

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Optimalizace grafického zpracování s ohledem na uživatele
s poruchami barvocitu

Bc. Pavlína Chroboková

Diplomová práce

2021

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavlína Chroboková**
Osobní číslo: **C19522**
Studijní program: **N0531A130013 Polygrafie**
Studijní obor: **Polygrafie**
Téma práce: **Optimalizace grafického zpracování s ohledem na uživatele s poruchami barvocitu**
Zadávací katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

Zásady pro vypracování

1. S využitím odborné literatury a dalších dostupných zdrojů představte poruchy barvocitu, popište existující přístupy minimalizující omezení vizuálního vnímání informací lidmi s poruchou barvocitu a zpracujte přehled nástrojů využívaných k tomuto účelu.
2. Analyzujte vizuální prezentaci vybrané organizace a navrhnete její optimalizaci s ohledem na přístupnost pro uživatele s poruchou barvocitu. Využijte přitom vizuální hodnocení zahrnující pozorovatele s poruchou barvocitu.
3. Získané poznatky a navržená řešení diskutujte.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Markéta Držková, Ph.D.**
Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání diplomové práce: **26. února 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **7. května 2021**

L.S.

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem Optimalizace grafického zpracování s ohledem na uživatele s poruchami barvocitu jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 16. 7. 2021

Pavλίna Chroboková

Diplomová práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

**MS
MT**
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Děkuji vedoucí práce Ing. Markétě Držkové, Ph.D., za pomoc a věcné připomínky, které mi během práce poskytovala. Mé poděkování patří též Ing. Michalovi Černému, Ph.D., za možnost zapůjčení Farnsworth–Munsellova 100 hue testu a konzultaci výsledků tohoto testu. Dále bych chtěla poděkovat za možnost spolupráce na projektu OpenDataLab. V neposlední řadě patří poděkování všem respondentům, kteří se zúčastnili testu barvocitu a vyhodnocení grafických dat v experimentální části.

ANOTACE

Tato diplomová práce pojednává o přípravě grafických dat pomocí univerzálního designu tak, aby byla vhodná jak pro pozorovatele s normálním barevným viděním, tak pro čtenáře s poruchou barvocitu. Uvádí přehled pojmů jako barva a je zde více rozebrána stavba oka. Dále jsou zde rozebrány poruchy barevného vidění, softwarové a hardwarové simulace a příprava grafických dat pomocí univerzálního designu pro čtenáře s poruchou barvocitu. V experimentální části došlo nejdříve k analýze grafických dat s použitím simulátorů, které identifikovaly problém čitelnosti v grafice. Následovala optimalizace přípravy grafických dat pomocí simulátorů. Na základě připravených grafických dat respondenti s poruchou barevného vidění posuzovali barevnou rozlišitelnost grafiky, rychlost orientace a přesnost simulátorů. Jako kontrolní vzorek pak respondenti s dobrým barvocitem posoudili, jestli je navržená grafika vhodná i pro ně a nějak je neruší. Práce se simulátory byla efektivní a pomáhala při navrhování univerzálního designu.

KLÍČOVÁ SLOVA

porucha barvocitu, simulátory poruch barevného vidění, příprava grafických podkladů, principy univerzálního designu

TITLE

Optimization of graphic design with regard to users with colour vision deficiency

ANNOTATION

This diploma thesis deals with the processing of graphics using a universal design, which does not decrease readability for people with normal eyesight while being more convenient for people with colour vision deficiency. There are mentioned terms like colour and structure of the eye is discussed in more detail. Furthermore, colour vision disorders, software and hardware simulations and preparation of graphic data using a universal design for readers with colour vision disorders are discussed. In the experimental part, there were analysis of graphical data using simulators, which identified the problem with graphics readability. Next step was optimisation and preparation of graphical data using simulators. Based on the graphic data prepared using graphic programs and simulators, respondents with colour vision disorders assessed the colour differentiability of the graphics, the speed of orientation and the accuracy of the simulators. In addition, the respondents with a good colour vision assessed whether the

proposed graphics are suitable for them and do not disturb them in any way. Working with simulators was effective and helped in creating universal design.

