

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Magistrsko delo

**Primerjava vnosa besedila v virtualnem okolju na različnih
postavitvah tipkovnice**

(Comparison of text input in virtual reality on different keyboard layouts)

Ime in priimek: *Patrik Kocjančič*

Študijski program: *Računalništvo in informatika 2. stopnja*

Mentor: *doc. dr. Klen Čopič Pucihar*

Somentor: *izr. prof. dr. Matjaž Kljun*

Koper, januar 2022

Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Patrik KOCJANČIČ

Naslov magistrskega dela: Primerjava vnosa besedila v virtualnem okolju na različnih postavitvah tipkovnice

Kraj: Koper

Leto: 2022

Število listov: 53

Število slik: 21

Število tabel: 5

Število referenc: 54

Mentor: doc. dr. Klen Čopič Pucihar

Somentor: izr. prof. dr. Matjaž Kljun

UDK: 004.946

Ključne besede: postavitve tipkovnice, virtualna resničnost, QWERTZ, OPTI, DVORAK

Izvleček:

Magistrska naloga predstavlja področje vpisovanja besedila v VR okolju. Vpisovanje besedila oziroma tipkanje v virtualni resničnosti (VR) lahko poteka na različne načine. Eden izmed načinov je uporaba senzorjev za zaznavanje pogleda, premikov rok in prstov, ipd. s katerimi nato vnašamo besedilo. Pogostejši in preprostejši način je uporaba dodatnih orodij oz. upravljalnikov, ki omogočajo interakcijo z VR okoljem. Poleg različnih načinov interakcije in vpisovanja besedila lahko vpisovanje besedila v VR poteka na različnih postavitvah tipkovnice, ki so lahko bodisi znane in razširjene, kot je postavitve QWERTY (in izpeljanka QWERTZ), bodisi manj znane ali celo neznane oz. nove postavitve tipkovnice. Cilj naloge je ugotoviti, kako različne postavitve tipkovnice vplivajo na vnos besedila v VR. V VR okolju je namreč tipkovnica lahko precej bolj oddaljena od uporabnika, pri čemer ima uporabnik večji pregled nad postavitvijo tipk. Pri optimalnejši postavitvi tipk bi lahko pričakovali, da bo pregled nad postavitvijo pripomogel k hitrejšemu tipkanju. Kljub temu se je izkazalo, da navajenost na postavitve QWERTZ, daje le tej ogromno prednost pred optimalnejšimi postavitvami kot sta DVORAK in OPTI.

Key words documentation

Name and SURNAME: Patrik KOCJANČIČ

Title of final project paper: Comparison of text input in virtual reality on different keyboard layouts

Place: Koper

Year: 2022

Number of pages: 53

Number of figures: 21

Number of tables: 5

Number of references: 54

Mentor: Assist. Prof. Klen Čopič Pucihar, PhD

Co-Mentor: Assoc. Prof. Matjaž Kljun, PhD

UDC: 004.946

Keywords: keyboard layout, virtual reality, QWERTZ, OPTI, DVORAK

Abstract: This master's thesis presents the field of text entry in VR environment. Entering text or typing in virtual reality (VR) can be accomplished in different ways. For example, we can use sensors to detect gaze, hand and finger movements to enter the text. A more common and simpler way is to use controllers that allow interaction with the VR environment. In addition to different ways of interacting and entering text, selecting keys in VR can take place on different keyboard layouts, which can be either well known such as the QWERTY layout (and its derivative QWERTZ), or less known or even unknown layouts. The aim of this thesis is to determine how different keyboard layouts affect text input in VR. In a VR environment, the keyboard can be much bigger, and further away from the user, providing a greater overview of the layout of the keys. With a more optimal layout of the keys, we could expect that such an overview of the layout could help us to type faster. To this end, we conducted a user study to test different keyboard layouts when entering text in VR. Despite, the familiarity of the QWERTZ layouts provides a significant advantage over the more optimal layouts such as DVORAK and OPTI.

Kazalo vsebine

1	Uvod	1
2	Pregled področja	3
2.1	Pregled obstoječih študij	4
2.2	Opis problema	6
2.3	Cilji raziskave	8
3	Priprava virtualnega okolja	10
3.1	Izbira strojne in programske opreme	10
3.1.1	Strojna oprema	10
3.1.1.1	Oculus VR garnitura	10
3.1.1.2	PlayStation VR	11
3.1.1.3	Samsung Gear VR	12
3.1.1.4	HTC Vive	13
3.1.1.5	Izbrana strojna oprema	13
3.1.2	Programska oprema	14
3.2	Opis virtualnega okolja	15
4	Izvedba študije	17
4.1	Udeleženci	17
4.2	Tipkovnice	17
4.2.1	Tipkovnica QWERTZ	17
4.2.2	Tipkovnica DVORAK	18
4.2.3	Tipkovnica OPTI	19
4.2.4	Tipkovnica CIRCLE	19
4.3	Izvedba	20
5	Rezultati in razprava	23
5.1	Rezultati študije	23
5.1.1	Rezultati vpisovanja besedila v VR	23
5.1.1.1	Čas vpisovanja	24
5.1.1.2	Hitrost vpisovanja: besede na minuto (WPM)	26

5.1.1.3	Napake in popravljene napake	28
5.1.2	Zaznavanje pogleda v VR	32
5.1.3	Vprašalniki	34
5.1.3.1	Vprašalnik NASA TLX	34
5.1.3.2	Vprašalnik uporabniške izkušnje UEQ	35
5.1.3.3	Vprašalnik MSAQ	35
5.2	Razprava	36
6	Zaključek	38
7	LITERATURA IN VIRI	40

Kazalo preglednic

1	Rezultati Mann-Whitney U testa primerjave med tipkovnicami.	25
2	Povprečni čas po vrstnem redu tipkovnice. V vrstici 1. so tako časi, ki je bila določena tipkovnica prva s katero so začeli uporabniki študijo. . .	26
3	Statistična analiza WPM z uporabo t-testa neodvisnih vzorcev.	28
4	WPM po vrstnem redu tipkovnice.	28
5	Stopnja napak pri prepisovanju.	31

Kazalo slik in grafikonov

1	Primerjava petih različnih načinov vnosa besedila v VR [1].	4
2	Vnos besedila na bobnarski tipkovnici [2].	5
3	Tipkovnica PizzaText s tremi različnimi postavitvami črk na posamezne rezine [3].	6
4	Različne postavitve tipkovnice, s katerimi so skušali optimizirati postavitev QWERTY.	7
5	Naglavni prikazovalnik Oculus Rift in dva upravljalnika [4].	11
6	Levo je DualShock 4 upravljalnik, desno pa PlayStation VR s PlayStation Move upravljalniki in PlayStation kamero [5,6]	12
7	Naglavni prikazovalnik Samsung Gear VR in upravljalnik [7].	13
8	HTC Vive naglavni prikazovalnik, upravljalnika in sistem za sledenje Lighthouse [8].	14
9	Prikaz VR okolja in možnosti prilagajanja.	16
10	Prikaz vnosa besedila.	16
11	Različice postavitve QWERTZ v posameznih državah [9]	18
12	Različice postavitve DVORAK [10]	18
13	Postavitev tipkovnice OPTI [11].	19
14	Naša različica postavitve OPTI z znakoma “Backspace” (vračalka ali brisalka) in “Enter” (vnašalka).	20
15	Postavitev tipk CIRCLE, kjer so tipke postavljene po zaporedju angleške abecede v smeri urinega kazalca.	21
16	Grafikon kvantilov (ang. boxplot) porabljenega časa za prepisovanje na posameznih tipkovnicah.	25
17	Grafikon kvantilov (ang. boxplot).	27
18	Zaporedje znakov iz prejšnjega primer iz katerega so bile najprej odstranjene pike (“.”) in nato izvedena ustrezna faza grupiranja črk nad tem.	30
19	Frekvenčna analiza gledanih znakov na posamezni postavitvi tipkovnice.	33
20	Rezultati vprašalnika NATA TLX.	35
21	Rezultati vprašalnika UEQ.	36

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Klenu Copič Puciharju in somentorju doc. dr. Matjažu Kljun za vse napotke in strokovno pomoč pri izdelavi zaključne naloge. Prav tako se zahvaljujem osebju UP FAMNIT, študentom in vsem prijateljem, ki so sodelovali pri raziskavi. Rad bi se zahvalil še sošolcem Aneju Marušič, Blažu Gombač, Janu Bratina in Tomažu Grižon za vso pomoč, druženje in medsebojno spodbujanje v teku celotnega magistrskega študija.

1 Uvod

S pojavom telegrafije in pisalnih strojev se je pojavila potreba po postavitvi tipk na tipkovnici. Prvi telegrafski stroji so uporabljali tipkovnice, ki so kopirale klavirsko obliko [12]. Postavitev se je sčasoma razvijala in dobila današnjo vsem znano postavitve QWERTY leta 1874 s pisalnim strojem Remington št. 1 podjetja [13]. Postavitev QWERTY ima tipke postavljene v treh vrstah pri čemer se v zgornji vrsti od leve proti desni vrstijo tipke q, w, e, r, t, in y. Skozi naslednja desetletja se razpored tipk za črke ni bistveno spremenil in sodobna postavitev temelji na IBM tipkovnici Model M iz leta 1985 [14]. Kljub prevladujoči postavitvi tipk QWERTY in njenih izpeljankah QWERTZ in AZERTY so se pojavile druge postavitve, ki navzlic optimizaciji tipkanja in možnih večjih hitrostih nikoli niso dosegle širše uporabe. Vprašanje, ki smo si ga postavili je, ali se to lahko zgodi z uporabo novih tehnologij kot je na primer Virtualna Resničnost.

Virtualna resničnost (VR) omogoča uporabnikom poglobljeno doživljanje simuliranih virtualnih okolij preko naglavnega prikazovalnika, projektorjev ali drugih tehnologij. Danes se najpogosteje uporabljajo naglavni prikazovalniki, kot so Oculus Rift in HTC Vive. Upravljanje z VR pa poteka preko enega ali dveh upravljalnikov (angl. controller) katerih gibi v realnem svetu se preslikajo v gibe v virtualnem okolju. V zadnjem času se je pojavila tudi potreba po vnosu besedila v teh okoljih, kjer tipkovnica ni omejena na fizično tipkovnico, ki jo uporabljamo pri osebnih računalnikih ali omejena z zaslonom kot pri mobilnih telefonih. Tipkovnico lahko postavimo kamorkoli v prostoru. Poleg tega lahko izbiramo tudi med poljubnimi velikostmi in oblikami.

Dosedanje raziskave so se osredotočile na različne ključne dejavnike. Pri nekaterih so primerjali vnos besedila v mirovanju v primerjavi z vnosom pri premikanju, ali vnos besedila z različnimi načini interakcije s tipkovnico, itd. V dani nalogi smo se odločili raziskati ali različna postavitve tipk oziroma črk na tipkovnici vpliva na hitrost vnosa besedila in ali postavitve tipk vpliva na število napak pri tipkanju v virtualnem okolju. V ta namen smo zgradili virtualno okolje v katerega lahko postavimo tipkovnico z različno postavitvijo tipk in uporabnikom dali nalogo vnosa besedil na različnih tipkovnicah.

Naslednje poglavje se osredotoča na opis pregleda področja VR z opisom raziskave, ki zajema tipkanje besedila v virtualnem okolju. V nadaljevanju sledi izpostavitve problem, nato pa so navedeni cilji naše raziskave. Tretje poglavje opisuje pripravo virtualnega okolja s pomočjo katerega je bilo možno želeno raziskavo izpeljati. V tem poglavju

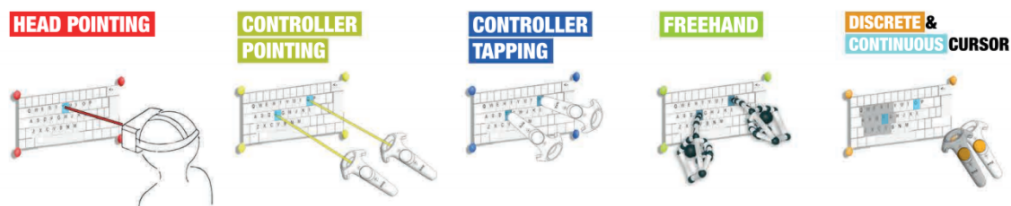
sta opisana izbrana strojna oprema in delovno okolje. Četrto poglavje predstavlja izvedbo študije z uporabljenimi metodami, zajete podatke, pridobivanje uporabnikov in način obdelave podatkov. Peto poglavje predstavlja rezultate in razpravo študije. Naloga se zaključuje z opisom možnih izboljšav.

2 Pregled področja

Virtualna resničnost (VR) je tehnologija, ki omogoča uporabnikom potopitveno izkušnjo v virtualnem simuliranem okolju. To okolje lahko upodablja realen ali pa domišljjski svet in je lahko različnih stopenj podrobnosti vizualnih, zvočnih in haptičnih senzoričnih povratnih informacij, ki simulirajo fizično prisotnost uporabnika v virtualnem okolju. Prikaz virtualnih okolij je omogočen preko uporabe VR naglavnih prikazovalnikov, več-projektorskih sistemov, ki projicirajo virtualno okolje okoli uporabnika ali več uporabnikov in preko posebnih sob obdanih z več velikimi zaslona (t.i. cave systems). Uporabniki se lahko po virtualnih svetovih premikajo in izvajajo interakcijo z virtualnimi predmeti in/ali drugimi uporabniki. Za interakcijo z virtualnim okoljem se pogosto uporabljajo tako imenovani upravljalniki (angl. VR controllers) in sistem za zaznavanje gibanja. Slednji sledi gibanju upravljalnikov, med drugim tudi uporabnikom in drugim označenim predmetom v realnem svetu, skrbi za preslikavo le teh v virtualen svet in dopolnjuje razne funkcionalnosti posameznih kosov strojne opreme [15].

Danes se VR uporablja na različnih področjih kot sta na primer izobraževanje in zabava. Med uporabniki so najbolj zaželeni video igre, ki omogočajo potopitev igralca v virtualni svet, s čimer igralec postane del igre v kateri njegov avatar posnema premike telesa igralca v realnem svetu. Uporablja se jo tudi pri izobraževanju mladih zdravnikov in kirurgov ter celo vojakov, saj ta tehnologija lahko posnema realni svet v katerem učenci lahko preizkusijo svoje spretnosti (npr. simulacija kirurške operacije, izvajanje vojaške taktike, učenje vožnje letala ipd.) V virtualnem okolju lahko uporabniki raziščejo različne možnosti in se učijo iz lastnih napak, kar pomeni, da se lahko morebitnim napakam v realnem svetu. Študije so pokazale, da se VR v zdravstvu lahko uporablja tudi za zdravljenje različnih motenj in strahov (fobij), saj predstavitev predmetov ali prostorov, ki lahko nekomu predstavljajo vir fobij, poteka v kontroliranem okolju. VR uporabljajo tudi v avtomobilski industriji, muzejih, ipd. [16]

Velikokrat se pri uporabi virtualnih svetov pojavi potreba po komunikaciji, ki najpogosteje poteka glasovno, saj se tako lahko tudi najhitreje in najlažje sporazumemo. Včasih pa se pojavi potreba po vnosu besedila. Ker v VR tipkanje ni enostavno, smo se odločili, da bomo v okviru magistrske naloge preučili obstoječe raziskave na tem področju in preverili ali lahko kaj doprinesemo k obstoječemu znanju.



Slika 1: Primerjava petih različnih načinov vnosa besedila v VR [1].

