozpoznávání;
- **zmenšení obrazu**, které je využito u skupiny osob se zúženým zorným polem. Zmenšením obrazu může jedinec s tímto druhem zrakové vady vnímat celý prostor, jen z větší vzdálenosti, tudíž v horší ostrosti;
- **digitální zvětšení obrazu**, které naopak zvětší obraz, pro potřeby osob se zhoršenou zrakovou ostrostití;
- **zvýraznění rohů**, kdy jsou rohy vizuálně zvýrazněny tak, aby bylo jedinci usnadněno jejich rozpoznání;
- **doplnění virtuálními orientačními prvky**, ty mohou doplňovat informace o směru cesty nebo například upozorňovat na rizikové objekty.

Z výsledků studií, které se zabývali těmito metodami využití XR headsetů u cílové skupiny vyplynulo, že nelze prokazatelně říci, že zvyšují rychlost pohybu cílové skupiny. Nicméně vylepšení obrazu zlepšilo schopnost vyhýbat se překážkám, i když na úkor rychlosti pohybu (Htike, 2020). Znamená to tedy, že XR headsety mohou zvyšovat bezpečnost osob se zrakovým postižením, kteří mohou částečně využívat zrakových funkcí. Rychlost pohybu lze kompenzovat vymezením delšího času na činnost, zatímco bezpečnosti pohybu je náročnější dosáhnout. Je možné uvažovat nad tím, jestli má bezpečnost pohybu vyšší hodnotu než jeho rychlost.

Další možností využití XR u cílové skupiny je **trénink** činností ve virtuálním prostředí. Například Bowman a kol. (2017) zjistili, že trénink přecházení přes cestu ve virtuálním prostředí má podobně pozitivní vliv, jako trénink v reálném prostředí. Využití XR pro trénink může být tudíž zajímavou alternativou nebo doplňkem k tréninku ve skutečném světě. Zároveň se ve virtuálním prostředí nenachází mnoho obtížně předvídatelných situací, které mohou negativně ovlivnit proces tréninku, případně jej zcela zastavit. Kasowski a kol. (2023) hovoří o tom, že využití mají tyto technologie nejen v tréninku, ale i v **rehabilitaci** (například čtení u osob se získanými skotomy).

XR headsety nabízejí samozřejmě možnost využít podobných technologií, jako digitální lupy. Dokáží tak například zvětšovat text, měnit jeho kontrast, podkres, zvýraznění okrajů nebo vyjmutí textu. Můžeme je využívat v průběhu dne, v rámci výuky, nebo jakékoliv jiné činnosti, ve které má velký význam právě práce s textem. Uživatel přitom může využít jednu z možností úpravy textu, nebo je kombinovat podle své potřeby a podle aktuální práce s textem. Často však jsou tato zařízení konstruována pouze na práci s textem a jsou tak jen úzce uplatnitelné (Zhao a kol., 2015).

VR headsety lze také využít při simulaci prostetických zrakových implantátů. Je díky nim možné zjišťovat, jaké kompenzační mechanismy si osoby vyvinou. Současné prostetické implantáty dokáží přenášet obraz o několika desítkách pixelech a rozpoznávání objektů, pomocí tohoto zařízení, je velice náročné. Tyto simulace mohou poskytnout informace o tom, jak nejlépe obraz upravit, aby byl pro člověka s implantátem co nejužitečnější. Samotný zrakový implantát je teoreticky také možné zařadit do kategorie XR zařízení. Ovšem tyto zařízení jsou pořád ještě v rané fázi vývoje a jejich masové rozšíření, jako je tomu například u kochleárních implantátů, je zatím poměrně daleko (Kasowski a kol., 2023).

Virtuální realita nachází své uplatnění i u osob s poruchami binokulárního vidění v rámci ortopticko-pleoptické léčby. Pro tuto léčbu je zcela zásadní, aby daný pacient dodržoval délku okluze a dny, ve kterých ji má dodržovat.²⁰ Virtuální realita tak může sloužit jako doplněk k ortopticko-pleoptickým cvičením a více motivovat jedince k dodržování léčby zábavnou formou, a tím přispívat k účinnosti léčby. Aplikací virtuální reality je možné dosáhnout zlepšení u osob s amblyopií a strabismem v oblastech zrakové ostrosti, zlepšení citlivosti na jas, kontrastní citlivosti, snížení suprese horšího oka, zvýšení pozornosti, posílení binokulárních funkcí a stereopse. Pleopticko-ortoptická cvičení mají největší účinnost do 7 let, ovšem pozitivní účinky těchto cvičení a zapojení virtuální reality můžeme pozorovat i v dospělosti (Košnářová, 2020). Z toho vyplývá, že virtuální realita může mít významný pozitivní vliv při léčbě amblyopie a strabismu jak u dětí, tak dospělých. Nabízí řešení jednoho z významných problémů této léčby, a to je motivace daného jedince.

Kromě samotných zařízení určených přímo pro potřeby cílové skupiny je možné využít specializovaných softwarových úprav, které doplní rozhraní běžně dostupných zařízení o prvky, jež usnadňují cílové skupině osob práci s takovýmto zařízením. Jedním z takových softwarových řešení je například SeeingVR, které obsahuje 14 nástrojů, jež slouží

²⁰ Wallace a kol. (2013) uvádějí, že dle jejich zjištění nastavenou léčbu dodržuje méně než polovina pacientů.

k zpřístupnění virtuálního prostředí cílové skupině. Z těch si uživatel vybírá, může je kombinovat a upravovat jejich intenzitu. Jedná se o digitální zvětšení obrazu (celku, ale i části), úpravu kontrastu a jasů, zvýraznění okrajů, přenesení obrazu z periferií do centra, měření vzdálenosti od objektu, úpravu textu tak, aby byl dobře čitelný proti pozadí, na kterém se nachází. Zároveň uživatelé, kteří mají zrakovou vadu takovou, že jim nepomůžou úpravy textu, mohou využít zvukové augmentace, která jim text přečte. Tyto nástroje lze aplikovat na aplikace, které jsou už hotové a není je potřeba upravit. Zároveň mohou vývojáři do svých aplikací pomocí tohoto programu přidat popisky objektů, zvýraznění pro uživatele významných objektů, změnit barvu objektů a propojení s programy na rozpoznávání objektů (Zhao a kol., 2019). Toto softwarové úpravy tak dovolují cílové skupině uživatelů využívat i běžně dostupných headsetů, které by jinak nebylo dobře přístupné.