KEYWORDS

colour blindness, colour blindness simulators, preparation of graphic data, principles of universal design

Obsah

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Barva..... | 22 |
| 1.1 | Absolutní a relativní atributy barev | 23 |
| 2 | Stavba oka a zpracování vizuálního signálu | 25 |
| 2.1 | Stavba oka..... | 25 |
| 2.1.1 | Vnější blána | 26 |
| 2.1.2 | Střední blána | 26 |
| 2.1.3 | Vnitřní blána | 27 |
| 2.1.3.1 | Sítnice | 27 |
| 2.1.4 | Přední a zadní segment | 31 |
| 2.2 | Zpracování vizuálního signálu..... | 32 |
| 3 | Poruchy barevného vidění | 33 |
| 3.1 | Rozdělení defektů barevného vidění..... | 34 |
| 3.1.1 | Achromatopsie a monochromazie | 35 |
| 3.1.2 | Dichromazie..... | 35 |
| 3.1.3 | Anomální trichromazie | 36 |
| 3.2 | Příčiny poruchy barvocitu a barvosleposti..... | 37 |
| 3.3 | Testy defektů barevného vidění..... | 39 |
| 3.3.1 | Testy používané u lékařů | 41 |
| 3.3.1.1 | Ishiharův test..... | 41 |
| 3.3.1.2 | Test HRR | 43 |
| 3.3.1.3 | Test Medmont C-100 | 43 |
| 3.3.1.4 | Farnsworth–Munsellův 100 hue test..... | 44 |
| 3.3.1.5 | Test Farnsworth D15 | 44 |
| 3.3.1.6 | Další testy | 45 |
| 3.3.1.7 | Doporučené osvětlení testů barevného vidění | 45 |
| 3.3.2 | Softwarové testy | 45 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.3.2.1 | Testy odvozené od Farnsworth–Munsella 100 hue testu..... | 45 |
| 3.3.2.2 | Ishiharův 38 Plates Test..... | 46 |
| 3.3.2.3 | Aplikace Color Blind Check..... | 46 |
| 3.3.2.4 | Aplikace vyvinutá M. Divilkem | 46 |
| 4 | Softwarová a hardwarová simulace | 48 |
| 4.1.1 | Softwarová simulace..... | 49 |
| 4.1.1.1 | Vischeck..... | 49 |
| 4.1.1.2 | Color Universal Design (CUD) a Adobe..... | 50 |
| 4.1.1.3 | Color Oracle..... | 50 |
| 4.1.1.4 | Fiji..... | 51 |
| 4.1.1.5 | Webové nástroje na simulaci barev | 51 |
| 4.1.2 | Hardwarová simulace | 51 |
| 4.1.2.1 | LCD počítačový displej s integrovaným obvodem ASIC | 51 |
| 5 | Příprava grafických dat pomocí univerzálního designu | 53 |
| 5.1.1 | Barvy..... | 58 |
| 5.1.2 | Obrázky..... | 61 |
| 5.1.3 | Grafy | 62 |
| 5.1.4 | Mapy | 63 |
| 5.1.5 | Informační tabule..... | 70 |
| 5.1.6 | Webové stránky | 73 |
| 5.1.6.1 | Přístupnost webu..... | 73 |
| 5.1.6.2 | Hodnocení přehledu přístupnosti webu | 75 |
| 5.1.6.3 | Design webových stránek | 76 |
| 5.1.6.4 | ColorBlind Filter Service..... | 78 |
| 5.1.6.5 | Platforma myWebAccess..... | 79 |
| 6 | Experimentální část..... | 82 |
| 6.1 | Proměření osvětlení v náhledové skříni..... | 83 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 6.2 | Testování barvocitu pomocí Farnsworth–Munsellova 100 hue testu | 84 |
| 6.3 | Hodnocení grafických dat s ohledem na poruchy barevného vidění a jejich příprava pomocí univerzálního designu | 88 |
| 6.3.1 | Webové stránky COVID očkování | 94 |
| 6.3.1.1 | Optimalizace webových stránek COVID očkování | 98 |
| 6.3.2 | Webové stránky Univerzity Pardubice, Univerzity Karlovy v Praze a Univerzity Palackého v Olomouci | 105 |
| 6.3.3 | Mapy areálu Ski centra Říčky v Orlických horách | 107 |
| 6.3.3.1 | Optimalizace map areálu Ski centra Říčky v Orlických horách | 112 |
| 6.3.4 | Orientační plán: Univerzita Pardubice – kampus Polabiny | 116 |
| 6.4 | Výsledky, vyhodnocení a diskuze | 118 |
| 6.4.1 | Test barvocitu pomocí Farnsworth–Munsellova 100 hue testu | 118 |
| 6.4.2 | Vyhodnocení webových stránek COVID očkování | 122 |
| 6.4.3 | Vyhodnocení log jednotlivých fakult Univerzity Pardubice | 124 |
| 6.4.4 | Vyhodnocení mapy Ski centra Říčky v Orlických horách | 125 |
| 6.4.5 | Vyhodnocení orientačního plánu: Univerzity Pardubice – kampus Polabiny | 126 |
| 6.4.6 | Vyhodnocení simulace používaných simulátorů | 127 |
| 6.5 | Celkové shrnutí | 131 |
| 7 | Závěr | 135 |
| 8 | Použitá literatura | 136 |