2.1 Pregled obstoječih študij

Ker vnos besedila v virtualnih okoljih poteka preko upravljalnikov ali preko gibov telesa je vnos besedila počasnejši kot pri tipkanju na fizično tipkovnico ali tipkovnico na zaslonih mobilnih telefonov. Premikanje upravljalnikov in rok iz ene tipke na virtualni tipkovnici na drugo je zamuden proces. Temu je še prav posebno tako, če se uporabnik med vnosom besedila premika po virtualnem prostoru.

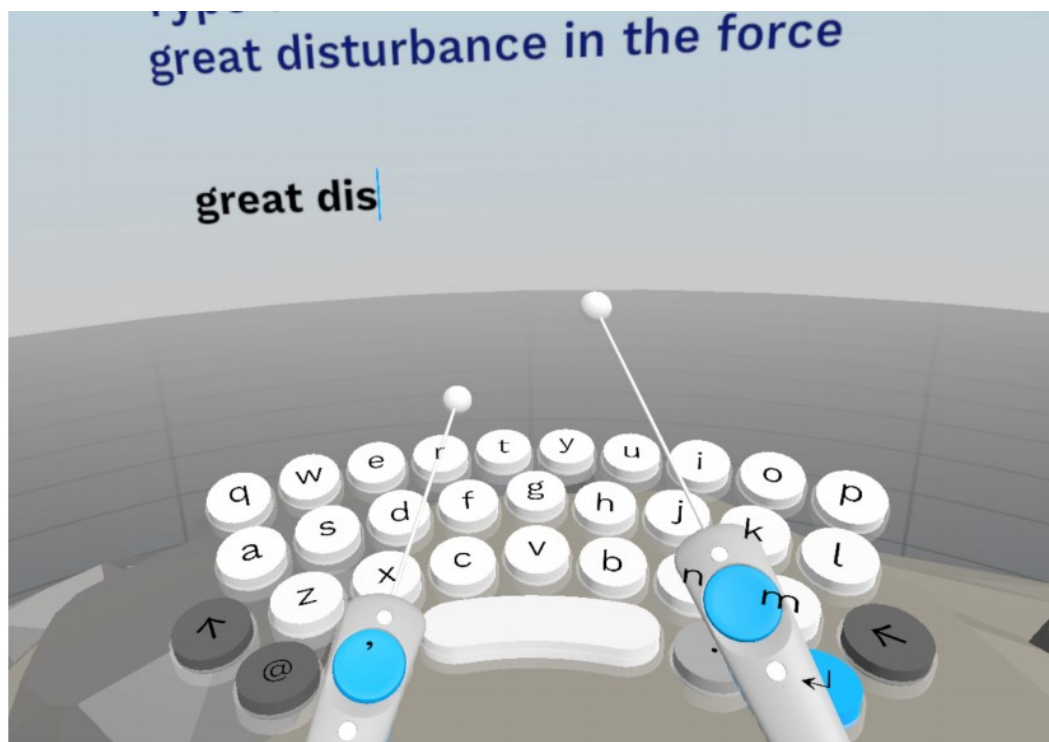
Zato so raziskovalci v [17] primerjali vnos besedila v mirovanju in vnos besedila pri gibanju, natančneje kolesarjenju. Pri slednjem so sodelujoči v raziskavi morali vzdrževati določeno hitrost med vnašanjem besedila preko tipkovnice. Tako pri mirovanju kot gibanju so sodelujoči tipkali na ozko postavitev QWERTY, ki je bila v celoti v vidnem polju uporabnika, in na široko postavitev QWERTY, ki ni bila v celoti v vidnem polju uporabnika. Uporabniki so vnašali besedilo na dva načina, in sicer samo s pogledom in s pogledom ter klikom na gumb (pogled + klik). Pri prvem načinu so morali gledati zeleno črko vsaj pol sekunde, da je sistem zaznal vnos gledanega znaka na tipkovnici v vnosno polje, medtem ko so pri drugemu načinu s pogledom najprej našli zeleni znak in ga nato s klikom na gumb vnesli v vnosno polje.

Iz rezultatov raziskave je razvidno, da je hitrost pisanja pri obeh tipkovnicah višja pri mirovanju kot pri gibanju, kar je bilo pričakovano, saj je zaradi premikanja oz. tresljajev med premikanjem izbiranje in vpisovanje črk otežkočeno. Najhitrejši so bili uporabniki z metodo pogled+klik, saj se pri tej uporabniki niso ustavljali. Pri merjenju hitrosti tipkanja se najpogosteje uporablja enota "besede na minuto" (angl. words per minute ali wpm oziroma WPM). Ker je dolžina različnih besed različna, se za besedo uporablja standard dolžine pet, pri čemer se vsakih pet klikov na tipkovnici (vključno s presledki in ločili) šteje za novo besedo [18]. Povprečna hitrost tipkanja pri omenjeni raziskavi [17] je bila na ozki tipkovnici 10,15 wpm s povprečno stopnjo napake 0,07 %, pri široki pa 9,15 wpm s povprečno stopnjo napake 0,03 %. Razlog je lahko v večji razdalji med črkami in ker črke niso bile vse hkrati v vidnem polju uporabnika.

Druga raziskava je primerjala hitrost in natančnost vpisovanja med različnimi načini vnašanja besedila v VR na tipkovnici s postavitvijo QWERTY [1]. Primerjali so pet

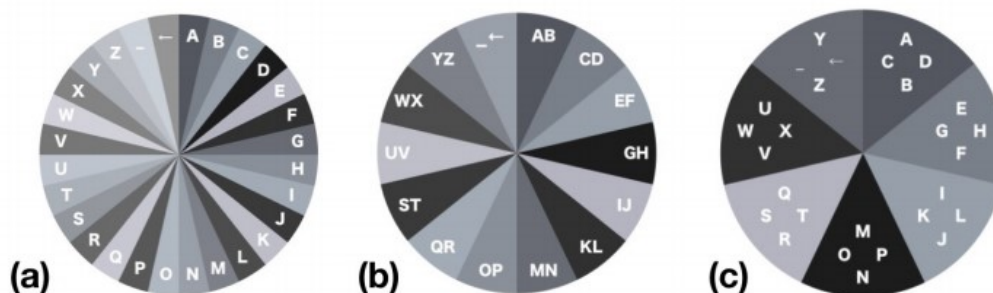
različnih načinov vnosa: (i) vnos z izbiranjem črk s premikom glave in pogleda, (ii) vnos z izbiranjem črk s pomočjo laserja iz VR upravljalnika in potrditvijo izbire s klikom, (iii) vnos, kjer so uporabniki uporabili zadnji del upravljalnikov za tipkanje kot pri uporabi stylusa na daljavo, (iv) prostoročni vnos s sledenjem premika rok in prstov z rokavicami Leap Motion in (v) vnos s diskretnim ter neprekinjenim kazalcem, kjer uporabnik uporablja drsni ploščici na upravljalnikih za premikanje in izbiranje črk na virtualni tipkovnici. Na Sliki 1 so prikazani omenjeni načini. Pri raziskavi je moral vsak uporabnik čim hitreje in čim bolj natančno prepisati pet stavkov z vsakim načinom vnosa. Študija je pokazala, da je najprimernejši vnos z izbiranjem črk s postavitvijo laserja iz VR upravljalnikov na zelen znak ter potrditvijo izbire s klikom (ii). S tem načinom so dosegli največjo povprečno hitrost 15,44 WPM z najmanjšo povprečno stopnjo napak 0,97 %.

Naslednja raziskava je raziskovala drugačen način vnosa besedila na tipkovnici v primerjavi s prejšnjo študijo, ki so ga imenovali "bobnarska VR tipkovnica". Uporabniki so pri vnosu besedila uporabljali upravljalnika kot bobnarski palčki s katerima so "tolkli" po posameznih tipkah tipkovnice, kot da bi igrali bobne. Na Sliki 2 je prikazan uporabnik med vpisovanjem besedila na bobnarski tipkovnici. Povprečna hitrost vnosa besedila pri tej metodi je bila kar 24,61 WPM. Vendar je raziskava pokazala tudi precejšnjo stopnjo napake 7,2 % [2].



Slika 2: Vnos besedila na bobnarski tipkovnici [2].

Podobno kot v prejšnji, so v naslednji raziskavi preizkušali drugačen način tipkanja na VR tipkovnici. Imenovali so ga “PizzaText”, saj je tipkovnica oblikovana v krožni obliki in razdeljena na več rezin [3]. V študiji so preizkusili tri različice tipkovnice, ki so se razlikovale v številu rezin in številu znakov na vsaki rezini. Med temi so bile: (a) 1-tipkovna “PizzaText”, (b) 2-tipkovna “PizzaText” in (c) 4-tipkovna “PizzaText” tipkovnica. Na Sliki 3 so prikazane omenjene različice tipkovnice.



Slika 3: Tipkovnica PizzaText s tremi različnimi postavitvami črk na posamezne rezine [3].

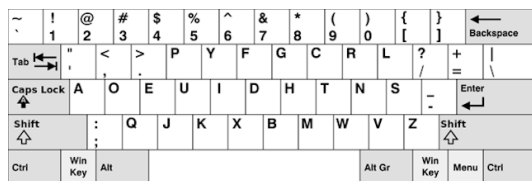
Tipkanje je potekalo z uporabo igralnega upravljalnika Xbox One, in sicer le za uporabo krmilnih palčk (angl. joystick) in desnega sprožilca. Z levo krmilno palčko je uporabnik izbiral rezino, medtem ko je z desno krmilno palčko zbiral črko na rezini. Za različico (a) pa je uporabnik izbiro črke potrdil s klikom na desni sprožilec in ne z desno krmilno palčko kot pri ostalih (b) in (c) različicah. Povprečni rezultati za vsako različico so bili:

- (i) povprečna hitrost 7,25 WPM, stopnja napake 1,47 %
- (ii) povprečna hitrost 7,67 WPM, stopnja napake 1,66 % in
- (iii) povprečna hitrost 8,44 WPM, stopnja napake 2,24 %

Študija je pokazala prednost (c) različice oz. 4-tipkovne “PizzaText” tipkovnice, tj. tipkovnice s štirimi znaki na rezino. Povprečna hitrost te različice je bila 8,44 WPM z zmerno stopnjo napake 2,24 %.

2.2 Opis problema

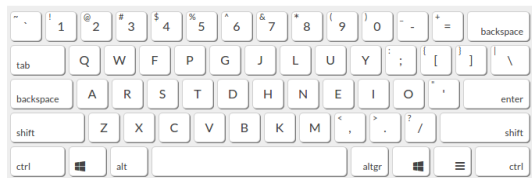
Vnos besedila v virtualnem okolju je omogočen preko različnih načinov vnosa, ki naj bi nadomestili fizično tipkanje s prsti na fizični tipkovnici ali na zaslonskih tipkovnicah na dotik. Med vsemi načini se je najbolje izkazal vnos z upravljalniki in izbiro zelenih



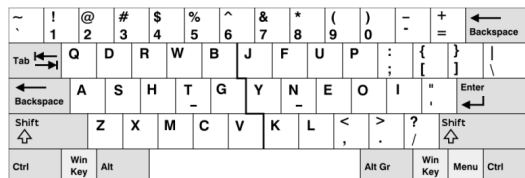
(a) DVORAK



(b) OPTI



(c) Colemak



(d) Workman



(e) Neo



(f) Bépo

Slika 4: Različne postavitev tipkovnice, s katerimi so skušali optimizirati postavitev QWERTY.

znakov oziroma tipk s klikom na potrditveni gumb na upravljalniku [1]. Kljub navedenemu pa je potrebno izpostaviti, da je hitrost vnosa besedila zdaleč nižja od povprečne hitrosti povprečnega uporabnika računalnika. Študija iz leta 1999 je namreč pokazala, da je povprečna hitrost povprečnega uporabnika pri prepisovanju (kot so to počeli v zgoraj opisanih študijah) besedila 32,5 besed na minuto (angl. words per minute ali wpm, WPM) [19]. Še hitrejši so poklicni strojepisci oziroma tipkarji, ki dosegajo hitrosti od 50 do 80 wpm, za časovno ključna opravila se pa zahteva hitrost od 80 do 95 wpm, pri čemer nekateri napredni tipkarji dosegajo hitrosti nad 120 wpm [20]. Še tipkanje z dvema prstoma pri prepisovanju dosega 27 wpm [21]. Iz vsega tega je razvidno, da je omenjena povprečna hitrost 15,44 WPM s povprečno stopnjo napak 0,97 % v VR okolju zelo nizka.

Pri omenjenih študijah v prejšnjem podpoglavju so raziskovalci merili hitrost tipkanja na postavitvi QWERTY, saj je ta tudi daleč najpogosteje uporabljena postavitev na svetu. Zato smo se po pregledu raziskav spraševali ali bi različna in optimalnejša postavitev tipk na tipkovnici prinesla boljše rezultate. Poleg postavitve QWERTY obstajajo še druge, ki naj bi z optimalnejšo postavitvijo uporabnikom omogočale še hitrejšo tipkanje. Med bolj znanimi so na primer DVORAK [22], OPTI [11], Colemak [23] in Workman [24] optimizirane za angleški jezik, ter postavitev optimizirane za druge jezike kot sta Neo [25] za nemški jezik in BÉPO [26] za francoski (Slika 4).

Obstaja kar nekaj primerjav hitrosti tipkanja na fizičnih tipkovnicah z različnimi zgoraj omenjenimi postavitvami. Poleg neakademske raziskave [27] in anekdotičnih dokazov o eni ali drugi optimalnejši postavitvi [28–30] obstaja tudi nekaj akademskih primerjav in raziskav. V raziskavi, kjer so primerjali postavitvi QWERTY in OPTI sta bile povprečni hitrosti pri obeh visoke, in sicer 40 wpm pri postavitvi QWERTY in 45 wpm pri postavitvi OPTI [11]. Velikokrat sta bili med seboj primerjani postavitvi QWERTY in DVORAK, a so rezultati enkrat v prid postavitvi DVORAK, drugič v prid QWERTY. Pri rezultatih je seveda potrebno upoštevati domačnost uporabnika s posamezno postavitvijo tipk. Kljub temu so v eni izmed pregledanih raziskav opazili, da so uporabniki z nekajurnim treningom oz. spoznavanjem tipkovnice DVORAK izenačili ali celo povečali hitrost tipkanja v primerjavi s postavitvijo QWERTY [31,32].

Ne glede na zgoraj povedano je potrebno poudariti, da se hitrost tipkanja pri fizičnih tipkovnicah razlikuje od tipkanja v virtualnem okolju. Premiki prstov so hitrejši od premikov VR upravljalnikov in v primerjavi z največ dvema upravljalnikoma lahko uporabljamo na fizičnih tipkovnicah več prstov hkrati. Fizične tipkovnice so tudi manjše od virtualnih, saj se slednje ponavadi nahajajo vsaj pol metra stran od uporabnika, ki ima tako jasen pregled nad celotno tipkovnico in lahko načeloma hitreje najde tipke tudi, če mu postavitev znakov ni domača. Poleg tega imamo v virtualnem okolju to prednost, da lahko hitro menjujemo postavitve tipkovnice tudi drugačnih oblik, kot so standardne tri vrstične. Vprašanje je, ali omenjene prednosti in omejitve lahko omogočajo uporabnikom hitrejšo tipkanje na optimalnejše in nepogoste postavitve tipk tudi brez predhodnega dolgoročnega treninga. Odločili smo se, da v sklopu magistrske naloge izvedemo raziskavo, v kateri bomo merili čas, hitrost, napake, itd. pri vnosu besedila na različnih postavitvah tipkovnice v VR. Pričakovati je namreč, da bi optimalnejša postavitev podobno kot pri fizičnih tipkovnicah, prinesla boljše rezultate tudi v VR ravno zaradi velikosti in preglednosti tipkovnice. Za razliko od ostalih študij smo se odločili, da v naši raziskavi uporabimo postavitev QWERTZ, saj je ta standard v Sloveniji in se od QWERTY razlikuje v zamenjavi črk “y” in “z”. Primerjali bomo postavitev QWERTZ z ostalimi izbranimi postavitvami tipkovnice, ki so: DVORAK, OPTI in CIRCLE.