Důležité je také zmínit, že většina studií, které se zabývají využitím XR u cílové skupiny, při testování implementace využívala simulace jednotlivých zrakových vad na intaktních jedincích. Výhodou této metody je možnost rychlé implementace různých zrakových vad a jejich kombinace. Nevýhodou je, že může dojít k nedokonalé interpretaci zrakové vady výzkumníky. K jejímu přílišnému zjednodušení nebo pozměnění. Testování s takto simulovanou vadou může být v mnohých ohledech nepřesné a pozměněné. Další nevýhodou tohoto přístupu by mohlo být to, že intaktní jedinci neměli tolik času na plnohodnotné vyvinutí kompenzačních mechanismů, jako tomu bylo u osob, které mají zrakové postižení dlouhou dobu a postupně našli cestu, která jim nejvíce vyhovuje při kompenzaci jejich zrakové vady (Kasowski a kol., 2023).

Je vhodné volit takové zařízení, které nejlépe odpovídá potřebám dané situace. Každé zařízení se hodí na trochu odlišnou věc, má své specifické výhody a nevýhody. Obecně lze říci, že VR zařízení se hodí více k tréninku a rehabilitaci, zatímco AR zařízení se více hodí k využití v běžných aktivitách. Pro vědce jsou nejvhodnější VR brýle, jelikož jim dovolují plně kontrolovat, co se probandovi objevuje před očima. Tudíž dokáží simulovat různé zrakové vady a jejich kombinace. Zároveň dokáží sledovat probandovy oční pohyby a tím i kompenzační strategie jednotlivých zrakových vad. Kromě toho představují bezpečné prostředí, kde je možné simulovat situace, které by jinak byly příliš nebezpečné. Největší překážkou implementace těchto zařízení do běžného života osob se zrakovým postižením je jejich cena a to i v rozvinutých krajinách. (Kasowski a kol., 2023).

Kapitola čtenáři představila historii XR zařízení využívajících zrakové podněty od jejich počátků, až po současnost. Druhá podkapitola se věnovala konkrétním zařízením pro intaktní

i pro cílovou skupinu uživatelů. Zmínila základní vlastnosti jednotlivých brýlí a headsetů a v případě, že bylo zařízení zkonstruováno přímo pro potřeby cílové skupiny i zrakovou ostrost, na kterou jsou zařízení konstruovány. Třetí podkapitola představila možnosti využití u cílové skupiny.

4 DISKUSE, DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝZKUM A LIMITY STUDIE

Osoby se zrakovým postižením preferují využívat zachovalé zrakové funkce v co největší míře před ostatními kompenzačními smysly (Kasowski a kol., 2023). Pokud je zraková vada takového rozsahu, že jim nedovoluje používat zrak, jako hlavní informační kanál, volí, ze zkušenosti autora, získávání informací sluchovou cestou raději než využitím hmatu. Informace tak mohou získávat pomocí odčítačů, předčítačů, naváděcích majáčků, ozvučení běžných pomůcek a mnoha dalších. Tyto pomůcky vyžadují méně času na plnohodnotné zvládnutí ovládnutí daného programu nebo zařízení, než je tomu u pomůcek využívajících hmat. K využití haptických pomůcek je totiž často potřeba ovládat Braillovo bodové písmo, nebo aktivně rozvíjet hmat. To představuje problém hlavně pro osoby, které o zrak přišly v dospělosti, nebo ve stáří a nejsou natolik motivováni k rozvoji hmatu a výuce Braillova bodového písma. Pomůcky využívající primárně hmat tak mohou mít velmi úzkou cílovou skupinu osob. Tito jedinci si často nemohou dovolit pořízení pomůcky, která stojí desítky tisíc a musí využít finanční podpory státu, nadací, či sbírek. Vzhledem k tomu, že je tato skupina malá a často potřebuje k pořízení finanční podporu, je problematické vstoupit na trh s takto drahými kompenzačními pomůckami a zůstat na něm relevantní.

O tom vypovídá příklad společnosti NeuroDigital Technologies, která se podílela například na haptické výstavě pro osoby se zrakovým postižením. Na ní si mohli účastníci, pomocí haptických rukavic této společnosti, osahat umělecká díla světového významu (Geometry Prague, 2018). Ovšem stránky této společnosti jsou nyní nedostupné a poslední příspěvek na jejich sociálních sítích je z roku 2019 (NeuroDigital Technologies, 2019). Je tak možné vidět, že se jedná o poměrně složitý trh, na kterém je náročné se udržet. Nové zařízení přichází poměrně rychle a stejně rychle také mizí. Mnohé zařízení, které autor popisuje v předešlé práci a vypadaly poměrně nadějně (Coufal, 2022), nelze nyní dohledat, nebo o nich nejsou nové informace.

Současné technologie nejsou na takové úrovni, aby dokázaly simulovat realistické haptické podněty samy o sobě. V současné době neexistuje žádné zařízení, které by takovouto technologií disponovalo. Ovšem i současná zařízení mají obrovský potenciál zlepšení kvality života osob. Mohou jim napomáhat při prostorové orientaci a samostatném pohybu, kdy různými senzory dokáží pomoci s odhalováním překážek, měřením vzdáleností, navigováním.

Dále pak při tréninku nesčetného množství činností, rehabilitaci, edukaci a poznávání světa obecně.

Při jejich využívání je ovšem potřeba pamatovat na rizika, která jsou s nimi spojená. Jedná se o zranění, která vznikají dlouhodobou opakující se námahou, tudíž hrozí zejména při dlouhodobém používání haptických rukavic, které disponují kinestetickou zpětnou vazbou. Opakujícím se namáháním kloubů, svalů a šlach prstů může dojít k jejich poškození. Potencionální nebezpečí představuje také aktivní kinestetika, která je teoreticky schopná pohnout kloubem za hranici jeho běžného pohybu a způsobit tak závažné poškození tkáně. Je také třeba dbát opatrnosti ohledně využívání uživatelských dat, která zařízení mohou shromažďovat a na obsah, který uživatel konzumuje. Část tohoto obsahu totiž může uživatele ovlivňovat, motivovat jej k nákupu, lehce měnit politické preference, manipulovat s ním. Hmat je totiž smyslem, který je silně provázán s emocemi, je jejich neodmyslitelnou součástí.