Seznam ilustrací

- Obrázek 1: Počítačové grafické vykreslení čtyř krychlí osvětlených dvěma světelnými zdroji různé intenzity a úhlu osvětlení, které představuje ukázkou různých atributů vzhledu barev [2] 23
- Obrázek 2: Stavba lidského oka (adaptováno z [3, 5]) 25
- Obrázek 3: Testovací obrazec na prokázání existence slepé skvrny v lidském vizuálním systému [2] 28
- Obrázek 4: Dědičnost defektů červeno-zeleného barevného vidění vázaných na pohlaví: geny pro fotopigmenty čípků L a M jsou neseny na chromozomu X; X' označuje chromozom X nesoucí abnormální informaci pro barevné vidění, žluté čtverečky představují nosiče a červené ty, kteří mají poruchu barevného vidění (adaptováno z [19]) 39
- Obrázek 5: Barvový prostor CIE1931xy a porovnání gamutů [31] 41
- Obrázek 6: Testovací políčko z Ishiharova testu v barevné verzi a ve stupních šedi: (a) původní, kde by v barevné verzi pozorovatelé s normálním barevným viděním měli vidět číslici 6, (b) upravené změnou světlosti pozadí číslice, což zlepšilo kontrast i ve stupních šedi [70] 56
- Obrázek 7: Červená část červeno-zeleného obrazu je převedena ve Fiji na purpurovou, což umožňuje výrazný kontrast jak pro lidi s normálním barevným viděním (a), tak pro jednotlivce s barevnou poruchou deuteranopií (b) [23]) 57
- Obrázek 8: Červená část červeno-zeleného obrazu je převedena na purpurovou barvu v programu Adobe Photoshop [23] 57
- Obrázek 9: Paleta barev navržená pro čtenáře s normálním barevným viděním a poruchou barevného vidění (adaptováno z [25]) 59
- Obrázek 10: Simulace barev, jak se jeví čtenářům s normálním viděním a deuteranopií (adaptováno [49]) 60
- Obrázek 11: Barevný režim Lab ve Photoshopu lze použít k prozkoumání červeno-zeleného defektu vidění (adaptováno [49]) 61
- Obrázek 12: a) Nesprávně upravený graf, kde je jako komunikační prvek použita pouze barva. Obr. b) Správně upravený graf, kde jsou použity různé typy linek a popisky jsou zobrazeny přímo v grafu a spojeny s křivkami tenkými čarami (adaptováno z [25]) 63
- Obrázek 13: Ukázka úpravy odstínu barvy grafu v softwaru Adobe Photoshop, kde byla červená přerušovaná čára (a) nahrazena purpurovou přerušovanou čarou (b), označeny šípkami. Tato úprava byla realizována pomocí nástroje Nahradit barvu (c) [24] 63
- Obrázek 14: Ukázka návrhu mapy a) se špatným tonálním kontrastem v barevné verzi, b) její černobílé verzi b) [72] 65