2.3 Cilji raziskave

Glavni cilj študije je ugotoviti ali poznavanje postavitve tipkovnice vpliva na hitrost in napake pri vnosu besedila v virtualnem okolju in posledično ugotoviti ali je katera od manj znanih postavitev iz tega stališča boljše od postavitve QWERTZ. Kljub temu, da so v nekaterih raziskavah že raziskali in primerjali nekaj fizičnih postavitev tipkovnice, podobnih raziskav za izbrane postavitve tipkovnice v virtualnem okolju nismo zasledili. Z našo raziskavo tako skušamo doprinesti znanje na področju vnosa besedila v

virtualnem okolju in odgovoriti na naslednja vprašanja:

- (i) ali katera od optimalnejših postavitvev tipk omogoča hitrejše ali vsaj primerljivo hitro tipkanje brez dolgoročnega predhodnega navajanja na postavitev,
- (ii) ali poznavanje oz. nepoznavanje postavitve tipk na tipkovnici vpliva na število napak pri vnosu besedila v virtualnem okolju,
- (iii) katera postavitev tipkovnice predstavlja najboljšo rešitev za vnosu besedila v VR z izbranim načinom tipkanja glede na hitrost ter glede na število napak in
- (iv) ali se rezultati postavitvev tipkovnice sorazmerno/nesorazmerno razlikujejo od rezultatov raziskav na fizičnih tipkovicah.

3 Priprava virtualnega okolja

V tem poglavju je opisan nabor strojne opreme oz. naprav med katerimi smo lahko izbirali in programska oprema, ki smo jo izbrali za izdelavo virtualnega okolja. V zadnjem podpoglavju je bolj podrobno opisano izdelano virtualno okolje in možnosti interakcije z le-tem.

3.1 Izbira strojne in programske opreme

V naslednjih podpoglavjih so predstavljene različne možnosti primerne strojne in programske opreme in poleg tega tudi izbira le-teh.

3.1.1 Strojna oprema

Za dostop do virtualnega okolja so potrebni računski enota (npr. osebni računalnik, igralna konzola, mobilne naprave kot so pametni telefon itd.), na kateri se izvaja VR aplikacija in garnitura z VR pripomočki, med katerimi so naglavni prikazovalnik (ang. head-mounted display), sistem za sledenje uporabnika in upravljalniki za interakcijo. Slednjo garnituro ponuja že kar nekaj podjetij. Med trenutno najbolj znane in priljubljene štejemo Oculus Quest 2, Playstation VR, Samsung Gear VR in HTC Vive 2. Med naštetimi lahko najdemo garniture, ki so prilagojene računalnikom, igralnim konzolam in tudi mobilnim napravam. V naslednjih podpoglavjih je na kratko opisan razvoj sodobnih VR garnitur omenjenih podjetij in na koncu še izbrana rešitev. In nazadnje naj omenimo, da na trgu lahko najdemo tudi določeno število manjših proizvajalcev VR garnitur, ki so cenovno manj dostopne in lahko presegajo zmogljivosti naštetih.

3.1.1.1 Oculus VR garnitura

Oculus VR je bila ena prvih VR garnitur nove generacije, ki so jo predstavili leta 2012. Naprava je končen izdelek uspešnega Kickstarter projekta inženirja Palmerja Luckeya. Prvi prototip je vseboval samo naglavni prikazovalnik, ki je bil sestavljen iz majhnega zaslona mobilnega telefona v plastičnem okvirju in slušalk. Ker je bil Palmer z napravo zelo zadovoljen, je kmalu po tem začel z resnim razvojem in po dveh letih je podjetje Facebook kupilo Palmerjevo podjetje za 2 milijardi dolarjev [33]. Podjetje Oculus je v letih 2013 in 2014 izdalo prototipni razvijalski različici naglavnega prikazovalnika DK1

in DK2. Prototipnima razvijalskima različicama je nato leta 2016 sledila še prva uradna potrošniška različica Rift CV1. Proti koncu istega leta so v partnerstvu z Microsoftom naprave opremili še z upravljalniki. Vsak upravljalnik je bil opremljen s fizično palico s tremi tipkami in dvema sprožilcema. Na Sliki 5 lahko vidimo napravo Oculus Rift s priloženimi upravljalniki [4].



Slika 5: Naglavni prikazovalnik Oculus Rift in dva upravljalnika [4].

Za delovanje naglavnega prikazovalnika in upravljalnikov je potreben še sistem za sledenje gibanju imenovan Constellation. Z natančno postavljenimi infrardečimi sledilci postavljenimi okoli uporabnika in s poznavanjem konfiguracije prostora lahko sistem z milimetrsko natančnostjo določi položaj VR pripomočkov [34]. Podjetje Oculus je do danes izdelalo kar nekaj VR garnitur in sicer GO (2018), Quest (2019), Rift S (2019) in Quest 2 (2020) Vse njihove naprave so prilagojene za delo z računalnikom.

3.1.1.2 PlayStation VR

PlayStation VR je naprava za virtualno resničnost, ki je namenjena uporabi z igralno konzolo PlayStation. Napravo je razvilo podjetje Sony leta 2016. Omogoča hkratno predvajanje iste slike na naglavnem prikazovalniku in na klasičnem zaslonu ali pa predvajanje ločenih in različnih slik na vsakem od njih. Za interakcijo z virtualnim okoljem imamo dve možnosti: DualShock 4 upravljalnik (Slika 6a) ali PlayStation Move upravljalnika. S slednjimi lahko zaznavamo gibe vsake posamezne roke, medtem ko pri prvem to ni možno. Za zaznavanje gibov je potrebna še PlayStation kamera, ki mora biti



(a) DualShock 4



(b) PlayStation VR in Move

Slika 6: Levo je DualShock 4 upravljalnik, desno pa PlayStation VR s PlayStation Move upravljalniki in PlayStation kamero [5, 6]

nameščena pred uporabnikom naprave. Na Sliki 6b je prikazana naprava PlayStation VR s PlayStation Move upravljalniki in PlayStation kamero. Za razliko od Constellation sistema za sledenje, ki sledi uporabniku navznoter (angl. outside-in), PlayStation VR z nameščeno kamero na naglavnem prikazovalniku omogoča sledenje navzven (angl. inside-out) [35, 36].

3.1.1.3 Samsung Gear VR

Samsung Gear VR je naglavni nastavek, ki omogoča dostop do virtualnega okolja s pomočjo pametnega telefona. Napravo je razvilo podjetje Samsung Electronics v sodelovanju z Oculus VR. Prva potrošniška različica je bila na voljo konec leta 2015. Gear VR deluje z večino pametnih telefonov znamke Samsung Galaxy. Med uporabo pametni telefon deluje kot zaslon in računsko enota, medtem ko nosilec nudi vse ostalo za povezovanje in interakcijo z virtualnim svetom [37]. Na napravi so vgrajeni sledilna ploščica, gumba "Home" in "Back", kolesčček za nastavitve ostrine in senzor bližine, ki zaznava kdaj je naprava nameščena na glavo. Gear VR nastavku je priložen še manjši upravljalnik za lažjo interakcijo z virtualnim okoljem. Na upravljalniku imamo sledilno ploščico, gumba "Home" in "Back", gumba za glasnost in sprožilec [7]. Ker naprava za delovanje potrebuje telefon, je tudi kakovost slike odvisna od slednjega. Naglavni nastavek in upravljalnik sta prikazana na Sliki 7. Prednost naprave je relativno nizka cena in njeno brezžično delovanje, saj uporablja procesorske zmogljivosti telefona in ne oddaljenega računalnika. Ta način dostopa do virtualnega sveta ima tudi slabosti. Ena izmed teh je, da se telefon med uporabo lahko pregreva in njegova baterija hitro prazni. Ker naprava nima zunanjih senzorjev, ne omogoča popolnega sledenja glave. Naprava zaznava le rotacije glave [38].



Slika 7: Naglavni prikazovalnik Samsung Gear VR in upravljalnik [7].

Samsung Gear VR so prenehali izdelovati in prodajati septembra 2020. S tem je Samsung umaknil s ponudbe tudi preostale storitve na področju VR. Ker je Gear VR uporabljal isto mobilno aplikacijo in igre kot podoben izdelek Oculus Go, bodo uporabniki lahko kljub prekinitvi podpore še naprej uporabljali napravo.

3.1.1.4 HTC Vive

HTC Vive je VR naglavni prikazovalnik, ki sta ga izdelali podjetji HTC in Valve Corporation. V prodaji je od leta 2016. Prav tako kot Oculus Rift, je namenjen uporabi v kombinaciji z osebnim računalnikom. HTC Vive naglavni prikazovalniki omogočajo spreminjanje razdalje od posameznega očesa do zaslona in razdalje med lečama. Za razliko od ostalih predstavljenih VR prikazovalnikov ima HTC Vive različico z vgrajeno zunanjo kamero, s katero lahko uporabnik dejansko zazna tudi fizično okolje. Naprava ima priložena dva upravljalnika za interakcijo. Na vsakem sta gumba "Menu", "System", drsna ploščica, sprožilec in gumba za oprijem "Grip buttons". Naglavnemu prikazovalniku in upravljalnikoma je priložen še sistem za sledenje Lighthouse za zaznavanje VR pripomočkov, sestavljen iz dveh baznih postaj. Bazni postaji oddajata IR svetlobo in IR laser s katerimi zaznavata foto senzorje, ki so vgrajeni v naglavnem prikazovalniku in upravljalnikih. Na Sliki 8 je prikazana celotna garnitura HTC Vive. Podjetje je do danes izdalo še različice Pro (2018), Pro Eye (2018), Focus (2018) in Cosmos (2020) [8, 39, 40].

3.1.1.5 Izbrana strojna oprema

Kot že omenjeno, je izbira VR garniture odvisna od računalniškega sistema na katerem želimo le-to uporabljati. Odločili smo se za izdelavo projekta na osebnem računalniku,



Slika 8: HTC Vive naglavni prikazovalnik, upravljalnika in sistem za sledenje Lighthouse [8].

in za uporabo sistema HTC Vive Pro s sistemom za sledenje pogledu, ki je med najzmogljivejšimi med zgoraj omenjenimi, hkrati smo ga imeli na voljo in je primeren za našo študijo.

3.1.2 Programska oprema

Pri izgradnji virtualnega okolja smo se odločili za uporabo programskega okolja Unity, ki nudi podporo za izdelavo 3D in 2D okolij, VR, dopolnjene resničnosti, iger, in simulacij. Unity je zelo prilagodljivo okolje, saj lahko v njem izdelujemo razne programe za več kot 25 različnih operacijskih sistemov v programskem jeziku C# [41, 42].

Ker okolja Unity ne moremo neposredno povezati z VR garnituro, smo pred začetkom dela na računalnik prenesli aplikacijo SteamVR, preko repozitorija za digitalno distribucijo iger Steam. SteamVR je aplikacija, ki deluje kot vmesnik med računalnikom in VR pripomočki [43]. Ob prvem zagonu smo določili parametre prostora, v katerem se bodo VR pripomočki uporabljali. Pri tem smo določili tudi meje razpoložljivega prostora v realnem svetu, ki so prikazane znotraj aplikacije in prikazujejo uporabniku meje prostora, v katerem se lahko giblje. Na koncu je bilo potrebno prenesti vtičnik SteamVR iz trgovine sredstev Unity Assets Store. Vtičnik omogoča prenos podatkov iz aplikacije SteamVR v Unity, ki jih lahko uporabimo pri našem programu [44]. V našem primeru je to klik na sprožilec, ki vpiše izbrano črko v polje z besedilom. Tako smo naposled pripravili vse potrebno za pripravo okolja in realizacijo raziskave. .

Poleg podatkov, zbranih preko upravljalnikov in merjenje časa ter napak smo želeli tudi slediti pogledu sodelujočih v raziskavi. Zato je bilo potrebno naš projekt znotraj Unity povezati s programom iMotions, ki skrbi za zbiranje in interpretacijo podatkov, prejetih s pomočjo senzorjev za zaznavanje pogleda, in urediti vse potrebno za

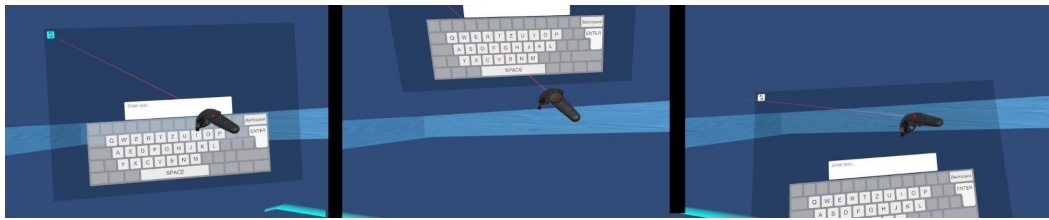
prejemanje teh podatkov [45].

3.2 Opis virtualnega okolja

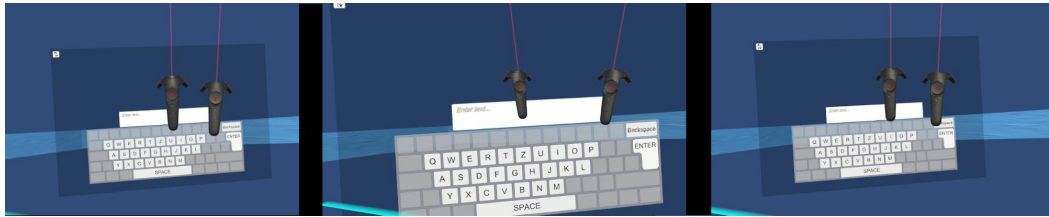
Kot zgoraj opisano, smo virtualno okolje izdelali v programskem okolju Unity. Velikost premikov v virtualnem okolju odloča razpoložljiv prostor v realnem svetu, a naš cilj ni bilo izvesti raziskavo, v kateri bi se uporabnik premikal, ampak le primerjati oz. preučiti vpisovanje besedila na različnih postavitvah tipkovnice v virtualnem svetu. Glavni del zgrajenega virtualnega okolja je uporabniški vmesnik na katerem ima uporabnik pred seboj izbrano postavitev tipkovnice. Ko je določena postavitev izbrana, ima uporabnik na vmesniku tudi polje z besedilom, ki ga mora prepisati, in vnosno polje, kamor vnaša prepisano besedilo. Ob kliku na tipko “Enter” (vnašalka) na tipkovnici se vsebina polja z besedilom zamenja z novim, ki ga more uporabnik prepisati.

Testirali smo več razdalij platna z vmesnikom in se odločili, da se bo le to privzeto nahajalo na razdalji treh metrov od uporabnika. Dodali smo tudi možnost dviga oz. spusta platna na določeno višino (Slika 9a), možnost spreminjanja velikosti platna (Slika 9b) in možnost spreminjanja razdalje med platnom in uporabnikom (Slika 9c). Vse zgoraj omenjene dodatne funkcionalnosti lahko uporabnik uporablja preko krožne sledilne ploščice (angl. trackpad), ki se nahaja na zgornjem delu upravljalnika. Interakcija s tipkovnico (izbira tipke oziroma črke) pa poteka z usmerjanjem laserja na določeno tipko in z uporabo sprožilca, ki se nahaja na spodnjem delu upravljalnika. Platno z vmesnikom je vedno usmerjeno v uporabnika ne glede na njegov položaj. Virtualno okolje poleg platna z vmesnikom nima ničesar drugega in je enostavno zgrajeno za namene dotične raziskave.