Zařízení simulující zrakové podněty jsou v současné chvíli zralejší technologií, než zařízení, která simulují hmatové podněty. XR headsety a brýle dosahují dostatečných rozlišení, aby jedinec nebyl schopen rozlišit jednotlivé pixely. Zároveň jsou vybavovány stále lepším hardwarem snímajícím a zpracovávajícím podněty z okolí a z virtuálního světa. Na trhu je v dnešní době dostatečně pestrá nabídka zařízení, takže je možné zvolit si takové zařízení, které vyhovuje konkrétnímu jedinci s konkrétní zrakovou vadou. Překážkou ve využití těchto technologií je zraková vada, kdy samozřejmě není možné využít takovéto zařízení u osob s určitou mírou zrakové vady. Dále pak cena, která u specializovaných zařízení dosahuje vyšších desítek až nižších stovek tisíc korun. K těmto zařízením je možné zařadit i zrakové implantáty, které v současné době poskytují rozlišení několika desítek pixelů. Neposkytují ani zdaleka dostatečné rozlišení k plnohodnotné náhradě očí. XR zařízení simulující zrakové podněty mají nepřeberné množství využití v běžném životě, ať už v edukaci, tréninku, rehabilitaci, prostorové orientaci a samostatném pohybu, či v každodenních činnostech. Představují tak zařízení s nesmírným potenciálem, který není v současné době plně využíván.

V kontextu práce autor dále doporučuje:

- Experimentálně zjistit, na jakou vzdálenost nejsou schopny osoby s aktivně rozvinutým hmatem rozlišit od sebe dva body. Přičemž tato vzdálenost se pohybuje pod vzdáleností 0,5 mm. Vhodné je tedy volit vzdálenosti mezi dvěma body v řádu desetin milimetru. Zároveň při výrobě sady pro experimentální

zjištění je potřeba zvolit strojovou metodu rozložení bodů, aby bylo dosaženo dostatečné přesnosti rozmístění.

- Experimentálně ověřit využitelnost haptických rukavic s vysokou mírou přesnosti u cílové skupiny osob. Jmenovitě haptické rukavice společnosti Fluid reality a HaptX gloves G1.
- Další rozvoj těchto zařízení, a to jak na profesionální úrovni, tak na úrovni laiků, kteří jsou schopni vyrobit jednoduché zařízení i v domácích podmínkách.
- Nadále zmenšovat jednotlivé taktory a vzdálenost mezi nimi.
- Využít i dalších hmatem postřehnutelných podnětů, jako je teplota, či bolest a dále s nimi pracovat.
- Legislativně ošetřit využívání dat uživatelů, které mohou být zaznamenávány XR zařízeními.²¹

4.1 Limity studie

Limitem studie je snaha autora postřehnout v práci co možná nejaktuálnější zmapování současných XR zařízení, to má ovšem za následek, že jsou v práci uváděny zařízení, která jsou i v poměrně raných stádiích vývoje. Je tudíž vysoce pravděpodobné, že se část z těchto zařízení nedostane k cílové skupině a nebude tak využit jejich potenciál. Avšak i na neúspěšných zařízeních lze pozorovat směřování vývoje v této oblasti.

Dalším limitem je absence výzkumu u osob s aktivně rozvinutým hmatem, kdy nejsou schopni v žádném případě od sebe rozeznat dva body. Existují studie, které se zabývají zjišťováním vzdálenosti, na kterou jsou jedinci schopni vždy rozeznat dva body a z toho odvozené standarty pro tvorbu tyflografiky. Jedná se o tak malou a různorodou skupinu, v níž nelze dosáhnout adekvátních výsledků, jako u reprezentativního vzorku.

Limitem je rovněž jazyk většiny zdrojů, ze kterých vychází kapitolo dva a tři, který není mateřským jazykem autora, a mohlo tak dojít k nepřesnostem při překladu. Zároveň se v daných zdrojích vyskytují termíny, které nemají adekvátní předklad v českém jazyce a byly buď doslovně přeloženy, nebo pouze počeštěny, tudíž mohlo dojít k dalšímu zkreslení jejich významu.

²¹ V současné době je nutné stanovit legislativní rámec na úrovni Evropské unie, který bude upravovat nakládání s osobními údaji, které zařízení dokáží zaznamenávat. Jedná se o zaznamenávání pohybů očí, rukou, čas strávený pohledem na jedno místo a tak dále.

Také komplexnost tématu je limitem této práce, kdy do XR zařízení je možné zařadit celou škálu zařízení a objektů, už pouhý obraz je možné brát za objekt, který rozlišuje realitu. Zároveň nebylo v práci přímo pracováno se žádným z těchto zařízení a výsledky práce jsou pouze teoretické. Navíc data samotná často vychází z propagačních materiálů výrobců, které zdůrazňují pouze některé aspekty zařízení a některé naopak vůbec neuvádějí. V návaznosti na tuto práci se proto jeví, jako vhodné experimentálně ověřit využitelnost některých zařízení primárně sloužícím osobám intaktním u osob se zrakovým postižením.

Zároveň je potřeba znovu zmínit limity výzkumu, které byly již uvedeny výše. Tedy že v rámci testování nebyl měřen čas, který potřeboval proband k zhodnocení, zdali se jedná o jeden či dva body. Zároveň je limitující ruční výroba testovací baterie, která způsobila nepřesnosti ve vzdálenostech mezi body. Dále pak možné zkreslení výsledků mikropohyby probandů a nekonzistentnost přítlaku bříšek prstů napříč jednotlivými probandy. V neposlední řadě i denní doba, ve které se probandi účastnily výzkumu. Tedy odpolední hodiny, ve kterých už probandi nemuseli podávat optimální výkon.