| | |
|--|----|
| Obrázek 15: Průměr získaných bodů jednotlivých mapových výřezů u respondentů s poruchou barevného vnímání v porovnání s ostatními [72] | 66 |
| Obrázek 16: Barevné schéma mapy. Čtenáři s deuteranopií nemohou interpretovat červeno-zelené schéma v horní řadě. Ve spodním řádku nahrazeno za purpurově zelené schéma [49] | 67 |
| Obrázek 17: Třídy bodů typické pro tečkovou mapu odlišující se nasycením, odstínem a tvarem (adaptováno z [49]) | 68 |
| Obrázek 18: Třídy čar rozlišené podle šířky a saturace, anotace, odstínu a vzoru čar (adaptováno z [49]) | 68 |
| Obrázek 19: Mapa londýnského metra snadno čitelná pro uživatele bez poruchy barevného vidění i s poruchou barevného vidění [73] | 69 |
| Obrázek 20: Černobílá verze mapy londýnského metra pro pozorovatele s poruchou barevného vidění [73] | 69 |
| Obrázek 21: Příklad špatně navrženého jízdního řádu (adaptováno z [74]) | 72 |
| Obrázek 22: Příklad správně navrženého jízdního řádu s upravenými kombinacemi barev a dalšími typografickými způsoby rozlišení typů spojení (adaptováno z [74])..... | 72 |
| Obrázek 23: Spektrální rozložení vybraných čtyř barev (adaptováno z [74]) | 73 |
| Obrázek 24: Vzhled bezpečné palety pro web a její srovnání s transformovanými paletami (adaptováno z [22]) | 78 |
| Obrázek 25: Transformace palety s 16 barvami (adaptováno z [22]) | 78 |
| Obrázek 26: Postup přidání funkcí pro usnadnění přístupu u platformy myWebAccess (adaptováno z [89]) | 80 |
| Obrázek 27: Proměření osvětlení v náhledové skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC pomocí spektrofotometru i1 Pro | 83 |
| Obrázek 28: Farnsworth–Munsellův 100 hue test [92] | 84 |
| Obrázek 29: Záznam z probíhajícího testování – pozorovatelé seřazující barevné terčíky | 85 |
| Obrázek 30: Záznam z probíhajícího testování – kontrola pořadových čísel umístěných na zadní straně barevných terčíků | 86 |
| Obrázek 31: Hlavní stránka softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring, sloužící k zadávání výsledků | 86 |
| Obrázek 32: Stránka Analysis softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring, sloužící pro analýzu výsledků | 87 |
| Obrázek 33: Stránka Database softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring, sloužící jako seznam testovaných osob a k zobrazení jejich výsledků | 87 |

| | |
|---|-----|
| Obrázek 34: Vzorník skupiny barev s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi barev pro všechny typy defektů barevného vidění – 1. část | 90 |
| Obrázek 35: Vzorník skupiny barev s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi barev pro všechny typy defektů barevného vidění – 2. část | 91 |
| Obrázek 36: Vzorník skupiny barev s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi barev pro všechny typy defektů barevného vidění – 3. část | 92 |
| Obrázek 37: Vzorník skupiny barev s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi barev pro všechny typy defektů barevného vidění – 4. část | 93 |
| Obrázek 38: Původní návrh grafů na webových stránkách COVID očkování, bez simulace | 95 |
| Obrázek 39: Původní návrh grafů, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie | 95 |
| Obrázek 40: Původní návrh webové stránky COVID očkování, stránka Stav registrací | 96 |
| Obrázek 41: Část webové stránky COVID očkování z obr. 40 se simulací deuteranopie pomocí doplňku Daltonize, kde se ztrácí červeno-zelená barevná informace ... | 97 |
| Obrázek 42: Původní návrh webové stránky COVID očkování, stránka Statistiky | 97 |
| Obrázek 43: Část webové stránky COVID očkování z obr. 42 se simulací deuteranopie pomocí doplňku Daltonize, kde se ztrácí červeno-zelená barevná informace ... | 97 |
| Obrázek 44: Souhrn navržené optimalizace barev webových stránek COVID očkování | 98 |
| Obrázek 45: Návrh dvou variant optimalizace webových stránek COVID očkování, stránka Stav registrací, bez simulace A) světlá verze, B) tmavá verze | 100 |
| Obrázek 46: Souhrn navržené optimalizace barev webových stránek COVID očkování, stránka Stav registrací | 100 |
| Obrázek 47: Část optimalizované webové stránky COVID očkování z obr. 45 se simulací deuteranopie pomocí doplňku Daltonize, kde se neztratila barevná informace | 101 |
| Obrázek 48: Návrh optimalizace stránky Stav registrací ve světlé verzi, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie | 101 |
| Obrázek 49: Návrh optimalizace stránky Stav registrací v tmavé verzi, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie | 102 |
| Obrázek 50: Návrh optimalizace webových stránek COVID očkování, stránka Statistiky, bez simulace | 103 |