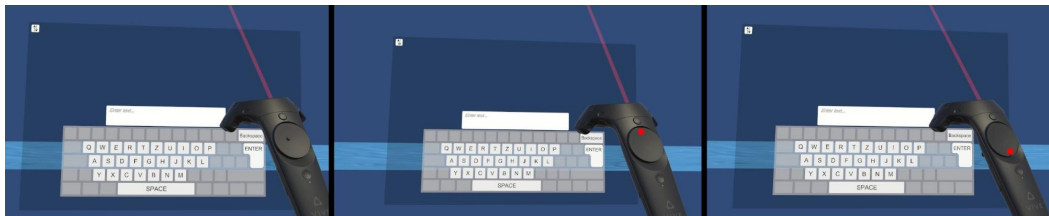
Odločili smo se za vnos besedila z usmerjanjem laserja in izbiro s klikom na sprožilec, saj se je ta način izkazal za najbolj primerne v raziskavi [1] in je tudi implementiran v aplikaciji SteamVR. Primer načina vpisovanja besedila je prikazan na Sliki 10.



(a) Dvig in spust platna

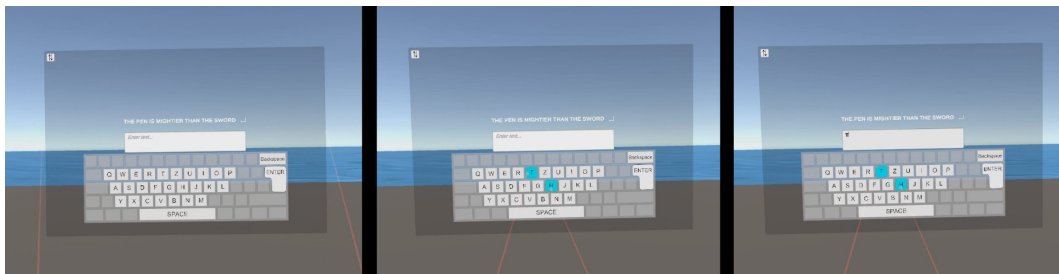


(b) Spreminjanje velikosti platna



(c) Spreminjanje razdalje med platnom in uporabnikom

Slika 9: Prikaz VR okolja in možnosti prilagajanja.



Slika 10: Prikaz vnosa besedila.

4 Izvedba študije

4.1 Udeleženci

Pri študiji je sodelovalo 31 udeležencev, med katerimi je bilo 25 moških in 6 žensk, starih med 19 in 44 let. Udeležence smo vabili preko elektronske pošte in osebnih vabil. Med njimi je 23 študentov ali zaposlenih na področju računalništva in informatike, kar znaša 74 % vseh udeležencev. Ostali udeleženci so enakomerno porazdeljeni med naravoslovnimi vedami, družboslovnimi vedami in humanistiko.

Ker smo možnost sledenja pogledu dodali kasneje smo udeležence razdelili v dve skupini, in sicer na skupino pri kateri smo zaznavali usmerjenost pogleda in skupino pri kateri nismo. V skupini brez zaznavanja usmerjenosti pogleda je sodelovalo 12 udeležencev, med katerimi je bilo 9 moških in 3 ženske. Medtem ko v skupini z zaznavanjem usmerjenosti pogleda je sodelovalo 16 moških in 3 ženske. Kljub dvema skupinama bodo podatki glede tipkanja na tipkovnicah analizirani in predstavljeni skupaj, saj je bila naloga obeh skupin enaka. Le v primeru oz. analizi rezultatov za zaznavanje pogleda se bomo omejili na tistih 19 uporabnikov v skupini z zaznavanjem usmerjenosti pogleda.

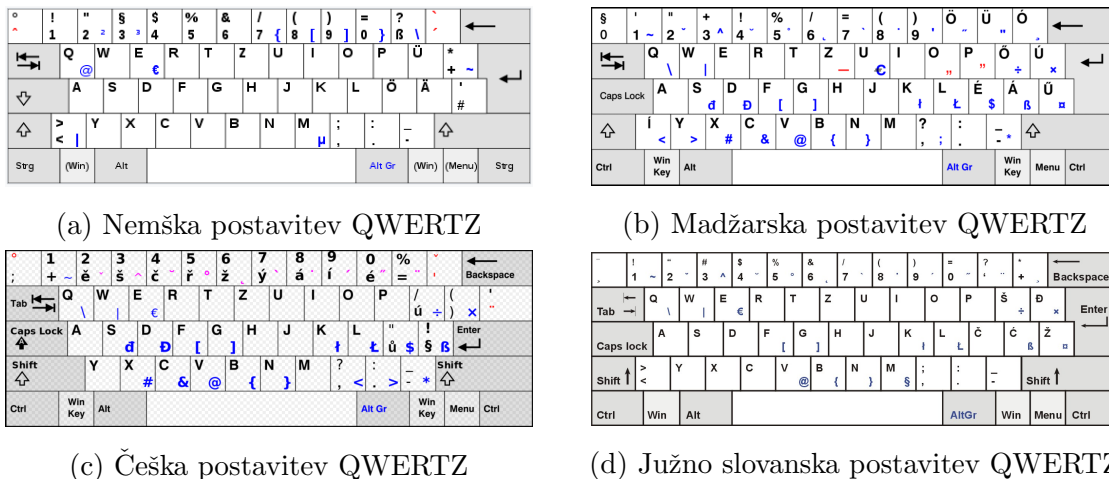
4.2 Tipkovnice

Za namen študije smo pripravili štiri različne postavitev tipkovnic za vnos besedila v virtualnem okolju in sicer: QWERTZ, DVORAK, OPTI in CIRCLE. V naslednjih podpoglavjih so bolj podrobno opisane izbrane različice tipkovnic.

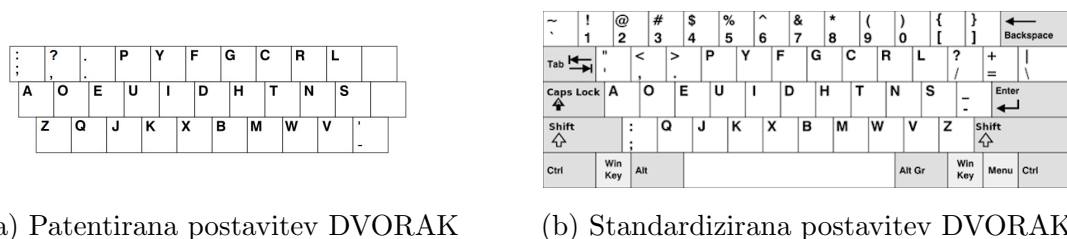
4.2.1 Tipkovnica QWERTZ

Postavitev tipkovnice QWERTZ je izpeljana iz standardne postavitve QWERTY, ki se je uveljavila predvsem v osrednji Evropi. Med letoma 1980 in 1990 je večina držav izdelala svojo različico postavitve QWERTY, ki se je prilagajala govorečemu jeziku oz. je bila opremljena s posebnimi znaki, ki jih le ta ima. Na Sliki 11 je prikazanih nekaj izpeljank iz postavitve QWERTZ, ki jih imamo v Evropi.

Eden od razlogov za uveljavitev postavitve QWERTZ je tudi ta, da je v nekaterih evropskih jezikih prisotnost črke “z” pogostejša od prisotnosti črke “y”. Na primer v besedah nemškega jezika se črka “z” velikokrat pojavi poleg črke “t”, kar je tudi privedlo



Slika 11: Različice postavitve QWERTZ v posameznih državah [9]



Slika 12: Različice postavitve DVORAK [10]

do izbire QWERTZ standardne postavitve tipkovnice. To pomeni, da sta “t” in “z” sosednji črki na tipkovnici, in kar omogoča hitrejša tipkanja. Tipkovnica s QWERTZ postavitvijo tipk, ki se danes uporablja v Sloveniji je bila določena že v času obstoja nekdanje Jugoslavije. Ravno tako kot pri nemškem jeziku se črka “y” ne uporablja in je njena postavitev na sredini tipkovnice brezpredmetna za slovenski jezik [9]. Kot je možno opaziti se postavitve razlikujejo le v dodatnih posebnih znakih.

4.2.2 Tipkovnica DVORAK

DVORAK postavitev tipk sta leta 1936 razvila in patentirala August Dvorak in njegov zet William Dealey [22]. Njun cilj je bil razviti postavitev tipkovnice, ki bi zmanjšala napake pri pisanju, pohitrila pisanje, zmanjšala utrujenost uporabnika in bi predstavljala optimizirano ter ergonomičnejšo alternativo postavitvi QWERTY. Patentirana postavitev tipkovnice je prikazana na Sliki 12a. Skozi desetletja je nastalo kar nekaj različic postavitve DVORAK. Leta 1982 je Ameriški nacionalni inštitut za standarde (orig. American National Standards Institute, ANSI), uveljavil standard za postavitev DVORAK. Kot lahko vidimo na Sliki 12b, se standardizirana različica razlikuje od izvirne patentirane postavitve. Tipkovnica je optimizirana za angleščino, pri čemer naj bi omogočala manjše premike prstov, in posledično hitrejša pisanje [28].

4.2.3 Tipkovnica OPTI

Postavitev OPTI je nastala v sklopu raziskave, ki sta jo vodila Scott MacKenzie in Shawn X. Zhang leta 1999. Postavitev je, ravno tako kot DVORAK, nastala kot optimizirana zamenjava postavitve QWERTY. Ta postavitev je v primerjavi z zgoraj opisanimi in ostalimi predstavljenimi v Poglavju 2.3 tri vrstičnimi postavitvami sestavljena iz 5 vrstic in 7 stolpcev in ima obliko pravokotnika. Kot postavitev DVORAK, je tudi ta optimizirana za angleški jezik. Tipkovnica OPTI je optimizirana tako, da so črke na tipkovnici po bližini razporejene glede na pogostost sosednosti pojavitve v besedah angleškega jezika. Na Sliki 13 lahko za besedo “other” opazimo, da so vse črke na sredini in zaporedni črki sta si na tipkovnici zelo blizu. To je le en primer, kar seveda ne velja za vse besede angleškega jezika. Na tipkovnici lahko najdemo kar 4 presledke, ki so sosednji skoraj vsaki črki razen tistim v sredinskem stolpcu. Ta možnost ponuja veliko prednost pred ostalimi postavitvami, saj lahko z minimalnimi gibi prstov dosežemo prvi najbližji presledek. Rezultati raziskav so pokazali, da lahko s prakso uporabnik piše hitreje in z manj napakami kot na postavitvi QWERTY [11, 46].

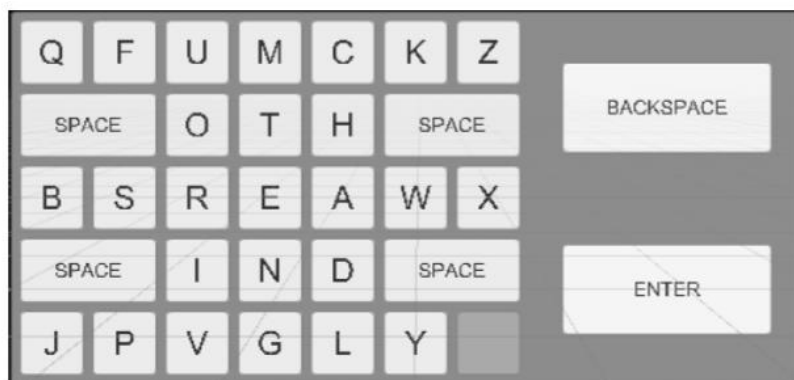


Slika 13: Postavitev tipkovnice OPTI [11].

Ker tipkovnica ne vsebuje tipk “Backspace” (vračalka ali brisalka) in “Enter” (vnašalka) smo ju za potrebe naše raziskave dodali desno od tipkovnice OPTI. Torej na isto stran, kot pri postavitvah QWERTZ in DVORAK. Dopolnjena tipkovnica OPTI, ki smo uporabili za raziskavo je prikazana na Sliki 14.

4.2.4 Tipkovnica CIRCLE

Za razliko od ostalih, je postavitev CIRCLE neoptimizirana, saj vsebuje črke angleške abecede postavljene na krožnici v pravilnem vrstnem redu v smeri urinega kazalca. Dodali smo jo k raziskavi, z namenom, da bi opazovali in primerjali razliko v interakciji z



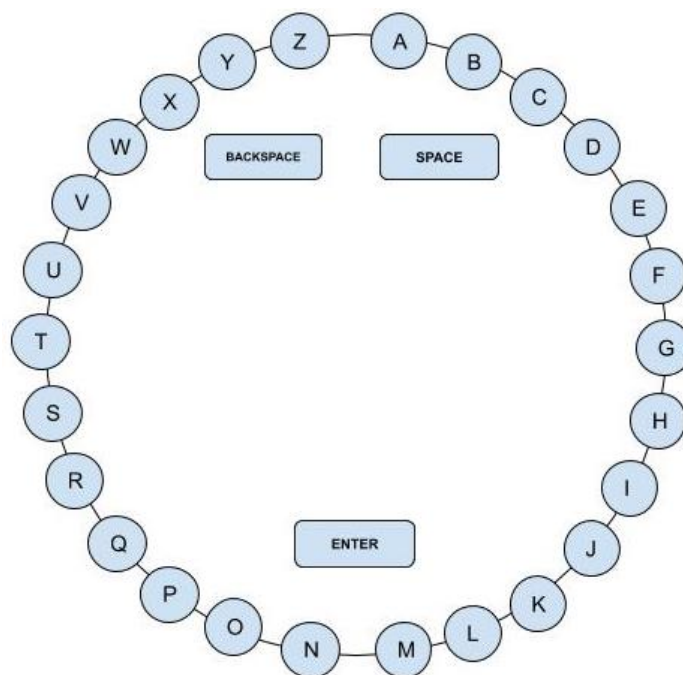
Slika 14: Naša različica postavitve OPTI z znakoma “Backspace” (vračalka ali brisalka) in “Enter” (vnašalka).

ostalimi manj znanimi tipkovnicami. Postavitvi DVORAK in OPTI sta uporabnikom neznani, medtem ko večina uporabnikov pozna vrstni red črk v angleški abecedi. Tipkovnico smo pred raziskavo večkrat spremenili in na koncu oblikovali do postavitve, ki je prikazan na Sliki 15. Slika prikazuje postavitev CIRCLE s tipkami “Backspace” (vračalka ali brisalka), “Enter” (vnašalka) in “Space” (presledek) pomaknjenimi proti sredini krožnice (od tu dalje bomo omenjene tipke klicali z angleškimi imeni, ki so zapisana na njih). Ker so uporabniki večji zaporedja črk v abecedi, smo predpostavili, da bodo kljub večji razdalji med črkami bili hitrejši kot pri nepoznanima postavitvama. V fizični obliki tipkovnica CIRCLE ne bi prišla v poštev, saj je bližina pogosto pojavljajočih se sosednjih črk v besedah pomembna za hitro tipkanje in bi z rokama tipkovnico prekrivali. Medtem ko v virtualnem okolju uporabljamo vnos z upravljalniki in tipkovnice ne prekrivamo, saj je ta postavljena navpično pred uporabnika in je lahko v celoti v njegovem vidnem polju. Poleg tega je predstavljena tipkovnica različica “Piz-zaText” tipkovnice iz [3]. Zaradi navedenega smo mnenja, da bi predlagana tipkovnica lahko privedla do zanimivih rezultatov.