ZÁVĚR

Zařízení pro rozšířenou realitu se v posledních letech stávají součástí životů mnoha z nás. Umožňují nám poznávat nové světy, představují nové odvětví zábavního průmyslu, mohou být implementovány v našich pracovních životech. Diplomová práce se zabývala možnostmi jejich využití a implementací u osob se zrakovým postižením. Věnovala se jak XR zařízením primárně určeným pro intaktní, tak zařízením přímo sestrojeným pro účely osob se zrakovým postižením.

Z výsledků práce vyplývá, že současná XR zařízení simulující zrakové podněty jsou schopna dosáhnout dostatečné úrovně realističnosti a odpovídají potřebám cílové skupiny. Současně je nutné zdůraznit, že cílová skupina osob je natolik různorodá, že nelze určit jedno zařízení, které by splňovalo potřeby všech osob se zrakovým postižením. Pokud by měl některý z členů této skupiny zájem o pořízení daného zařízení, je nezbytné nejdříve jich vícero vyzkoušet a následně pak zvolit to nejvhodnější pro něj.

XR zařízení simulující hmatové podněty v současné době nejsou takto technologicky pokročilé. Z experimentální části práce vyplynulo, že pro realistickou simulaci hmatových podnětů by bylo potřeba, aby jednotlivé vrcholy taktorů haptických zařízení byly od sebe vzdáleny méně než jeden milimetr. Tuto podmínku nesplňuje žádné současné zařízení. Znamená to tedy, že není možné pomocí těchto zařízení simulovat realistické objekty. Nicméně i přes tuto skutečnost mají tyto XR zařízení poměrně široké uplatnění u cílové skupiny.

XR zařízení skýtají nesmírný potenciál využitelnosti u osob se zrakovým postižením. Mohou být využity pro trénink, rehabilitaci, edukaci, běžné každodenní činnosti, ale i pro práci. Uplatnění takovýchto zařízení v běžném životě osob se zrakovým vnímáním, ale i nás všech, je tak spíše otázkou času než polemikou, zdali vůbec. Již nyní jsou velmi oblíbené nejen u mladých, ale například i osob seniorského věku v pobytových zařízeních. Nesmíme však zapomínat na rizika, která nám tyto technologie přináší a snažit se jim vyvarovat. Stejně jako každá jiná technologie jsou XR zařízení dobrým sluhou, ale špatným pánem.

Další výzkumy by se dle autora měly věnovat stanovení prostorového prahu citlivosti na bříšcích ukazováků horních končetin u osob s aktivně rozvinutým hmatovým vnímáním s přesností na desetiny milimetru. Z těchto hodnot by měl vycházet standard pro rozložení taktorů v haptických zařízeních, která si kladou za cíl realistickou simulaci objektů. Zároveň je třeba apelovat na stanovení jasných pravidel pro nakládání s údaji, které tato zařízení zaznamenávají a zabránit jejich zneužití.

„Nejlepším displejem by samozřejmě byla místnost, v níž by počítač mohl kontrolovat existenci hmoty. Židle zobrazená v takové místnosti by byla dost dobrá na to, aby se na ní dalo sedět. Pouta zobrazená v takové místnosti by byla svazující a kulka zobrazená v takové místnosti by byla osudná. Při vhodném naprogramování by takový displej mohl být doslova říší divů, do které vstoupila Alenka.“ (Sutherland, 1965)²²

Úvaha o nejlepším displeji Sutherlanda (tamtéž), který můžeme z našeho pohledu pokládat za VR zařízení, je i v dnešní době stále aktuální. Představa zařízení, které by bylo schopné takovéto úrovně simulace je zároveň nesmírně fascinující a ve stejnou chvíli naprosto hrůzostrašná. Člověk by byl schopen simulovat cokoliiv nehledě na fyzikální zákony, mohl by žít ve stavu nekonečného blaha, bez jakýchkoliv starostí, bez potřeby kontaktu s kýmkoliv, či čímkoliv reálným. Jediným omezením takové simulace by byla lidská mysl a její schránka v podobě těla. *Homo homini deus est*. Čtenáři již přenechám zhodnocení, zdali by takovéto zařízení bylo něčím utopickým, co by povzneslo lidstvo, nebo něčím distopickým, co by jej zahubilo.

²² Jedná se o přímý překlad originálního díla autorem práce.

SEZNAM LITERATURY

ADAPTECH, 2024. Adaptech s.r.o. *Adaptech textReado PivotDesk EyeCAM* [online] [Zobrazeno: 2024-03-31]. Dostupné: <https://www.adaptech.cz/produkt/textreado-pivotdesk-eyecam#>

ALPHABET INC., 2021. Google Cardboard – Google VR. *Cardboard* [online] [Zobrazeno: 2024-03-14]. Dostupné: <https://arvr.google.com/cardboard/>

APPLE, 2024. Apple Vision Pro. *Apple* [online] [Zobrazeno: 2024-03-31]. Dostupné: <https://www.apple.com/shop/buy-vision/apple-vision-pro>

BANOVIC, Rebecca, 2019. Anora: The Smart Glove Helping The Blind. *Forbes* [online]. [Zobrazeno: 2024-03-26].

Dostupné: <https://www.forbes.com/sites/rebeccabanovic/2019/04/20/anora-the-smart-glove-helping-the-blind/?sh=5fa8d2d4173e>

BASSO, Alessandro, 2017. Advantages, Critics and Paradoxes of Virtual Reality Applied to Digital Systems of Architectural Prefiguration, the Phenomenon of Virtual Migration. *V: Proceedings of the International and Interdisciplinary Conference IMMAGINI? Brixen, Italy, 27–28 November 2017*. [online]. Basel Switzerland: MDPI [Zobrazeno: 2024-02-29]. Dostupné: <http://dx.doi.org/10.3390/proceedings1090915>

BHAPTICS, 2024. Next generation full body haptic suit - bHaptics TactSuit. *bHaptics Tactsuit* [online] [Zobrazeno: 2024-03-29]. Dostupné: <https://www.bhaptics.com/shop/tactsuit-x40>

BOGDASHINA, Ol'ga, 2017. *Specifika smyslového vnímání u autismu a Aspergerova syndromu*. Praha : Pasparta Publishing s.r.o. ISBN 978-80-88163-06-0.