| | |
|---|-----|
| Obrázek 51: Část optimalizované webové stránky COVID očkování z obr. 50 se simulací deuteranopie pomocí doplňku Daltonize, kde se neztratila barevná informace | 103 |
| Obrázek 52: Návrh optimalizace webových stránek COVID očkování, stránka Volné termíny, bez simulace A) světlá verze, B) tmavá verze | 104 |
| Obrázek 53: Návrh optimalizace grafů na webových stránkách COVID očkování, bez simulace. Optimalizované návrhy jsou pro grafy na stránkách A) Vývoj fronty (Kraj: Praha, očkovací místo: Fakultní Thomayerova nemocnice), B) Vývoj očkování (Kraj: Praha, očkovací místo: Fakultní Thomayerova nemocnice), C) Vývoj očkování (Kraj: Pardubický, očkovací místo: MUDr. Radoslav Svoboda s.r.o. – Seč), D) Vývoj registrací (Kraj: Praha, očkovací místo: Fakultní Thomayerova nemocnice) | 104 |
| Obrázek 54: Seznam původních a navržených barev použitých pro křivky v grafech na webových stránkách COVID očkování s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi pro všechny typy poruchy barvocitu pomocí doplňku Daltonize | 105 |
| Obrázek 55: Loga Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult | 106 |
| Obrázek 56: Loga Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult se simulacemi všech poruch barevného vidění simulovaných v doplňku do prohlížeče Google Chrome s názvem Daltonize A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie | 107 |
| Obrázek 57: Mapa areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, bez simulace [96] | 109 |
| Obrázek 58: Mapa areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie | 109 |
| Obrázek 59: Část mapy areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu z obr. 58 se simulací A) deuteranopie a B) protanopie pomocí simulátoru Color Oracle, kde se ztrácí červeno-zelená barevná informace | 110 |
| Obrázek 60: Mapa areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro zimní sezónu, bez simulace [97] | 111 |
| Obrázek 61: Mapa areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro zimní sezónu, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie | 111 |
| Obrázek 62: Část mapy areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro zimní sezónu z obr. 60 bez simulace, kde se ztrácí přerušovaná zelená trať i pro pozorovatele s normálním barevným viděním | 112 |

| | |
|---|-----|
| Obrázek 63: Seznam použitých barev s jejich hexadecimálními hodnotami pro optimalizovanou verzi mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu | 113 |
| Obrázek 64: Optimalizovaná verze mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, bez simulace | 113 |
| Obrázek 65: Optimalizovaná verze mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie | 114 |
| Obrázek 66: Seznam použitých barev s jejich hexadecimálními hodnotami pro optimalizovanou verzi mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu | 115 |
| Obrázek 67: Optimalizovaná verze mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro zimní sezónu, bez simulace | 115 |
| Obrázek 68: Optimalizovaná verze mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro zimní sezónu, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie | 116 |
| Obrázek 69: Pohled na Orientační plán: Univerzita Pardubice – kampus Polabiny u Univerzitní knihovny, bez simulace | 117 |
| Obrázek 70: Orientační plán: Univerzita Pardubice – kampus Polabiny, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie | 118 |
| Obrázek 71: Referenční hodnoty z hlavní stránky View/Arrange softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring. Reference jsou pro testované osoby s A) normálním barevným viděním, B) poruchou deuteranopie, C) poruchou protanopie, D) poruchou tritanopie | 120 |
| Obrázek 72: Referenční hodnoty ze stránky Analysis softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring, v polárních souřadnicích. Reference jsou pro testované osoby s A) normálním barevným viděním, B) poruchou deuteranopie, C) poruchou protanopie, D) poruchou tritanopie | 121 |
| Obrázek 73: Získané hodnoty respondentů z hlavní stránky View/Arrange softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring. Respondenti A), B) a C) patří do kategorie Low Color Discrimination | 121 |
| Obrázek 74: Získané hodnoty respondentů ze stránky Analysis softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring, v polárních souřadnicích. Respondenti A), B) a C) patří do kategorie Low Color Discrimination | 122 |