4.3 Izvedba

Vsak udeleženec se je najprej usedel za mizo in izpolnil izjavo za pristop k raziskavi in nato začetni del vprašalnika, ki ga sestavljata dodatno soglasje in kratka predstavitev raziskave. Nato smo posameznemu udeležencu razložili potek raziskave. V tem delu smo jim na kratko opisali različne postavitve tipkovnic s katerimi se bodo srečali. Razložili smo jim, da bodo pri vsaki tipkovnici imeli trening in šele nato testirani v glavnem delu študije, kjer bodo pretipkali nekaj stavkov ter na koncu tipkanja s posamezno tipkovnico izpolnili vprašalnik.

Nato smo uporabnikom na glavo pomagali povezniti naglavni prikazovalnik, dali v



Slika 15: Postavitev tipk CIRCLE, kjer so tipke postavljene po zaporedju angleške abecede v smeri urinega kazalca.

roke upravljalnike in zagnali aplikacijo. Ko so bili v virtualnem okolju smo jim razložili, kako si lahko nastavijo okolje. Udeleženci so lahko med treningom spremenili velikost, višino in razdaljo okna oz. platna z vmesnikom na katerem so se nahajale tipkovnica, polje z besedilom in vnosno polje. V primeru, da so udeleženci želeli spremeniti velikost in oddaljenost tipkovnice v teku študije smo jim to omogočili le, ko so končali s prepisovanjem trenutne fraze in pred začetkom vpisovanja naslednje.

Ko so bili pripravljani, so uporabniki začeli s treningom. Namen treninga je bil, da se spoznajo s postavitvijo posamezne tipkovnice in tudi preizkusili upravljanje z upravljalniki. Pri treningu so morali udeleženci prepisati besedilo, ki se je prikazalo v ustrezno polje. V čim krajšem času in s čim manj napak so morali prepisati pet fraz iz zbirke avtorjev MacKenzieja in Soukoreffa [47, 48]. Izbrane fraze so bile enake za vse postavitve tipkovnice in posledično tudi za vse uporabnike. Po končanem prepisovanju vsake fraze in kliku na tipko "ENTER" so udeleženci imeli možnost kratkega počitka pred nadaljevanjem z novo frazo ali se vrniti nazaj na prejšnjo frazo, če so po nesreči predčasno kliknili na tipko "ENTER". Konec treninga sta označevali besedi "THANK YOU". Po končanem treningu so udeleženci prešli na glavni del študije za posamezno tipkovnico, ki je potekala na enak način kot trening, le da so uporabniki morali prepisati deset fraz. Ker smo pri študiji merili čas vpisovanja, se je le-ta ob prehodu na okno za nadaljevanje ustavil in ob vračanju vpisovanja ponovno zagnal. Na oknu za nadaljevanje uporabniki niso imeli možnosti preveriti fraze, ki so jo do tedaj

prepisovali. Ko so udeleženci končali s prepisovanjem, so izpolnili vprašalnik NASA TLX za dano tipkovnico. Ta postopek so ponovili še za ostale tri postavitve tipkovnice. Tipkovnice so si sledile v določenem vrstnem redu (OPTI, DVORAK, CIRCLE in QWERTZ) tako, da je vsak četrti uporabnik začel študijo s tipkovnico OPTI. Ko so udeleženci zaključili z vsemi postavitvami tipkovnic in vprašalniki so morali izpolniti še splošni del vprašalnika, ki je bil sestavljen iz krajše različice vprašalnika uporabniške izkušnje (UEQ), vprašalnik o oceni slabosti (MSAQ) in še na nekaj primerjalnih ter demografskih vprašanj.

Vsak udeleženec je skupaj s treningom v teku celotne študije moral prepisati: $4 \text{ postavitve} \times (5 \text{ fraz trening} + 10 \text{ fraz študija postavitve}) = 60$ fraz.

Med samo študijo smo se odločili, da bomo zbirali tudi podatke o usmerjenosti pogleda. Zaradi navedenega smo prvotne načrtane smernice dopolnili. Zaznavanje pogleda je potekalo s pomočjo programa iMotions. Implementacija zaznavanja pogleda ni spremenila načina same izvedbe raziskave. Edina razlika v poteku je bila, da smo pred začetkom celotne študije posameznega uporabnika, morali zagovati snemanje v programu iMotions in izvesti kalibracijo za zaznavanje pogleda. Kalibracija je kratek postopek, med katerim uporabnik sledi rdeči piki na zaslonu naglavnega prikazovalnika. V primeru napačne kalibracije so bili primorani vzorec ponoviti, dokler kalibracija ni bila uspešna. Kalibracijo so ponovili osemkrat in to pred vsakim treningom in pred vsakim merjenjem oz. testiranjem. Za implementacijo enkratne kalibracije na začetku študije, bi bilo potrebno spremeniti večji del projekta. Zaradi implementacije po začetku študije smo se odločili, da zaradi nekaj sekundne kalibracije ne bomo spreminjali projekta. Celoten čas, uporabljen za kalibracijo pri celotni študiji v nobenem primeru ni bil daljši od dveh minut na udeleženca.

Kot že predhodno omenjeno, sta kalibracija in uporaba programa iMotions bila le dodatek projektu in nista v nobenem primeru vplivala na osnovne podatke, ki smo jih zbirali tudi v načinu brez beleženja usmerjenosti pogleda. S tem smo le omogočili zbiranje podatkov o usmerjenosti pogleda, ki jih lahko uporabimo za dodatne analize.

5 Rezultati in razprava

V tem poglavju bomo opisali najprej rezultate študije, ki jim bo sledila še razprava o le-teh.

5.1 Rezultati študije

Rezultati študije so razdeljeni v 3 dele oz. analize. Prvi del predstavlja rezultate vpisovanja na izbranih tipkovnicah. V drugem delu so predstavljeni rezultati analize usmerjenosti pogleda pri vpisovanju besedila. Med izvajanjem študije je prišlo do napak, zaradi katerih smo morali izključiti del podatkov, ki tako niso zajeti v končne rezultate sledenja pogleda. V zadnjem delu so predstavljeni rezultati vprašalnikov.

5.1.1 Rezultati vpisovanja besedila v VR

Pri študiji je sodelovalo 31 uporabnikov. Kot omenjeno, so si tipkovnice sledile v rotirajočem določenem vrstnem redu: (i) OPTI, (ii) DVORAK, (iii) CIRCLE in (iv) QWERTZ tako, da je vsak četrti uporabnik začel z isto tipkovnico. V spodnjem primeru je prikazan vrstni red postavitve tipkovnic za vsakega uporabnika.

Primer:

1. uporabnik: (i), (ii), (iii), (iv)
2. uporabnik: (ii), (iii), (iv), (i)
3. uporabnik: (iii), (iv), (i), (ii)
4. uporabnik: (iv), (i), (ii), (iii)
5. uporabnik: (i), (ii), (iii), (iv)
- ...
31. uporabnik: (iii), (iv), (i), (ii)

Eden od ciljev naloge je bilo ugotoviti, katera izmed izbranih tipkovnic je najoptimalnejša pri vnosu besedila v VR in pridobiti odgovor na podani vprašanji:

- (i) ali katera od optimalnejših postavitvev tipk omogoča hitrejšo ali vsaj primerljivo hitro tipkanje brez dolgoročnega predhodnega navajanja na postavitve in

- (ii) ali poznavanje oz. nepoznavanje postavitve tipk na tipkovnici vpliva na število napak pri vnašanju besedila v virtualnem okolju?

V vseh raziskavah na fizičnih tipkovnicah je optimalnejša postavitvev prekašala postavitev QWERTY, a so uporabniki imeli daljše navajanje na alternativno postavitev. V naši študiji uporabniki niso imeli daljšega prilagajanja na določeno tipkovnico. Kljub temu, bi lahko pričakovali, da bi postavitev tipkovnice tri metre pred uporabnikom, celoten pregled nad tipkovnico in bližina pogosto sosednih črk v besedah pri optimiziranih postavitvah imela prednost pred QWERTY. A poznavanje slednje postavitve lahko zelo vpliva na rezultate. Zato se naša hipoteza glasi, kot sledi: *Znana postavitvev QWERTZ predstavlja prednost, kljub manj optimalni postavitvi črk na tipkovnici.*

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati študije. Najprej bomo opisali rezultate o času vpisovanja. Nato sledijo rezultati o hitrosti vpisovanja in še rezultati o storjenih napakah.

5.1.1.1 Čas vpisovanja

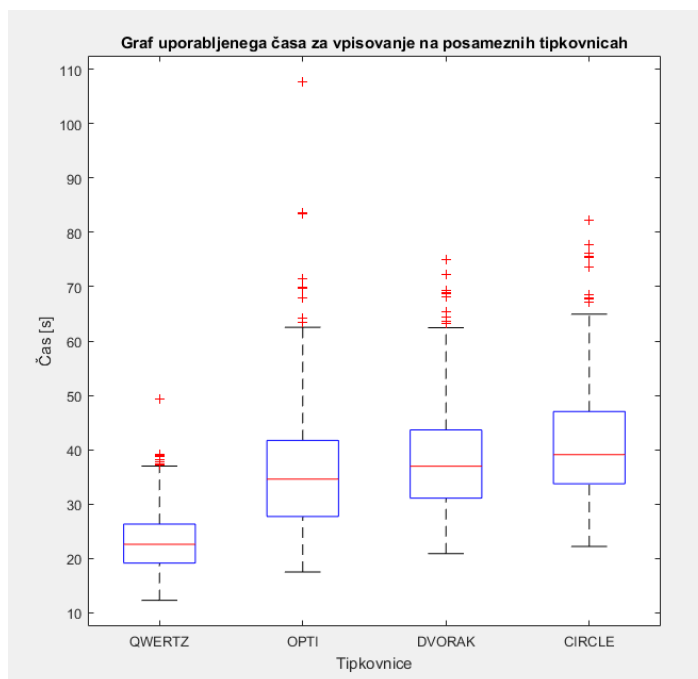
Čas vpisovanja smo definirali kot čas od trenutka, ko je uporabnik začel s prepisovanjem fraze in vnesel prvo črko. Uporabnikom smo omogočili, da so nekaj časa namenili prebiranju posamezne fraze pred samim začetkom vpisovanja. Konec merjenja časa, je označeval trenutek, ko je uporabnik kliknil na tipko "ENTER". V primeru, da se je uporabnik vrnil na že vnešeno frazo po kliku na tipko "ENTER" se je merjenje časa nadaljevalo. Npr. uporabnik je vpisoval frazo 5 sekund, nato je pomotoma med vpisovanjem kliknil na tipko "ENTER", se po 2 sekundah vrnil na vpisovanje fraze, kjer je potreboval še 5 sekund za dokončanje le-te. V tem primeru bo končen uporabljen čas uporabnika 10 sekund.

Potrebno je ponoviti, da po kliku na tipko "ENTER" uporabnik ni več videl vpisovane fraze. Torej uporabnik ni videl ali je storil kakšno napako med vpisovanjem, ki jo bi lahko nato z vračanjem na vpisovanje popravil.

Na Sliki 16 je predstavljen grafikon kvantilov (ang. boxplot) porabljenega časa za prepisovanje na posameznih tipkovnicah. Čas je predvsem odvisen od hitrosti vpisovanja in od popravljanja napak, ki jih je uporabnik storil med vpisovanjem. Popravljanje napak je lahko drastično podaljšalo čas vpisovanja. Primer tega je najvišji osamelec na grafikonu pri tipkovnici OPTI, kjer je uporabnik porabil približno 70 sekund več od povprečnega časa vpisovanja.

Iz grafikona lahko sklepamo, da postavitev tipkovnice vpliva na čas vpisovanja, saj je čas vpisovanja pri bolj znani tipkovnici QWERTZ krajši od časov vpisovanja pri ostalih manj znanih in neznanih tipkovnicah. Z drugimi besedami, lahko sklepamo, da čas vpisovanja na tipkovnicah OPTI, DVORAK in CIRCLE ni statistično različen,

medtem ko se hitrost vpisovanja besedila na tipkovnici QWERTZ statistično razlikuje od ostalih.



Slika 16: Grafikon kvantilov (ang. boxplot) porabljenega časa za prepisovanje na posameznih tipkovnicah.

Z uporabo testa normalnosti (Kolmogorov-Smirnov) nad podatki smo ugotovili, da so podatki nenormalno porazdeljeni, zato smo namesto t-testa neodvisnih vzorcev uporabili Mann-Whitney U test za nadaljnjo analizo. To je tip statičnega testa, ki je podoben t-testu, le da se izvaja za nenormalno porazdeljene podatke. Rezultati nadaljnje statistične analize med vsakima paroma tipkovnic so prikazani v Tabeli 1.

Tabela 1: Rezultati Mann-Whitney U testa primerjave med tipkovnicami.

	OPTI	DVORAK	CIRCLE
QWERTZ	h=1, p=3.5651e-53 ci[-14.2786,-11.3202]	h=1, p=6.3415e-73 ci[-16.5734,-13.8962]	h=1, p= 8.5190e-82 ci[-19.2284,-16.4398]
OPTI		h=1, p=0.0010 ci[-4.1949,-0.6759]	h=1, p=9.5296e-10 ci[-6.8370,-3.2325]
DVORAK			h=1, p=0.0014 ci[-4.2881,-0.9106]

Kljub temu, da so časovni podatki prikazani na Sliki 16 zelo podobni za tipkovnice OPTI, DVORAK ter CIRCLE, rezultati nadaljnje analize z uporabo Mann-Whitney U testa kažejo, da obstaja signifikantna statistična razlika v času vpisovanja med vsakim parom postavitev tipkovnice. Poleg tega smo izvedli še dodatno analizo z uporabo neparametričnega ANOVA testa varianc za neodvisne vzorce oz. bolj natančno Kruskal

Wallis H test. Prav tako kot Mann-Whitney U test, tudi dodatna analiza z neparametričnim ANOVA testom označuje signifikantni vpliv postavitve tipkovnice na čas vpisovanja ($\tilde{\chi}_{7,8147}^2 = 492,76, p = 1,76721e^{-106}$). S tem smo dokazali, da je čas vpisovanja lahko odvisen od postavitve tipkovnice in izkušenj o uporabi le-te tudi v VR okoljih.

Poleg analize celotnega povprečnega časa za vsako od postavitvev tipkovnic smo se odločili, da bomo predstavili še podatke povprečnih časov glede na vrstni red postavitve tipkovnice. Z drugimi besedami, razdelili smo čas v štiri skupine glede na vrstni red vpisovanja za vsako postavitev tipkovnice in nato izračunali povprečno vrednost vsake skupine. Npr. prva vrstica vsebuje povprečne vrednosti časa, ko je bila določena postavitev tipkovnice prva na vrsti za vpisovanje. Rezultati tega so prikazani v Tabeli 2.

Tabela 2: Povprečni čas po vrstnem redu tipkovnice. V vrstici 1. so tako časi, ki je bila določena tipkovnica prva s katero so začeli uporabniki študijo.

	QWERTZ	OPTI	DVORAK	CIRCLE
1	25.4513 ± 5.6839	36.7766 ± 11.8897	37.7958 ± 10.0886	42.8067 ± 8.2209
2	22.5813 ± 4.9440	37.0893 ± 14.3889	36.2555 ± 9.8304	43.8551 ± 12.3789
3	24.0326 ± 5.5239	36.5451 ± 8.9277	41.3834 ± 13.6009	37.4802 ± 9.2106
4	21.6459 ± 6.9213	34.3526 ± 11.9356	39.3028 ± 7.1293	40.5657 ± 12.7717

Iz Tabele 2 je opazna manjša razlika v času vpisovanja glede na vrstni red postavitve tipkovnice, saj lahko pri postavitvi QWERTZ, OPTI in CIRCLE opazimo časovno krajše vpisovanje besedila. Uporabniki so pri teh uporabili manj časa za vpisovanje, ko je bila tipkovnica zadnja po vrsti. Pri DVORAK pa je to ravno obratno, saj so uporabniki uporabili največ časa za vpisovanje, ko je tipkovnica bila tretja ali zadnja po vrsti pri izvajanju študije. Iz teh podatkov ne moremo nikakor trditi, da vrstni red postavitve tipkovnice vpliva na čas vpisovanja.