BORODIN, Anatolij, Yevgen BORODIN, Andrii SOVIK, Vikas ASHOK, Shirin DISFANI and I. V. RAMAKRISHNAN, 2019. Feel-It. *V: Proceedings of the 16th International Web for All Conference* [online]. New York, NY, USA: ACM [Zobrazeno: 2024-03-26]. Dostupné: <http://dx.doi.org/10.1145/3315002.3332441>

BOWMAN, Ellen Lambert and Lei LIU, 2017. Individuals with severely impaired vision can learn useful orientation and mobility skills in virtual streets and can use them to improve real street safety. *PLOS ONE* [online]. **12**(4), e0176534 [Zobrazeno: 2024-04-07].

Dostupné: doi:10.1371/journal.pone.0176534

BOYD, Kierstan, 2023. Computers, Digital Devices and Eye Strain. *American Academy of Ophthalmology* [online] [Zobrazeno: 2024-02-22]. Dostupné: <https://www.aaopt.org/eye-health/tips-prevention/computer-usage>

CAMBER, Rebecca, 2024. British police probe VIRTUAL rape in metaverse: Young girl's digital persona 'is sexually attacked... *Daily Mail* [online]. [Zobrazeno: 2024-03-14]. Dostupné: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-12917329/Police-launch-investigation-kind-virtual-rape-metaverse.html>

CIBULOVÁ VOKATÁ, Jitka, 2023. Nevidomým lidem v Česku pomáhá asi 500 vodících psů. Výcvik jednoho zvířete stojí přes 300 tisíc. *iROZHLAS.cz* [online]. [Zobrazeno: 2024-03-30]. Dostupné: https://www.irozhlas.cz/zivotni-styl/spolecnost/vodici-pes-nevidomi-cesko-vycvik_2305010853_elev

CLEVELAND CLINIC , 2023. Synesthesia. *Cleveland Clinic* [online]. [Zobrazeno: 2023-12-12]. Dostupné: <https://my.clevelandclinic.org/health/symptoms/24995-synesthesia>

COUFAL, Kryštof , 2022. *Možnosti využití haptických rukavic u osob se zrakovým postižením*. B.m. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci Vedoucí práce Jaromír Maštalíř.

DE BONET, Lucas, 2022. LucidGloves: VR Haptic Gloves on a budget. *Hackaday.io* [online] [Zobrazeno: 2024-04-10]. Dostupné: [at: https://hackaday.io/project/178243-lucidgloves-vr-haptic-gloves-on-a-budget](https://hackaday.io/project/178243-lucidgloves-vr-haptic-gloves-on-a-budget)

DOTLUMEN, 2024. *.lumen. .lumen* [online] [Zobrazeno: 2024-03-30]. Dostupné: <https://www.dotlumen.com>

ESIGHT, 2022. eSight - Electronic eyewear for the visually impaired. *eSight Eyewear* [online] [Zobrazeno: 2024-04-11]. Dostupné: <https://www.esighteyewear.com>

FINKOVÁ, Dita, 2011. *Rozvoj hapticko-taktilního vnímání u osob se zrakovým postižením*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-2742-3.

FINKOVÁ, Dita , Libuše LUDÍKOVÁ and Veronika RŮŽIČKOVÁ, 2007. *Speciální pedagogika osob se zrakovým postižením*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-1857-5.

FLUID REALITY, 2023. Fluid Reality. *Fluid Reality* [online] [Zobrazeno: 2024-03-21].
Dostupné: <https://www.fluidreality.com>

FOX, Alex, 2020. How Rain Evolved Its Distinct Scent—and Why Animals and Humans Love It. *Smithsonian Magazine* [online]. [Zobrazeno: 2023-12-12].
Dostupné: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/smell-rain-explained-180974692/>

GEOMETRY PRAGUE, 2018. Touching Masterpieces. *WPPedCream 2018* [online] [Zobrazeno: 2024-04-13].
Dostupné: <https://sites.wpp.com/wppedcream/2018/healthcare/consumer-digital/touching-masterpieces?c=97e85696-95fd-4235-a521-45dad1b69a46>

GRAFTON OPTICAL, [b.r.]. Cardiff Acuity Test. *Grafton Optical* [online] [Zobrazeno: 2024-02-27].
Dostupné: https://www.graftonoptical.com/product-page/cardiff-acuity-test?gad_source=1&gclid=CjwKCAiArfauBhApEiwAeoB7qMt8Y7p1bWYOpsnQdhpvhGTZSbLTSbp1Jmlzw88LztIzRdIX1Z4oUBoCMkEQAvD_BwE

HAPTX, 2024. Haptic gloves for virtual reality and robotics. *HaptX* [online] [Zobrazeno: 2024-03-21]. Dostupné: <https://haptx.com>

HTIKE, Hein Min, Tom H. MARGRAIN, Yu-Kun LAI and Parisa ESLAMBOLCHILAR, 2020. Ability of Head-Mounted Display Technology to Improve Mobility in People With Low Vision: A Systematic Review. *Translational Vision Science & Technology* [online]. **9**(10), 26 [Zobrazeno: 2024-04-06]. Dostupné: doi:10.1167/tvst.9.10.26

INTERNATIONAL MONETARY FUND, 2023. Kosovo. *International Monetary Fund* [online][Zobrazeno: 2023-10-25].
Dostupné: <https://www.imf.org/external/datamapper/profile/UVK>

JESENSKÝ, Ján , 1988. *Hmatové vnímání informací s pomocí tyflografiky* [online]. Praha: SPN. Dostupné: <https://ndk.cz/uuid/uuid:a6e533c0-3e42-11e4-bdb5-005056825209>

KASOWSKI, Justin, Byron A. JOHNSON, Ryan NEYDAVOOD, Anvitha AKKARAJU and Michael BEYELER, 2023. A systematic review of extended reality (XR) for understanding and augmenting vision loss. *Journal of Vision* [online]. **23**(5), 5 [Zobrazeno: 2024-04-07].
Dostupné: doi:10.1167/jov.23.5.5

KING'S COLLEGE LONDON, 2016. Charles Wheatstone: the father of 3D and virtual reality technology. *King's College London* [online] [Zobrazeno: 2024-02-29]. Dostupné: <https://www.kcl.ac.uk/charles-wheatstone-the-father-of-3d-and-virtual-reality-technology-2>