| | |
|---|-----|
| Obrázek 75: Hodnocení vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace respondenty s poruchou barevného vidění. Na ose y je počet respondentů, kteří zvolili danou odpověď a na ose x je vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace | 127 |
| Obrázek 76: Hodnocení vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace respondenty s poruchou barevného vidění. Na ose y je počet respondentů, kteří zvolili danou odpověď a na ose x je vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace | 128 |
| Obrázek 77: Porovnání optimalizované verze mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, se simulacemi monochromazie v simulátorech A) Kontrolní náhled barev v programu Adobe Illustrator, B) Color Oracle | 129 |
| Obrázek 78: Hodnocení barevnosti původní a optimalizované verze respondenty s poruchou barevného vidění a respondenty bez poruchy barevného vidění. Na ose y je počet respondentů, kteří zvolili danou odpověď a na ose x je vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace | 133 |
| Obrázek 79: Hodnocení čitelnosti optimalizované verze oproti původní verzi respondenty s poruchou barevného vidění a respondenty bez poruchy barevného vidění. Na ose y je počet respondentů, kteří zvolili danou odpověď a na ose x je vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace | 134 |

Seznam tabulek

| | | |
|------------|--|-----|
| Tabulka 1: | Typy defektu barevného vidění, jednotlivé příčiny důsledky | 34 |
| Tabulka 2: | Informace o zdroji D65 v náhledové skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC poskytnuté výrobcem..... | 84 |
| Tabulka 3: | Experimentálně stanovené charakteristiky zdroje D65 v náhledové skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC pomocí spektrofotometru i1 Pro | 84 |
| Tabulka 4: | Informace o respondentech spadajících do třídy Low Color Discrimination a jejich výsledky | 120 |
| Tabulka 5: | Přehled odpovědí respondentů s poruchou barevného vidění při uvedení odpovědi, že vidí rozdíl v simulaci obrázku oproti obrázku bez simulace..... | 130 |

Seznam zkratek

| | |
|---------|--|
| CUD | Color Universal Design |
| CRI | Index podání barev |
| CUDO | Color Design Organisation |
| PDF | Portable Document Format |
| ADA | Novela zákona o rehabilitaci Američanů se zdravotním postižením |
| W3C WAI | World Wide Web Consortium |
| UN CRPD | United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities |
| ADA | Americans with Disabilities Act |
| SENDA | Special Educational Needs and Disability Act |
| WCAG-EM | Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology |
| WCAG | Web Content Accessibility Guidelines |
| ATAG | Authoring Tool Accessibility Guidelines |
| GIF | Graphics Interchange Format |
| CBFS | ColorBlind Filter Service |
| HTML | Hypertext Markup Language |
| WSDL | Web Services Description Language |
| XML | eXtensible Markup Language |
| MVC | Model–View–Controller |
| TES | Total Error Score |

Úvod

V současné době se objevuje stále více grafických dat, která jsou navržena co nejvíce barevně pro zajímavý vzhled, ale často nejsou vhodné pro čtenáře s defektem barevného vidění. Existující bakalářské a diplomové práce zabývající se poruchou barvocitu jsou zaměřeny např. na poruchy barvocitu a jejich vliv na kvalitu života; porovnání různých testů pro detekci poruch barvocitu; a problematiku barevnosti map z hlediska uživatelských skupin. Tato práce na základě studia související literatury i dalších zdrojů celkově představuje přípravu grafických dat, která jsou vhodná pro čtenáře s normálním barevným viděním i pro čtenáře s poruchou barvocitu. Jsou zde rozebrány grafické výstupy, data jen v případě digitálních výstupů a během přípravy těch tištěných, které jsou pro tyto uživatele nejvíce problematické (patří sem: obrázky, grafy, webové stránky, mapy, informační cedule atd.).