5.1.1.2 Hitrost vpisovanja: besede na minuto (WPM)

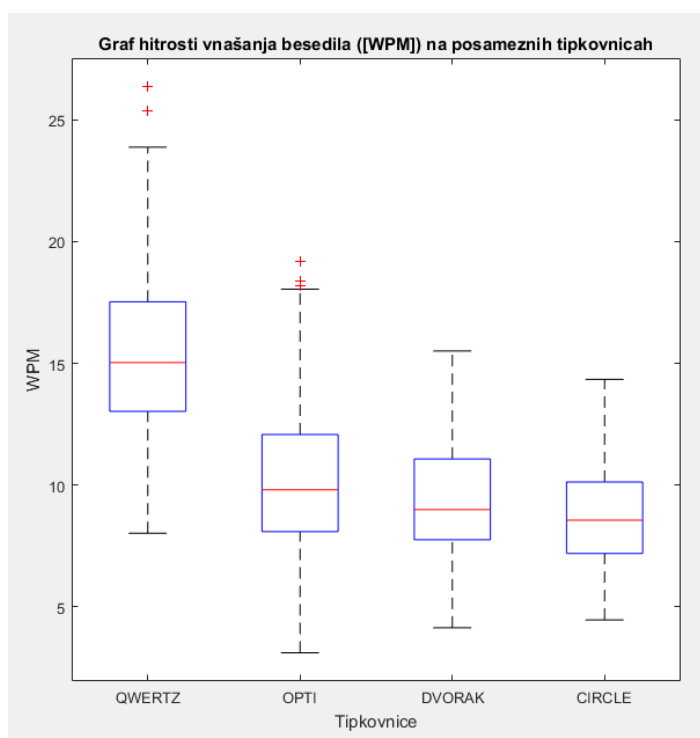
Za izračun WPM smo uporabili naslednjo formulo:

$$WPM = \frac{|besedilo|}{|beseda|} * \frac{1}{čas(s)} * 60$$

Pri izračunu hitrosti vpisovanja (WPM) smo uporabili le končno prepisano frazo in ne celotnega zaporedja vpisanih in izbrisanih znakov. Dolžino prepisane fraze oz. število znakov v prepisani frazi smo najprej delili s povprečno dolžino besede v angleškem jeziku [18]. Povprečna dolžina besede v angleškem jeziku je 5 znakov. S tem smo pridobili povprečno število besed v frazi in to delili še s časom vpisovanja fraze. Rezultat tega je število besed na sekundo (angleško WPS - words per second). Ker

hitrost vpisovanja merimo s številom besed na minuto, je bilo potrebno ta rezultat še pomnožiti s 60. S tem smo dobili končen rezultat WPM (angleško words per minute), ki je bil izračunan za vsako prepisano frazo.

Na Sliki 17 je prikazan grafikon kvantilov (ang. boxplot) rezultata WPM za vsako tipkovnico. Hitrost vpisovanja je precej odvisna od izkušenj z VR in tudi ročnimi spretnostmi posameznika. Že pri izvajanju študije je bilo opazno, da je veliko uporabnikov z VR izkušnjami opravljalo svojo nalogo hitreje od tistih z manj ali brez izkušenj. Manjši in bolj natančni premiki rok pri vpisovanju so prav tako vplivali na hitrost vnašanja besedila. Iz grafa lahko opazimo, da postavitev tipkovnice lahko vpliva na hitrost vpisovanja. Rezultati kažejo, da je povprečna hitrost WPM višja na postavitvi QWERTZ, kot pri ostalih izbranih tipkovnicah. Iz grafa lahko tudi sklepamo, da hitrosti na tipkovnicah OPTI, DVORAK in CIRCLE niso statistično različne, medtem ko se hitrost na tipkovnici QWERTZ statistično razlikuje od ostalih. Povprečna hitrost uporabnikov pri postavitvi QWERTZ znaša 15,24 WPM



Slika 17: Grafikon kvantilov (ang. boxplot).

Nadaljnja statistična analiza z uporabo t-testa neodvisnih vzorcev je predstavljena v Tabeli 3. Ne glede na to, da so hitrosti na postavitvah OPTI, DVORAK in CIRCLE zelo podobne, kot je to vidno na Sliki 17, lahko iz Tabele 3 opazimo, da rezultati t-testa neodvisnih vzorcev kažejo na obstoj signifikantne statistične razlike v hitrosti vpisovanja med vsakim parom postavitvev tipkovnice. Dodatna analiza s parametričnim

Tabela 3: Statistična analiza WPM z uporabo t-testa neodvisnih vzorcev.

	OPTI	DVORAK	CIRCLE
QWERTZ	h=1 p=2.3485e-66 ci[4.5534, 5.5700]	h=1, p=2.5646e-93 ci[5.4820,6.4062]	h=1, p=3.1005e-107 ci[6.0764,6.9773]
OPTI		h=1, p=3.8335e-05 ci[0.4648,1.3002]	h=1, p=3.5702e-1 ci[1.0604,1.8699]
DVORAK			h=1, p=9.5354e-04 ci[0.2380,0.9274]

ANOVA testom varianc označuje signifikantni vpliv postavitve tipkovnice na hitrost vpisovanja ($F_{2,6121} = 364,09$, $p = 2,11907e^{-169}$). Z uporabo teh testov smo dokazali, da je hitrost vpisovanja odvisna od postavitve tipkovnice. Tako kot pri analizi časa, so v Tabeli 4 predstavljene še povprečne vrednosti hitrosti vpisovanja glede na vrstni red začetne postavitve tipkovnice.

Tabela 4: WPM po vrstnem redu tipkovnice.

	QWERTZ	OPTI	DVORAK	CIRCLE
1	13.7706 +- 2.6939	9.9829 +- 2.7338	9.5378 +- 2.3090	8.1716 +- 1.6042
2	15.5416 +- 3.0260	10.1141 +- 3.2263	9.8161 +- 2.1689	8.1853 +- 1.8832
3	14.6862 +- 3.0201	9.7704 +- 2.4232	8.9562 +- 2.7652	9.4725 +- 2.0277
4	16.7858 +- 4.1703	10.8459 +- 3.3736	8.8390 +- 1.7320	9.0766 +- 2.5055

Kot pri Tabeli 2, lahko opazimo razlike v hitrosti vpisovanja glede na vrstni red postavitve tipkovnice. Pri QWERTZ, OPTI in CIRCLE lahko opazimo pohitritev pri vpisovanju besedila, medtem ko pri DVORAK opazimo manjšo upočasnitev glede na vrstni red postavitve tipkovnice pri izvajanju študije. Najbolj opazna razlika je pri postavitvi QWERTZ, kjer je povprečna hitrost večja kar za 3 WPM. Kljub temu, tudi v tem primeru iz podatkov ne moremo trditi, da vrstni red postavitve tipkovnice vpliva na hitrost vpisovanja.

5.1.1.3 Napake in popravljene napake

Napake smo razdelili v dve kategoriji: končne napake in napake pri vpisovanju. Med končne napake štejemo vse razlike med izvorno frazo za prepisovanje in frazo, ki jo je prepisal uporabnik pri študiji. To so bodisi manjkajoči znaki bodisi višek znakov. Z drugimi besedami, končne napake predstavljajo minimalno tekstovno razdaljo med originalno in prepisano frazo (MSD - minimum string distance). S pomočjo tega smo izračunali stopnjo napak po naslednji formuli [49]:

$$\text{stopnja napak} = \frac{MSD(\text{orig.}, p)}{\max(|\text{orig.}|, |p|)} * 100$$

Izračunali smo minimalno tekstovno razdaljo med izvorno (označeno z “orig.”) in prepisano (označeno z “p”) frazo ter nato rezultat delili z največjo dolžino fraze med izvorno in prepisano. Na koncu smo rezultat pomnožili s 100, da smo dobili stopnjo napak v odstotkih. Rezultati stopnje napak so predstavljeni v Tabeli 5. Iz tabele je razvidno, da je pri tipkovnici QWERTZ stopnja napak najnižja, kar pomeni, da je bela večina fraz pravilno prepisanih. Pri CIRCLE pa je ravno obratno; stopnja napak je največja, kar pomeni, da uporabniki v končni prepisani frazi napak niso odpravili.

Med napake pri vpisovanju štejemo vse napake, ki so bile narejene s strani uporabnika med vpisovanjem. To so napake, ki niso bile popravljene, kot tudi tiste, ki so bile popravljene med vpisovanjem posamezne fraze. Pri izračunu popravljenih, nepopravljenih in vseh napak nismo uporabili le izvorne in prepisane fraze, temveč smo potrebovali celotno zaporedje vpisanih znakov. V zaporedju vpisanih znakov so namreč shranjeni vsi znaki oz. tipke, ki jih je uporabnik izbiral med vpisovanjem fraze, tudi “BACKSPACE”. “BACKSPACE” je v zaporedju znakov označen z znakom “←”. Prav tako imamo v zaporedju vpisanih znakov tudi znak pika (“.”). Ta je tretiran kot poseben znak, ki ga je uporabnik pomotoma vpisal v zaporedje, ko je zgrešil katerikoli veljavni znak oz. tipko pri vpisovanju. Ta znak se v nadaljnjih analizi napak ni upošteval. Spodnji primer je naključno izbran iz zbranih podatkov pri študiji in prikazuje izvorno frazo, zaporedje znakov prepisovanja ter končno prepisano frazo.

Primer:

originalna fraza: ‘THE WATER WAS MONITORED DAILY’
sekvenca znakov: ‘TH. ←E WATER .WAS MO.NITORED D...AILY’
končna prepisana fraza: ‘THE WATER WAS MONITORED DAILY’

Iz zgornjega primera lahko opazimo, da je uporabnik pri vpisovanju fraze kar 6-krat zgrešil veljavne znake in enkrat popravljajal frazo. Uporabnik je v tem primeru popravil napačno vpisan znak za presledek in ga zamenjal z ustreznim znakom, kot je razvidno iz primerjave končne fraze z izvorno frazo. Pred izračunom je bilo potrebno zaporedje znakov primerno označiti oz. združiti znake. Znake smo združili v 4 različne skupine, in sicer:

C pravilni znaki v prepisanem besedilu.

INF napake v prepisanem besedilu (ki jih pridobimo s funkcijo minimalne razdalje med originalno in prepisano frazo); to so bodisi manjkajoče črke, bodisi višek črk.

F "BACKSPACE" znaki " ← "

IF znaki ki so v zaporedju znakov in niso v končnem prepisanem besedilu (napačni znaki ki jih je uporabnik popravil).

Ker znak "." ne sodi v nobeno skupino, smo jo pred tem odstranili iz zaporedja znakov in kasneje izvedli ustrezno grupiranje s štetjem znakov. Na Sliki 18 je predstavljeno zaporedje znakov iz prejšnjega primer iz katerega so bile najprej odstranjene pike (".") in nato izvedena ustrezna faza grupiranja črk nad tem.



Slika 18: Zaporedje znakov iz prejšnjega primer iz katerega so bile najprej odstranjene pike (".") in nato izvedena ustrezna faza grupiranja črk nad tem.

Iz primera smo pridobili naslednje vrednosti:

$$C = \text{'THE WATER WAS MONITORED DAILY'} = 29$$

$$INF = \text{'M'} = 1$$

$$F \text{ ' ← ' } = 1$$

$$IF = \text{' ' } = 1$$

Faza združevanja je potekala za vsako sekvenco znakov prepisane fraze, ki so jih uporabniki vpisali v okviru študije. Te rezultate smo uporabili v naslednjih formulah za izračun stopnje nepopravljenih, popravljenih in vseh napak [49]:

$$\text{nepopravljene napake} = \frac{INF}{C + INF + IF} * 100$$

$$\text{popravljene napake} = \frac{IF}{C + INF + IF} * 100$$

$$\text{vse napake} = \frac{INF + IF}{C + INF + IF} * 100$$

Rezultati stopnje nepopravljenih, popravljenih in vseh napak za primer iz Slike 18 lahko vidimo spodaj:

$$\text{nepopravljene napake} = \frac{1}{29 + 1 + 1} * 100 = 3, 23\%$$

$$\text{popravljenе napake} = \frac{1}{29 + 1 + 1} * 100 = 3,23\%$$

$$\text{vse napake} = \frac{1 + 1}{29 + 1 + 1} * 100 = 6,45\%$$

Na enak način smo pridobili še rezultate za vse ostale sekvence znakov prepisanih fraz. Povprečni rezultati, pridobljeni s pomočjo zgornjih formul, in sicer na podlagi podatkov iz raziskave, so prikazani v Tabeli 5. Iz rezultatov lahko takoj opazimo, da se stopnja napak in stopnja nepopravljenih napak razlikujejo, in sicer, stopnja nepopravljenih napak je nižja od stopnje napak. To je predvsem zaradi tega, ker pri stopnji napak primerjamo le izvirno frazo, ki jo je uporabnik prepisoval in končno prepisano frazo, medtem ko pri izračunu stopnje nepopravljenih napak, potrebujemo tudi znake, ki jih ni v končni prepisani frazi (IF znaki). Število IF znakov uporabimo v imenovalcu, kar zniža stopnjo nepopravljenih napak.

Prav tako kot iz stopnje napak lahko iz stopnje nepopravljenih napak opazimo podobne rezultate, a z malo bolj izrazitimi razlikami med postavitvami tipkovnice. Tudi v tem primeru je stopnja nepopravljenih napak najnižja pri postavitvi QWERTZ okrog 0,8 %. Ostale sledijo po vrstnem redu OPTI 0,9 %, DVORAK 1,1 % in CIRCLE 1,2 %. Povprečna stopnja popravljenih napak ravno tako predstavlja zanimiv podatek, saj lahko opazimo, da so uporabniki med vpisovanjem približno enakomerno popravljali napake na vseh postavitvah tipkovnice. Stopnja popravljenih napak se razlikuje le za 0,027 % med najboljšo (QWERTZ) in najslabšo (CIRCLE) postavitvijo tipkovnice.

Iz Tabele 5 lahko opazimo, da je povprečna stopnja vseh napak precej podobna na vseh postavitvah tipkovnice, saj so uporabniki naredili med 4,1 % in 4,5 % vseh napak. Uporabniki so najmanj napak storili na postavitvi QWERTZ. Nato sledijo po vrsti OPTI, DVORAK in na koncu CIRCLE, pri kateri so uporabniki naredili največ napak med vpisovanjem.

Tabela 5: Stopnja napak pri prepisovanju.