KOŠŇAROVÁ, Tereza, 2020. *Virtuální Realita v Udržovací (domácí) Ortopticko – Pleoptické Léčbě* [online]. B.m. [Zobrazeno: 2024-03-31]. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita v Brně Lékařská fakulta. Vedoucí práce MUDr. Miroslav Dostálek, Ph.D., MSc. Dostupné: https://is.muni.cz/th/m5oa2/Virtualni_realita_v_udrzovaci__domaci__ortopticko-_pleopticke_lecbe.pdf

KOVAL, Vojtěch, 2018. Díky hmatovým rukavicím si mohou nevidomí slavná umělecká díla doslova osahat. *Radiožurnál* [online] [Zobrazeno: 2024-03-26]. Dostupné: <https://radiozurnal.rozhlas.cz/diky-hmatovym-rukavicim-si-mohou-nevidomi-slavna-umelecka-dila-doslova-osahat-7203860>

KRSTIC, Nikola, 2022. Anora glove. *Anora* [online] [Zobrazeno: 2024-03-26]. Dostupné: <https://anora.rs/anora-glove/anora-glove-about/>

LANG-STEREOTEST, 2024. Fields of application. *lang-stereotest.com* [online] [Zobrazeno: 2024-02-27]. Dostupné: <https://www.lang-stereotest.com/EN/>

LEA-TEST LTD., 2019. Lea-Test . *LEA-test* [online] [Zobrazeno: 2023-12-18]. Dostupné: <http://www.lea-test.fi>

LOCKE, John , 2012. *Esej o lidském chápání*. Tran. Miloš DOKULIL. Praha: Oikoymenh. ISBN 978-80-7298-304-9.

LOMVARDas, Stravos, Donald HOFFMAN, Christine CONSTANTINOPLE, Anil SETH and Beau LOTTO, 2019. The Reality of Reality: A Tale of Five Senses [online]. Interview by Elizabeth VARGAS.

LUDÍKOVÁ, Barbora, 2012. *Somatologie a somatopatologie pro speciální pedagogy*. Olomouc: Univerzita Palackého . ISBN 978-80-244-3060-7.

MACHULIS, Kyle, 2022. *Haptics Club #25 Adult Haptics Ecosystem Kyle Machulis from nonPolynomial* [online]. Video. 13. June 2022. [Zobrazeno: 2024-03-29].

Dostupné: <https://www.youtube.com/watch?v=Y2moCyiUonk>

MANUS, 2023. Prime 3 Haptic XR. *Manus-Meta* [online] [Zobrazeno: 2024-03-26].

Dostupné: <https://www.manus-meta.com/products/prime-3-haptic-xr>

MARR, Bernard, 2021. *Extended Reality in Practice: 100+ Amazing Ways Virtual, Augmented and Mixed Reality Are Changing Business and Society*. B.m.: John Wiley & Sons. ISBN 978-1119695172.

MERGE LABS INC. , 2024. Learn Science, Master STEM, Be Future Ready. *Merge Edu* [online] [Zobrazeno: 2024-04-11]. Dostupné: <https://mergeedu.com>

MERKUNOVÁ, Alena and Miroslav OREL, 2008. *Anatomie a fyziologie člověka: Pro humanitní obory*. B.m.: Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-247-1521-6.

META, 2021. Introducing AR Experiences for Video Calls on Messenger. *Meta* [online] [Zobrazeno: 2024-04-11]. Dostupné: <https://about.fb.com/news/2021/10/introducing-ar-experiences-for-video-calls-on-messenger/>

META, 2024a. Meta quest 3. *Meta Quest* [online]. Dostupné: <https://www.meta.com/quest/quest-3/>

META, 2024b. Quest touch plus controller. *Meta Quest* [online]. Dostupné: <https://www.meta.com/quest/accessories/quest-touch-plus-controller/>

MUKAMAL, Reena, 2017. How Humans See In Color. *American Academy of Ophthalmology* [online] [Zobrazeno: 2024-02-13]. Dostupné: <https://www.aao.org/eye-health/tips-prevention/how-humans-see-in-color>

MUKAMAL, Reena, 2021. Do Colorblindness Glasses Really Work? *American Academy of Ophthalmology* [online] [Zobrazeno: 2024-02-13]. Dostupné: <https://www.aao.org/eye-health/tips-prevention/do-color-blindness-correcting-glasses-work>

NATIONAL AIR AND SPACE MUSEUM, [b.r.]. Headset, Virtual Reality, Prototype. *National Air and Space Museum* [online] [Zobrazeno: 2024-02-29]. Dostupné: https://airandspace.si.edu/collection-objects/headset-virtual-reality-prototype/nasm_A19970613000

NEURODIGITAL TECHNOLOGIES, 2019. Instagram. *NeuroDigital Technologies* [online] [Zobrazeno: 2024-04-13]. Dostupné: https://www.instagram.com/neuro_digital/

OPPENHEIM, Maya, 2022. Woman reveals ‘nightmare’ of being ‘gang raped’ in virtual reality. *The Independent* [online]. [Zobrazeno: 2024-03-14]. Dostupné: <https://www.independent.co.uk/news/uk/home-news/metaverse-gang-rape-virtual-world-b2005959.html>

OREL, Miroslav, Věra FACOVÁ and a kol., 2010. *Člověk, jeho smysly a svět*. B.m.: Grada Publishing a.s. ISBN 9788024729466.

PETR, Jaroslav, 2020. *Desatero smyslů*. Praha : Dokořán. ISBN 978-80-7363-879-5.

PLAYSTATION, 2021. DualSense Wireless Controller. *PlayStation* [online] [Zobrazeno: 2024-03-29]. Dostupné: <https://www.playstation.com/en-us/accessories/dualsense-wireless-controller/>

PLAYSTATION, 2024. DUALSHOCK 4 wireless PS4 controller. *PlayStation* [online] [Zobrazeno: 2024-03-29]. Dostupné: <https://www.playstation.com/en-us/accessories/dualshock-4-wireless-controller/>

PLHÁKOVÁ, Alena , 2023. *Učebnice obecné psychologie. 2.*, doplněné vydání. Praha: Academia. ISBN 978-80-200-3347-5.