Úvodem jsou zmíněny pojmy jako barva a atributy barev. Následuje popis stavby oka a v krátkosti je zde zmíněno zpracování vizuálního signálu s oblastí, která souvisí s barevným viděním. Práce dále blíže popisuje jednotlivé poruchy barevného vidění, kterými jsou monochromazie či achromatopsie, dichromazie a anomální trichromazie. Je zde rozebráno ještě podrobnější rozdělení těchto poruch. Uvedeny jsou příčiny poruch barevného vidění, a jak lze tyto poruchy testovat.

Dále jsou v práci uvedeny softwarové a hardwarové simulátory, které simulují jednotlivé poruchy barevného vidění a slouží ke kontrole obrázků, webových stránek, dokumentů atd. v průběhu jejich zpracování. Jako softwarové simulátory jsou zde uvedeny Vischeck, Color Universal Design (CUD) a Adobe, dále Color Oracle, Fiji a webové nástroje na simulaci barev. Jako hardwarový simulátor je zde uveden LCD počítačový displej s integrovaným obvodem ASIC.

Kapitola popisující přípravu grafických dat pomocí univerzálního designu je zaměřena na problematickou grafiku, do které patří navržené barevné kombinace i další aspekty obrázků, grafů, webových stránek, map a informačních tabulí. Je zde rozebrán způsob, jak grafiku připravit s ohledem na jednotlivé problematické prvky a na co si dát při navrhování především pozor.

Experimentální část zahrnuje tři hlavní části. V první z nich je testován barvocit pomocí Farnsworth–Munsellova 100 hue testu. Zde byli respondenti rozděleni do tříd podle schopnosti rozlišování barevných odstínů – vysoké (superior), průměrné (average) a nízké (low). Druhá

hlavní část je zaměřena na analýzu a přípravu grafických dat pomocí univerzálního designu. Na základě předběžného hodnocení se zaměřila na webovou stránku COVID očkování a webové stránky Univerzity Pardubice, Univerzity Karlovy v Praze a Univerzity Palackého v Olomouci. U webové stránky Univerzity Pardubice bylo následně více rozebráno logo univerzity a jejích jednotlivých fakult. Dále byla experimentální část zaměřena na mapy Ski centra Říčky v Orlických horách, a to konkrétně pro letní a zimní sezónu. Následně byl hodnocen orientační plán Univerzity Pardubice – kampus Polabiny. V poslední části experimentu hodnotili respondenti s poruchou barvocitu na základě připravených podkladů barevnou rozlišitelnost grafiky, rychlost orientace s ohledem na získání potřebných informací a přesnost simulace použitých simulátorů. Respondenti s dobrou rozlišovací schopností barev upravenou grafiku také posoudili, jestli je po optimalizaci stále vhodná i pro ně.

1 Barva

Barva je atribut vizuálního vjemu (vizuálního počítku) skládající se z jakékoliv kombinace chromatického a achromatického podílu podle zdroje [1]. Tomuto jevu lze přiřadit nějakou informaci o chromatické nebo achromatické složce. Podle tohoto zdroje [1] lze barvu pojmenovat nějakým jménem. Chromatické barvy lze pojmenovat jako žlutá, oranžová, zelená, červená atd. Obdobně lze pojmenovat achromatické barvy, jako je bílá, šedá, černá. Případně lze doplnit o pojmenování specifických barev, jako jsou lososová, broskvová atd. Dále atribut může být kvantifikován výrazy jako jasná, tmavá, temná nebo kombinací uvedených označení [1]. Existují národy, které vůbec neznají barvu zelenou (např. v Africe), ale pro modrou mají výrazů desítky, takže pojmenování a vnímání barev je spojeno i s kulturou.