	QWERTZ	DVORAK	OPTI	CIRCLE
Stopnja napak	0.8790 +- 2.4227	1.2180 +- 2.9181	0.9884 +- 2.2514	1.3347 +- 2.8325
Nepopravljene napake	0.7944 +- 2.1188	1.0937 +- 2.5547	0.9038 +- 2.0134	1.2077 +- 2.4946
Popravljenе napake	3.2948 +- 0.2244	3.2812 +- 0.2302	3.2883 +- 0.2191	3.2693 +- 0.2329
vse napake	4.0892 +- 2.0276	4.3749 +- 2.4502	4.1920 +- 1.9348	4.4769 +- 2.3919
KSPC	1.1591 +- 0.2021	1.1063 +- 0.1659	1.0879 +- 0.2097	1.0781 +- 0.1309

Poleg napak smo izračunali še vrednost KSPC (ang. Keystrokes per Character), ki predstavlja vrednost klikov tipk na vpisan znak. Z drugimi besedami, koliko klikov na tipke je potrebnih za vpisati en znak [50]. V našem primeru je to 1, saj je potreben le en klik za vpis določenega znaka. Ker se pri vpisovanju fraze lahko uporabnik

zmoti in popravlja vpisano, se ta vrednost lahko poveča. V primeru, da uporabnik ne popravlja prepisanega, bo vrednost enaka 1. Bližja kot je KSCP vrednosti 1, manj popravkov so uporabniki naredili pri prepisovanju. Vrednost KSPC smo izračunali s pomočjo naslednje formule:

$$KSPC = \frac{|sekvenca\ znakov|}{|prepisana\ fraza|}$$

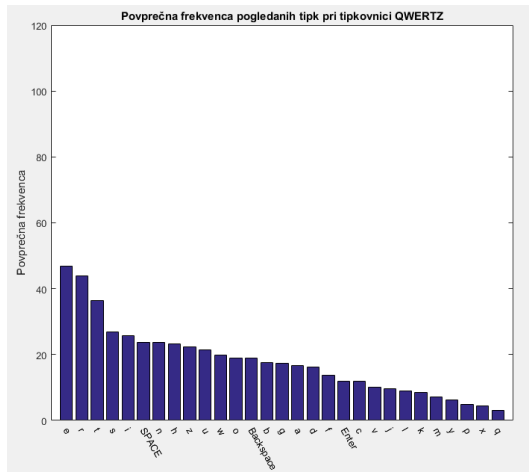
Pri izračunu KSPC smo uporabili dolžino sekvence znakov in to delili z dolžino prepisane fraze. Iz vrednosti KSPC lahko ugotovimo, da je pri vpisovanju uporabnik naredil napake in jih tudi popravil. Iz tega pa ne moremo nikakor sklepati da so v končni prepisani frazi ostale napake. Povprečne vrednosti za vsako tipkovnico so predstavljene v Tabeli 5. Iz omenjenih povprečnih vrednost v tabeli lahko, kljub manjšim razlikam, opazimo, da so uporabniki pri največ napak popravljali pri tipkovnici QWERTZ in najmanj pri tipkovnici CIRCLE. To lahko pomeni, da so uporabniki pri CIRCLE bili bolj previdni pri prepisovanju, kot pri znani postavitvi QWERTZ.

5.1.2 Zaznavanje pogleda v VR

Zaznavanje pogleda se je izvajalo hkrati z glavnim delom študije (vpisovanje na različnih postavitvah tipkovnice v VR) le pri zadnjih 19-ih udeležencih, saj smo to možnost dodali po začetku izvajanja raziskave. Namen dodatne zaznave pogleda je bil pridobiti še dodatne podatke, ki bi jih lahko uporabili v sklopu trenutnega in nadaljnjega dela. Ker smo to dodali med izvajanjem raziskave, je pri prvih štirih udeležencih prišlo do manjših napak zaznavanja, zato smo se odločili da podatkov zaznavanja pogleda le-teh ne bomo vključili v nadaljnjo analizo. Prav tako je potrebno opomniti, da omenjene napake zaznavanja pogleda niso v nobenem primeru oškodovala zaznavanja ostalih podatkov pri izvajanju študije, zato smo ostale podatke vseh udeležencev lahko uporabili pri analizi vpisovanja fraz na tipkovnice.

Nad podatki o zaznavanju pogleda smo izvedli frekvenčno analizo gledanih znakov oz. tipk. Rezultate smo predstavili v obliki frekvenčnih histogramov, ki so vidni na Sliki 19. Frekvenčni histogrami prikazujejo povprečno število opazovanih tipk na uporabnika med izvajanjem študije. Iz frekvenčnih histogramov lahko opazimo, da sta med najbolj gledanimi znaki “e” in “t”, ki sta pri vsaki postavitvi tipkovnice med petimi najpogostejšimi znaki. Razlog v tem je, da v angleščini lahko najdemo “e” in “t” v velikem številu besed. Dober primer besede kjer se nahajata znaka “e” in “t” je beseda “the”, ki je tudi najbolj uporabljena beseda v angleškem jeziku [51–53].

Pri frekvenčnem histogramu postavitve CIRCLE lahko opazimo, da so za razliko od ostalih frekvenčnih histogramov “ENTER”, “BACKSPACE” in “SPACE” precej gledane tipke. Po našem mnenju je razlog temu, da so uporabniki zgolj nehote pogledali te tipke. Ker se te tri tipke nahajajo proti sredini tipkovnice, je lahko uporabnik med



iskanjem tipk pri prehodu iz leve strani na desno stran krožnice tipkovnice, in obratno, spotoma pogledal še kakšno izmed teh tipk, s čemer se je močno povečala frekvenca le-teh. To se je po našem mnenju zgodilo tudi pri postavitvi OPTI, saj med najvišjimi frekvenca v frekvenčnem histogramu najdemo prav tiste črke, ki so na sredini tipkovnice (sredinski kvadrat). Hkrati je povprečna frekvenca črke “e” na tipkovnici CIRCLE precej večja kot pri ostalih postavitvah tipkovnice.

Iz histogramov lahko tudi sklepamo, da poznavanje postavitve tipkovnice močno vpliva na frekvenco pogledanih tipk, kljub pomotnem pogledu nekaterih črk, saj so frekvence pogledanih tipk pri postavitvi QWERTZ precej manjše od ostalih. Na primer, če pogledamo prvo frekvenco z leve, ki je najvišja v vsakem histogramu, lahko vidimo, da je prva frekvenca pri histogramu za QWERTZ skoraj dvakrat manjša od prve frekvence histograma za CIRCLE, skoraj trikrat manjša od prve frekvence histograma za DVORAK in kar več kot trikrat manjša od prve frekvence pri histogramu za tipkovnico OPTI.

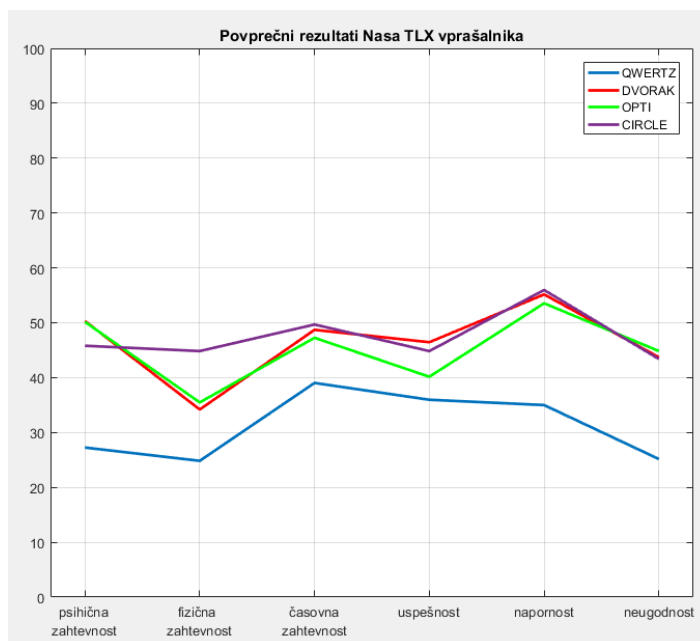
5.1.3 Vprašalniki

V tem podpoglavju so predstavljeni rezultati vprašalnikov. Pri raziskavi smo uporabili vprašalnik NASA TLX, vprašalnik uporabniške izkušnje (ang. user experience questionnaire ali UEQ) in vprašalnik za oceno gibalnih motenj (ang. motion sickness assessment questionnaire ali MSAQ).

5.1.3.1 Vprašalnik NASA TLX

Vprašalnik NASA TLX je subjektivno ocenjevalno orodje za ocenjevanje delovne obremenitve glede na uspešnost izvedbe naloge. Vprašalnik NASA TLX sestavlja 6 subjektivnih vprašanj pri čemer uporabnik oceni obremenitev za dano vprašanje na Likert lestvici. Uporabniki so morali po končanem vpisovanju za vsako postavitev tipkovnice izpolniti vprašalnik. To pomeni, da je uporabnik v celotni raziskavi izpolnil ta vprašalnik štirikrat.

Povprečni rezultati NASA TLX vprašalnika so prikazani na Sliki 20. Lahko opazimo, da je postavitev QWERTZ povzročala manj težav v primerjavi z ostalimi postavitvami tipkovnice. Rezultati za ostale postavitve tipkovnice so si med seboj dokaj podobni. Največja razlika med postavitvami DVORAK, OPTI in CIRCLE je v fizični zahtevnosti, kjer lahko opazimo, da je ocena pri postavitvi CIRCLE višja za 10 % od ostalih dveh. To je tudi razumljivo, saj so znaki na postavitvi CIRCLE zelo oddaljeni med seboj, kar je tudi razlog da so uporabniki morali delati daljše premike pri vpisovanju fraz.



Slika 20: Rezultati vprašalnika NATA TLX.

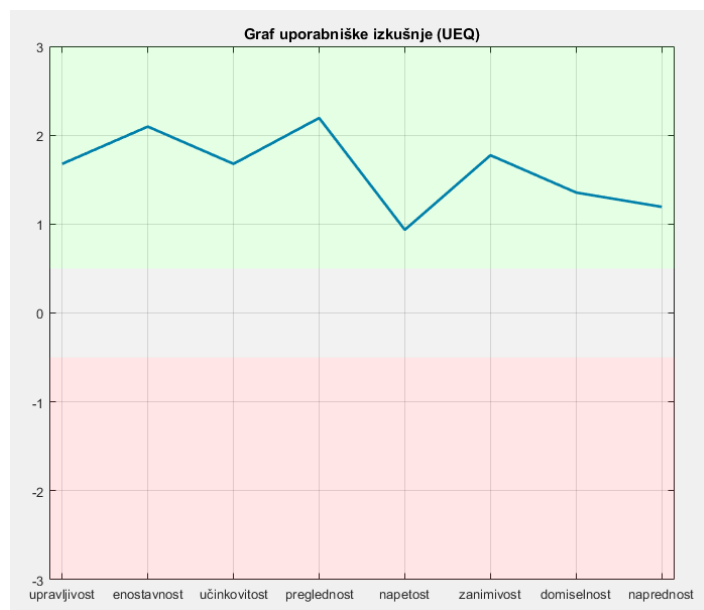
5.1.3.2 Vprašalnik uporabniške izkušnje UEQ

Vprašalnik uporabniške izkušnje je orodje, ki omogoča pridobitev uporabniškega subjektivnega mnenja o opravljeni nalogi, študiji, ipd. Vprašalnik sestavljajo vprašanja s katerimi merimo privlačnost, pronicljivost, učinkovitost, zanesljivost, stimulativnost in novost [54]. Za potrebe naše študije smo uporabili skrajšano različico vprašalnika. Vprašalnik je sestavljen le iz osmih vprašanj za razliko od celotnega vprašalnika, ki je sestavljen iz 26 vprašanj [54]. Vsak udeleženec je po končani študiji na vseh tipkovnicah izpolnil vprašalnik uporabniške izkušnje za celotno študijo.

Graf na Sliki 21 prikazuje povprečne rezultate za vsako od osmih vprašanj. Graf smo razdelili na barvna območja, ki označujejo značaj uporabniške izkušnje. To pomeni: pozitivno uporabniško izkušnjo označuje barvno območje zelene barve, nevtralno uporabniško izkušnjo označuje območje sive barve in nazadnje še negativno uporabniško izkušnjo označuje območje rdeče barve. Iz grafa je razvidno, da so rezultati vprašalnika uporabniške izkušnje zelo pozitivni, saj se povprečne vrednosti za vsako od vprašanj nahajajo v zelenem območju.

5.1.3.3 Vprašalnik MSAQ

Vprašalnik MSAQ se uporablja za oceno nelagodnosti pri opravljanju nalog. Vprašalnik sestavlja 16 vprašanj pri katerih lahko na devet-stopenjski lestvici posameznik poda oceno za slabost oz. počutje za določeno vprašanje. Ta vprašanja lahko razdelimo v štiri skupine nelagodja, med katerimi so prebavne motnje, osrednje motnje, periferne



Slika 21: Rezultati vprašalnika UEQ.

motnje in motnje povezane z utrujenostjo. Nižje kot so ocene boljše se je uporabnik počutil.

Rezultat ocene nelagodja pri izvajanju študije znaša v povprečju 23,21 % s standardnim odklonom 12,05 %. Na enak način smo pridobili rezultate še za posamezne skupine, in so naslednji:

- prebavne motnje : 18,2796 % \pm 8,1705
- osrednje motnje : 20,7168 % \pm 13,7393
- periferne motnje : 26,8817 % \pm 18,1687
- motnje povezane z utrujenostjo : 28,4946 % \pm 18,5088

5.2 Razprava

Predstavljeni rezultati iz prejšnjih podpoglavij jasno nakazujejo prednost QWERTZ pred ostalimi postavitvami tipkovnice DVORAK, OPTI in CIRCLE. Prednost postavitve QWERTZ je najbolj vidna pri času in hitrosti vpisovanja, saj lahko iz grafikonov kvantilov (ang. boxplot) opazimo največje razlikovanje od ostalih postavitev, kar je podkrepljeno z dodatno statistično analizo. Tudi pri zaznavanju pogleda je možno ugotoviti, da poznavanje tipkovnice QWERTZ vpliva na frekvenco opazovanih znakov, saj je ta precej nižja od ostalih postavitev.

Iz rezultatov povprečnih stopenj napak pa je videti, da so te razlike manjše, saj je povprečna stopnja napak pri vseh tipkovnicah zelo podobna, tj. med 4 % in 4,5 %. Iz

tega je možno ugotoviti, da ne glede na to ali je tipkovnica znana ali je neznana, uporabniki naredijo približno enako število napak. Po našem mnenju se to dogaja predvsem takrat, ko uporabnik želi v čim krajšem času čim več napisati in pri tem pomotoma vpiše napačen znak ali pa med vpisovanjem kakšnega izpusti. Enako velja tudi za stopnjo popravljenih napak, kjer je zelo majhna razlika med najboljšo postavitvijo QWERTZ in najslabšo postavitvijo CIRCLE, ki znaša le 0,027 %. Kljub tem manjšim razlikam lahko opazimo kar večje razlike pri stopnji napak in stopnji nepopravljenih napak. Te prav tako potrjujejo prednost tipkovnice QWERTZ pred ostalimi.

KSPC vrednost nam pove, da je uporabnik med vpisovanjem fraze popravlja napake. Večja kot je vrednost več popravkov je bilo izvedenih. Iz rezultatov smo opazili, da so v povprečju uporabniki največ napak popravili pri postavitvi QWERTZ in najmanj pri CIRCLE. Ta vrednost ni v odstotkih (%) in nakazuje popolnoma drugačen rezultat, ki smo ga pridobili iz povprečne stopnje popravljenih napak. Ta podatek lahko interpretiramo tudi kot nepazljivost uporabnika pri vpisovanju, saj so bili uporabniki pri znani postavitvi QWERTZ manj pazljivi in so hitreje vpisovali besedilo. Kot vemo, hitrost pri tipkanju lahko vpliva na število napak. Ker so uporabniki pri manjši pazljivosti opazili napake "prepozno", so potrebovali več klikov za popraviti le-te. To je po našem mnenju razlog za takšno vrednost KSPC pri postavitvi QWERTZ. Ker so bili uporabniki pri ostalih manj znanih ali neznanih postavitvah tipkovnice bolj pazljivi, so narejene napake prej opazili in jih tudi prej popravili, zato je KSPC v tem primeru bližja 1.

Podobne rezultate prikazuje tudi graf povprečnih rezultatov NASA TLX vprašalnika, kjer lahko opazimo povprečno subjektivno oceno nelagodja za vsako od postavitev tipkovnic. QWERTZ je tudi tukaj označena za najboljšo oz. najmanj obremenljivo.