POINTIOT, 2020. naviBelt - the belt that changed lives. *Point.IoT* [online] [Zobrazeno: 2024-03-30]. Dostupné: <https://point-iot.eu/success-story/navibelt/>

POLÁKOVÁ, Petra, 2019. *Jak rozvíjet pohyb, emoce a smysly: Pozorné a spokojené dítě*. Praha: Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-271-0760-5.

PRITHUL, Aniruddha, Isayas Berhe ADHANOM and Eelke FOLMER, 2021. Teleportation in Virtual Reality; A Mini-Review. *Frontiers in Virtual Reality* [online]. 2 [Zobrazeno: 2024-02-22]. Dostupné: doi:10.3389/frvir.2021.730792

RACAT, Margot and Daria PLOTKINA, 2023. Sensory-enabling Technology in M-commerce: The Effect of Haptic Stimulation on Consumer Purchasing Behavior. *International Journal of Electronic Commerce* [online]. 27(3), 354–384 [Zobrazeno: 2024-03-14]. Dostupné: doi:10.1080/10864415.2023.2226900

ROBSON, David, 2014. The women with superhuman vision. *BBC* [online]. [Zobrazeno: 2024-02-13]. Dostupné: <https://www.bbc.com/future/article/20140905-the-women-with-super-human-vision>

ROKYTA, Richard and kolektiv, 2015. *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Praha: Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-247-4867-2.

ROZSÍVAL, Pavel and kolektiv, 2017. *Oční lékařství*. 2nd ed. B.m.: Galén. ISBN 978-80-7492-316-6.

RUBIN, Jacob A. , Robert S. CROCKETT, Marc Y. GOUPIL, Jeffrey D. D'AMELIO, Bodin L. ROJANACHAICHANIN, Kurt C. SJOBERG, Paul PILLER and Nicholas J. BONAFEDE, 2017. Haptic feedback glove [online]. 2017. Dostupné: <https://patents.google.com/patent/US20180335841A1/en?inventor=Robert+S.+Crockett&assignee=Haptx%2c+Inc.&scholar>

RUS, Daniela, 2018. Wearable Blind Navigation. *MIT CSAIL* [online] [Zobrazeno: 2024-03-30]. Dostupné: <https://www.csail.mit.edu/research/wearable-blind-navigation>

SALES, Nancy Jo, 2024. A girl was allegedly raped in the metaverse. Is this the beginning of a dark new future? *The Guardian* [online]. [Zobrazeno: 2024-03-14]. Dostupné: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2024/jan/05/metaverse-sexual-assault-vr-game-online-safety-meta>

SENSEGLOVE, 2022. Haptic Solutions For Training & Marketing. *SenseGlove* [online] [Zobrazeno: 2024-03-28]. Dostupné: <https://www.senseglove.com/solutions/>

SENSEGLOVE, 2023. The new SenseGlove Nova 2. *SenseGlove* [online] [Zobrazeno: 2024-03-26]. Dostupné: <https://www.senseglove.com/nova-2/>

SHEN, Vivian, Tucker RAE-GRANT, Joe MULLENBACH, Chris HARRISON and Craig SHULTZ, 2023. Fluid Reality: High-Resolution, Untethered Haptic Gloves using Electroosmotic Pump Arrays. V: *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* [online]. New York, NY, USA: ACM [Zobrazeno: 2024-03-26]. Dostupné: <http://dx.doi.org/10.1145/3586183.3606771>

SIEGEL, Corey and Ti ZHAO, 2008. Haptic Glove. *Cornell University* [online] [Zobrazeno: 2024-04-10].

Dostupné: https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/FinalProjects/s2008/crs54_tz36/crs54_tz36/twocolumn.html

SKINETIC, 2023. Skinetic by Actronika. *Skinetic* [online] [Zobrazeno: 2024-03-29].

Dostupné: <https://www.skinetic.actronika.com>

SOVIAK, Andrii, Anatolij BORODIN, Vikas ASHOK, Yevgen BORODIN, Yury PUZIS and I.V. RAMAKRISHNAN, 2016. Tactile Accessibility. V: *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* [online]. New York, NY, USA: ACM [Zobrazeno: 2024-03-26]. Dostupné: <http://dx.doi.org/10.1145/2982142.2982175>

STATISTA, 2022. Topic: Sex toy market in the United States. *Statista* [online] [Zobrazeno: 2024-03-29]. Dostupné: <https://www.statista.com/topics/10345/sex-toy-market-in-the-united-states/#topicOverview>

STATISTA, 2023. Digital Advertising - Worldwide. *Statista* [online] [Zobrazeno: 2024-03-24]. Dostupné: <https://www.statista.com/outlook/dmo/digital-advertising/worldwide>

SUTHERLAND, Ivan E., 1965. The Ultimate Display. [online].

Dostupné: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:126382308>

SYNEK, Svatopluk and Šárka SKORKOVSKÁ, 2014. *Fyziologie oka a vidění: 2., doplněné a přepracované vydání*. B.m.: Grada Publishing, a.s. ISBN 978-80-247-3992-2.

SZPIRO, Sarit, Yuhang ZHAO and Shiri AZENKOT, 2016. Finding a store, searching for a product. V: *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* [online]. New York, NY, USA: ACM [Zobrazeno: 2023-10-16]. Dostupné: <https://objects.scraper.bibcitation.com/user-pdfs/2023-10-16/7fd0967f-6d2a-4f39-a9d4-548d763ab312.pdf>

ŠIKL, Radovan, 2013. *Zrakové vnímání*. Praha : Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-247-3029-5.