Kot že omenjeno, rezultati v celoti nakazujejo na prednost tipkovnice QWERTZ in s tem tudi potrjujejo začetno hipotezo o prednosti znane postavitve nad manj znanimi oz. neznanimi postavitvami tipkovnice.

6 Zaključek

V magistrskem delu smo predstavili raziskavo o vpisovanju besedila na različnih postavitvah tipkovnice. Opisan je celoten proces priprave in izvedbe raziskave ter na koncu so še opisani rezultati in ugotovitve. Namen dela je bil raziskati vpliv različnih postavitv tipkovnic na vnos besedila pri uporabi le-teh v virtualnem okolju. V sklopu raziskave smo primerjali znano postavitev standardne tipkovnice QWERTZ z ostalimi manj znanimi oz. neznanimi tipkovnicami DVORAK, OPTI in CIRCLE. Uporabili smo sistem tipkanja, ki se je izkazal za najboljšega v eni izmed preučeni študij [1]. Rezultati so pokazali, da je kljub optimalnejšim postavitvam tipkovnice, ki je v celoti v uporabnikovem vidnem polju in je ne zakriva z rokama, kot se to dogaja pri fizični tipkovnici, tipkovnica QWERTZ hitrejša za uporabo.

V študiji so sodelovali uporabniki postavitv QWERTZ in QWERTY. To pomeni, da so jim bile pred pričetkom študije ostale tipkovnice povsem neznane. Menimo, da bi lahko dodatna študija, kjer bi sodelovali uporabniki, ki bi imeli določene izkušnje z izbranimi postavitvami tipkovnice, vplivala na rezultate. To pomeni, da bi lahko v našem primeru v dodatni študiji sodelovali dolgoročni uporabniki postavitv QWERTZ ali QWERTY, DVORAK, OPTI in CIRCLE. Ta dodatna študija bi lahko pokazala rezultate, ki bi lahko bili različni in seveda tudi bolj primerljivi, saj bi poznavanje postavitv tipkovnic bilo bolj uravnoteženo. Kljub temu se zavedamo, da bi bilo to težko izvedljivo, saj je dolgoročnih uporabnikov postavitve DVORAK veliko manj kot QWERTZ / QWERTY in dolgoročnih uporabnikov postavitve OPTI še manj ali pa jih sploh ni. Ker smo tipkovnico CIRCLE uporabili le za potrebe naše študije, uporabnikov te postavitve sploh ni, zato bi se lahko v dodatni študiji omejili le na postavitve QWERTZ / QWERTY, DVORAK in OPTI.

Iz anekdotičnih zgodb [30] lahko preberemo, da je učenje postavitve DVORAK precej enostavno, saj so uporabniki v šestih urah lahko že izenačili in nekateri tudi povečali hitrost pisanja v primerjavi s postavitvijo QWERTY. Podatka o času učenja za postavitev OPTI sicer nimamo, ampak glede na narejeno raziskavo lahko sklepamo, da je ta tudi precej nizek. Zato lahko menimo, da bi bila ena od možnih rešitev prej omenjene težave, da bi vsak bodoči uporabnik prejel dan prej sliko tipkovnic na katerih bo testiran ali pa bi izvedli trening v več fazah, tako da bi lahko uporabnik imel v obeh primerih več časa za spoznavanje posamezne postavitve tipk. Seveda za postavitev DVORAK to ni težava, saj jo lahko na vsakem računalniku nastavimo kot privzeto, ker je enake oblike kot tipkovnica QWERTZ in je potrebno obstoječe znake

le prekriti oziroma ustrezno označiti s postavitvijo DVORAK ali pa kupiti tipkovnice DVORAK. Večjo težavo predstavlja tipkovnica OPTI, ki ima popolnoma drugačno obliko in jo je skoraj nemogoče dobiti v fizični različici. V primeru, da bi lahko pridobili fizične primerke izbranih postavitvev tipkovnice, bi lahko postopek spoznavanja postavitvev potekal na le-teh.

Z izvedeno raziskavo smo pridobili odgovore na zastavljena vprašanja. Kljub temu, lahko s prihodnjimi študijami in z večjo osredotočenostjo na prilagajanje na optimalnejše postavitve tipkovnic na tem področju z ustreznimi izboljšavami pridobimo različne odgovore na zastavljena vprašanja in tudi na vprašanja, na katera se v tem magistrskem delu nismo osredotočili.

7 LITERATURA IN VIRI

- [1] M. Speicher, A. M. Feit, P. Ziegler, and A. Krüger, “Selection-based text entry in virtual reality,” in *Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems*, (New York, NY, USA), pp. 1–13, Association for Computing Machinery, 2018. Number of pages: 13. (*Citirano na straneh VII, 4, 7, 15 in 38.*)
- [2] C. Boletsis and S. Kongsvik, “Text Input in Virtual Reality: A Preliminary Evaluation of the Drum-Like VR Keyboard,” *Technologies*, vol. 7, p. 31, June 2019. Number: 2 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. (*Citirano na straneh VII in 5.*)
- [3] D. Yu, K. Fan, H. Zhang, D. Monteiro, W. Xu, and H.-N. Liang, “PizzaText: Text Entry for Virtual Reality Systems Using Dual Thumbsticks,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 24, pp. 2927–2935, Nov. 2018. Conference Name: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. (*Citirano na straneh VII, 6 in 20.*)
- [4] A. Somrak, “Oculus Rift NewReality.” <https://newreality.si/oculus-rift/>, Mar. 2018. (*Citirano na straneh VII in 11.*)
- [5] “PlayStation VR | Doživite igranje z naglavnim kompletom PS VR.” <https://www.playstation.com/sl-si/ps-vr/>. (*Citirano na straneh VII in 12.*)
- [6] N. Pino, “PlayStation VR review.” <https://www.techradar.com/reviews/gaming/playstation-vr-1235379/review>, June 2021. (*Citirano na straneh VII in 12.*)
- [7] “Samsung Gear VR Solutions and Tips.” <https://www.samsung.com/au/support/model/SM-R323NBKAXSA/>. (*Citirano na straneh VII, 12 in 13.*)
- [8] A. Somrak, “HTC Vive NewReality.” <https://newreality.si/htc-vive/>, Mar. 2017. (*Citirano na straneh VII, 13 in 14.*)
- [9] “QWERTZ.” <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=QWERTZ&oldid=1056950953>, Nov. 2021. Page Version ID: 1056950953. (*Citirano na straneh VII in 18.*)

- [10] “Dvorak keyboard layout.” https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Dvorak_keyboard_layout&oldid=1056951006, Nov. 2021. Page Version ID: 1056951006. (*Citirano na straneh VII in 18.*)
- [11] I. S. MacKenzie and S. X. Zhang, “The design and evaluation of a high-performance soft keyboard,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, (New York, NY, USA), pp. 25–31, Association for Computing Machinery, May 1999. (*Citirano na straneh VII, 7, 8 in 19.*)
- [12] J. Casale, “George M. Phelps: Master Telegraph Instrument Maker and Inventor.” <http://www.telegraph-history.org/george-m-phelps/index.html>. (*Citirano na strani 1.*)
- [13] K. Yasuoka and M. Yasuoka, “On the Prehistory of QWERTY,” Institute for Research in Humanities Kyoto University, 2011. (*Citirano na strani 1.*)
- [14] J. Edlin, “The PC’s keys,” *PC Mag*, pp. 175–178, Nov. 1982. Google-Books-ID: vy3cBZkjbZgC. (*Citirano na strani 1.*)
- [15] “Virtual reality.” https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Virtual_reality&oldid=1056927434, Nov. 2021. Page Version ID: 1056927434. (*Citirano na strani 3.*)
- [16] K. Sheikh, “Beyond Gaming: 10 Other Fascinating Uses for Virtual-Reality Tech.” <https://www.livescience.com/53392-virtual-reality-tech-uses-beyond-gaming.html>, Jan. 2016. (*Citirano na strani 3.*)
- [17] V. Rajanna and J. P. Hansen, “Gaze typing in virtual reality: impact of keyboard design, selection method, and motion,” *Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 2018. (*Citirano na strani 4.*)
- [18] A. S. Arif and W. Stuerzlinger, “Analysis of text entry performance metrics,” in *2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity (TIC-STH)*, pp. 100–105, Sept. 2009. (*Citirano na straneh 4 in 26.*)
- [19] C.-M. Karat, C. Halverson, D. Horn, and J. Karat, “Patterns of entry and correction in large vocabulary continuous speech recognition systems,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, (New York, NY, USA), pp. 568–575, Association for Computing Machinery, May 1999. (*Citirano na strani 7.*)

- [20] R. U. Ayres and K. Martínás, “120 wpm for very skilled typist,” *On the reappraisal of microeconomics: Economic growth and change in a material world*, p. 41, 2005. Publisher: Edward Elgar Publishing. (*Citirano na strani 7.*)
- [21] C. M. Brown, *Human-Computer Interface Design Guidelines*. Norwood, N.J: Ablex Pub, July 1988. (*Citirano na strani 7.*)
- [22] R. C. Cassingham, *Dvorak Keyboard: The Ergonomically Designed Keyboard, Now an American Standard*. Arcata, Calif: Freelance Communications, first edition ed., Mar. 1986. (*Citirano na straneh 7 in 18.*)
- [23] “Colemak.” <https://colemak.com/>. (*Citirano na strani 7.*)
- [24] O. Bucão, “Workman Keyboard Layout.” <https://workmanlayout.org/>, Sept. 2010. (*Citirano na strani 7.*)
- [25] “Neo - ergonomically optimized keyboard for German language.” <https://www.neo-layout.org/>. (*Citirano na strani 7.*)
- [26] “Disposition de clavier francophone et ergonomique bépo.” <http://bepo.fr/wiki/Accueil>. (*Citirano na strani 7.*)
- [27] M. Krzywinski, “Carpalx: keyboard layout optimizer.” <http://bepo.fr/wiki/Accueil>. (*Citirano na strani 8.*)
- [28] R. Cassingham, “The Dvorak Keyboard: the Basics.” <https://www.dvorak-keyboard.com>. (*Citirano na straneh 8 in 18.*)
- [29] J. Porter, “I’ve used Dvorak for 10 years, and I’m here to tell you it’s not all that.” <https://www.theverge.com/2019/2/17/18223384/dvorak-qwerty-keyboard-layout-10-years-speed-ergonomics>, Feb. 2019. (*Citirano na strani 8.*)
- [30] “The Dvorak Keyboard.” <http://www.mit.edu/~jcb/Dvorak/>. (*Citirano na straneh 8 in 38.*)
- [31] I. S. Mackenzie, S. X. Zhang, and R. W. Soukoreff, “Text entry using soft keyboards,” *Behaviour & Information Technology*, vol. 18, pp. 235–244, Jan. 1999. Publisher: Taylor & Francis eprint: <https://doi.org/10.1080/014492999118995>. (*Citirano na strani 8.*)
- [32] 조향준, *Comparing QWERTY and Dvorak Keyboard Speed: a Pilot Study*. Thesis, 서울대학교 대학원, 2014. Accepted: 2017-07-14T02:57:26Z Artwork Medium: application/pdf Interview Medium: application/pdf Journal Abbreviation: QWERTY와 드보락 키보드의 속도 비교: 시험 연구. (*Citirano na strani 8.*)

- [33] B. Solomon, “Facebook Buys Oculus, Virtual Reality Gaming Startup, For \$2 Billion.” <https://www.forbes.com/sites/briansolomon/2014/03/25/facebook-buys-oculus-virtual-reality-gaming-startup-for-2-billion/>. Section: Investing. (*Citirano na strani 10.*)
- [34] I. Goradia, J. Doshi, and L. Kurup, “A review paper on oculus rift & project morpheus,” *International Journal of Current Engineering and Technology*, vol. 4, no. 5, pp. 3196–3200, 2014. Publisher: Citeseer. (*Citirano na strani 11.*)
- [35] “PlayStation VR.” https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=PlayStation_VR&oldid=1053257561, Nov. 2021. Page Version ID: 1053257561. (*Citirano na strani 12.*)
- [36] A. Souppouris, “Sony’s Project Morpheus is now ‘PlayStation VR.’” <https://www.engadget.com/2015-09-15-project-morpheus-is-now-playstation-vr.html>, Sept. 2015. (*Citirano na strani 12.*)
- [37] “Samsung Gear VR.” https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Samsung_Gear_VR&oldid=1057237938, Nov. 2021. Page Version ID: 1057237938. (*Citirano na strani 12.*)
- [38] A. Somrak, “Samsung Gear VR NewReality.” <https://newreality.si/samsung-gear-vr/>, Mar. 2018. (*Citirano na strani 12.*)
- [39] “HTC Vive.” https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=HTC_Vive&oldid=1055206718, Nov. 2021. Page Version ID: 1055206718. (*Citirano na strani 13.*)
- [40] “VIVE | Next-level VR Headsets and Apps.” <https://www.vive.com/us/www.vive.com/us/>. (*Citirano na strani 13.*)
- [41] “Unity (game engine).” [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Unity_\(game_engine\)&oldid=1057101751](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Unity_(game_engine)&oldid=1057101751), Nov. 2021. Page Version ID: 1057101751. (*Citirano na strani 14.*)
- [42] U. Technologies, “Unity Real-Time Development Platform.” <https://unity.com/>. (*Citirano na strani 14.*)
- [43] “SteamVR on Steam.” <https://store.steampowered.com/app/250820/SteamVR/>. (*Citirano na strani 14.*)
- [44] “SteamVR Plugin | Integration | Unity Asset Store.” <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647>. (*Citirano na strani 14.*)

- [45] “iMotions: Unpack Human Behavior.” <https://imotions.com/>. (*Citirano na strani 15.*)
- [46] S. Zhai, M. Hunter, and B. A. Smith, “The metropolis keyboard - an exploration of quantitative techniques for virtual keyboard design,” in *Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '00, (New York, NY, USA), pp. 119–128, Association for Computing Machinery, Nov. 2000. (*Citirano na strani 19.*)
- [47] I. S. MacKenzie and R. W. Soukoreff, “Phrase sets for evaluating text entry techniques,” in *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '03, (New York, NY, USA), pp. 754–755, Association for Computing Machinery, Apr. 2003. (*Citirano na strani 21.*)
- [48] I. S. MacKenzie and R. W. Soukoreff, “Phrase sets for evaluating text entry techniques - Repository.” <http://www.yorku.ca/mack/PhraseSets.zip>, Apr. 2003. (*Citirano na strani 21.*)
- [49] R. W. Soukoreff and I. S. MacKenzie, “Metrics for text entry research: an evaluation of MSD and KSPC, and a new unified error metric,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, (New York, NY, USA), pp. 113–120, Association for Computing Machinery, Apr. 2003. (*Citirano na straneh 28 in 30.*)
- [50] I. S. MacKenzie, “KSPC (Keystrokes per Character) as a Characteristic of Text Entry Techniques,” in *Human Computer Interaction with Mobile Devices* (F. Paternò, ed.), Lecture Notes in Computer Science, (Berlin, Heidelberg), pp. 195–210, Springer, 2002. (*Citirano na strani 31.*)
- [51] “Oxford Languages | The Home of Language Data.” <https://languages.oup.com/>. (*Citirano na strani 32.*)
- [52] “Oxford English Corpus search | Sketch Engine.” <https://www.sketchengine.eu/oxford-english-corpus/>, June 2015. (*Citirano na strani 32.*)
- [53] “Most common words in English.” https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Most_common_words_in_English&oldid=1045675889, Sept. 2021. Page Version ID: 1045675889. (*Citirano na strani 32.*)
- [54] “User Experience Questionnaire (UEQ).” <https://www.ueq-online.org/>. (*Citirano na strani 35.*)