ŠTEFÁNEK, Jiří, 2015. Šeroslepost. *Medicína, nemoci, studium na 1. LF UK* [online]. [Zobrazeno: 2023-12-17]. Dostupné: <https://www.stefajir.cz/seroslepost>

- TCL, 2023. Smart Glasses TCL NXTWEAR G - Futuristic Design. *TCL Europe* [online] [Zobrazeno: 2024-03-31]. Dostupné: <https://www.tcl.com/eu/en/glasses/tcl-nxtwear-g>
- TESLASUIT, 2022. Haptic Glove for Virtual Reality with Force Feedback. *Teslasuit* [online] [Zobrazeno: 2024-03-26]. Dostupné: <https://teslasuit.io/products/teslaglove/>
- TSUKADA, Koji and Michiaki YASUMURA, 2004. ActiveBelt: Belt-Type Wearable Tactile Display for Directional Navigation. V: *UbiComp 2004: Ubiquitous Computing* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 384–399 [Zobrazeno: 2024-03-30]. Dostupné: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-30119-6_23
- U.S. GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE, 2021. James Webb Space Telescope: Project Nearing Completion, but Work to Resolve Challenges Continues. *U.S. GAO* [online] [Zobrazeno: 2023-10-25]. Dostupné: <https://www.gao.gov/products/gao-21-406>
- VAN KREVELEN, Rick, 2007. Figure 2: The world's first head-mounted display with the "Sword of... *ResearchGate* [online] [Zobrazeno: 2024-02-29]. Dostupné: https://www.researchgate.net/figure/The-worlds-first-head-mounted-display-with-the-Sword-of-Damocles-Sutherland-1968_fig2_292150312
- VEZZOLI, Eric, Gijs DEN BUTTER and Chloë SCHRIJNEMAEKERS, 2023. *Designing Haptics for Immersive Technologies* [online]. Video. [Zobrazeno: 2024-03-28]. Dostupné: <https://www.youtube.com/watch?v=vbG3uR3qi9s>
- VEZZOLI, Eric, Chris ULLRICH, Gijs den BUTTER and Rafal PIJEWSKI, 2022. *XR Haptics, Implementation and Design Guidelines*. B.m.: Haptics Industry Forum. ISBN 978-0578391205.
- VILLARREAL, Lenin R., Bryan J. CASTRO and Jefferson A. De la CRUZ, 2020. Wireless Haptic Glove for Interpretation and Communication of Deafblind People. *Springer International Publishing* [online]. Dostupné: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-66919-5_31
- VIRTUAL REALITY SOCIETY, 2017. History Of Virtual Reality. *Virtual Reality Society* [online] [Zobrazeno: 2024-02-29]. Dostupné: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>

WABIŃSKI, Jakub, Emilia ŚMIECHOWSKA-PETROVSKIJ and Albina MOŚCICKA, 2022. Applying height differentiation of tactile symbols to reduce the minimum horizontal distances between them on tactile maps. *Plos One* [online]. **17**(2). Dostupné: doi:10.1371/journal.pone.0264564

WALLACE, Michael P., Catherine E. STEWART, Merrick J. MOSELEY, David A. STEPHENS and Alistair R. FIELDER, 2013. Compliance With Occlusion Therapy for Childhood Amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [online]. **54**(9), 6158 [Zobrazeno: 2024-03-31]. Dostupné: doi:10.1167/iovs.13-11861

WILSON, Ian D., 2000. *Encyclopedia of Separation Science*. B.m.: Elsevier Science Ltd. ISBN 978-0-12-226770-3.

XBOX, 2024. Xbox Wireless Controller. *Xbox.com* [online] [Zobrazeno: 2024-03-29]. Dostupné: <https://www.xbox.com/en-US/accessories/controllers/xbox-wireless-controller>

ZHAO, Yuhang, Ed CUTRELL, Christian HOLZ, Meredith Ringel MORRIS, Eyal OFEK and Andrew D. WILSON, 2019. SeeingVR: A Set of Tools to Make Virtual Reality More Accessible to People with Low Vision. *Microsoft Research* [online]. Dostupné: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/seeingvr-a-set-of-tools-to-make-virtual-reality-more-accessible-to-people-with-low-vision-2/>

ZHAO, Yuhang, Sarit SZPIRO and Shiri AZENKOT, 2015. ForeSee. V: *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility - ASSETS '15* [online]. New York, New York, USA: ACM Press [Zobrazeno: 2024-04-07]. Dostupné: <http://dx.doi.org/10.1145/2700648.2809865>

ZOOMAX TECHNOLOGY CO., 2024. Acesight - Low Vision Electronic Glasses. *Acesight Electronic Glasses* [online] [Zobrazeno: 2024-04-09]. Dostupné: <https://www.acesight.com>

ZUCKERBERG, Mark, 2024. *Instagram* [online]. [Zobrazeno: 2024-03-31]. Dostupné: <https://www.instagram.com/reel/C3TkhmivNzt/?hl=en>

SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

Seznam tabulek

Tabulka 1 Proband č. 1 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	29
Tabulka 2 Proband č. 1 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	30
Tabulka 3 Proband č. 2 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	31
Tabulka 4 Proband č. 2 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	32
Tabulka 5 Proband č. 3 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	33
Tabulka 6 Proband č. 3 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	34
Tabulka 7 Proband č. 4 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	35
Tabulka 8 Proband č. 4 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	36
Tabulka 9 Proband č. 5 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	37
Tabulka 10 Proband č. 5 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	38
Tabulka 11 Proband č. 6 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	39
Tabulka 12 Proband č. 6 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	40
Tabulka 13 Proband č. 7 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	41
Tabulka 14 Proband č. 7 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	42
Tabulka 15 Proband č. 8 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	43
Tabulka 16 Proband č. 8 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	44
Tabulka 17 Proband č. 9 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	45
Tabulka 18 Proband č. 9 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	46
Tabulka 19 Proband č. 10 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	47
Tabulka 20 Proband č. 10 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	48
Tabulka 21 Proband č. 11 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	49
Tabulka 22 Proband č. 11 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	50
Tabulka 23 Proband č. 12 Bříško ukazováku pravé ruky – prostorový práh.....	51
Tabulka 24 Proband č. 12 Bříško ukazováku levé ruky – prostorový práh.....	52
Tabulka 25 Průměr prostorového prahu citlivosti bříšek ukazováků pravých rukou probandů 1-10.....	53
Tabulka 26 Průměr prostorového prahu citlivosti bříšek ukazováků levých rukou probandů 1-10.....	55

SEZNAM ZKRATEK

AR Augmentovaná realita

VR Virtuální realita

XR Rozšířená realita

MQ3 Meta Quest 3

AVP Apple Vision Pro