Barevný vzhled objektů, podle publikace [2] závisí na třech složkách. První podmínkou pro popsání barvy objektu je zdroj viditelné elektromagnetické energie potřebný k zahájení procesu vidění. Tato energie je poté modulována chemickými a fyzikálními vlastnostmi objektu. Modulovaná energie je následně zobrazena okem, detekována fotoreceptory a zpracována nervovými mechanismy lidského vizuálního systému. To znamená, že tento subjektivní vjem vzniká po dopadu světla na sítnici oka díky rozdílné spektrální citlivosti tří druhů čípků, kde jsou signály červené, zelené a modré složky nejdříve zpracovány v neuronech sítnice; vzniká zde jeden signál odpovídající jasové složce a dva signály reprezentující barevnost [3]. Jedná se o interpretaci úzké části elektromagnetického záření. Dále zdroj [1] uvádí, že vjem barvy je způsobený zejména spektrálním složením barevného stimulu. Je také ovlivněn velikostí daného barevného stimulu, texturou a tvarem daného stimulu, prostředím, ve kterém je stimul pozorován, úrovní adaptace vizuálního systému pozorovatele, a také zkušenostmi pozorovatele. Parametrů, které ovlivňují, jak je barva vnímána, je poměrně dost, což je docela zásadní, protože když je barva popsána objektivně, tak se mnohé z faktorů ignorují (záměrně nebo nezáměrně).

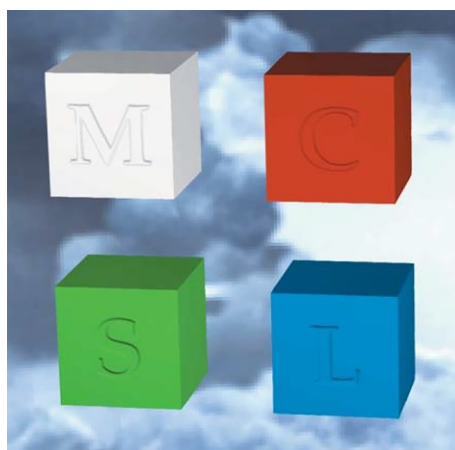
Podle zdroje [2] je třeba poznamenat, že mnoho vědeckých pokusů vysvětlit barvu se spoléhá čistě na fyzickou podstatu světla a předmětů. Bez lidského pozorovatele však není žádná barva. Pokusy specifikovat barvu jako čistě fyzikální jev spadají do oboru spektrofotometrie a spektroradiometrie [2]. Když se započítají smyslové odpovědi nejnižší úrovně průměrného lidského pozorovatele, jde o obor kolorimetrie.

1.1 Absolutní a relativní atributy barev

Mezi absolutní atributy barev patří [2, 3]:

- **Odstín (hue)** – atribut vizuálního počítka, kde je daný stimul vnímán jako barva: červená, žlutá, zelená, modrá, nebo jejich kombinace.
- **Světlost (brightness)**– atribut vizuálního počítka, kde daný stimul vyjadřuje více či méně záření. Je tedy vyvolán množstvím světla vyzařovaného nebo odráženého objektem.
- **Sytost (colorfulness)** – atribut vizuálního počítka, kde je daný stimul více či méně chromatický. Souvisí se spektrální čistotou barvy. Nejnižší sytost mají nepestré barvy (achromatické); patří sem bílá, černá a šedá barva. S rostoucí sytostí jsou barvy vnímány jako pestré (chromatické); patří sem např. spektrální barvy.

Obrázek 1 ze zdroje [2] ilustruje rozdíl mezi sytostí a chromou. Různé strany každé krychle jsou osvětleny odlišným množstvím stejné energie, které se odlišuje sytostí. Pokud by se posuzovala chroma, má každá strana krychle stejnou chromu, jelikož je tento atribut v každé krychli zhruba konstantní. Důvodem je posuzování každé strany ve vztahu k podobně osvětlenému bílému předmětu. Boky krychlí s větším osvětlením vykazují větší sytost, ale chroma je v každé krychli zhruba konstantní.



Obrázek 1: Počítačové grafické vykreslení čtyř krychlí osvětlených dvěma světelnými zdroji různé intenzity a úhlu osvětlení, které představuje ukázkou různých atributů vzhledu barev [2]

Mezi relativní atributy barev patří [2, 3]:

- **Měrná světlost (lightness)** – relativní (poměrné) vyjádření světlosti plochy (zkoumaného vzorku) vůči světlosti stejně osvětlené bílé nebo vysoce transparentní plochy (referenčního vzorku).
- **Chroma** – relativní vyjádření sytosti plochy (zkoumaného vzorku) vůči světlosti stejně osvětlené bílé nebo vysoce transparentní plochy (referenčního vzorku).
- **Saturace (saturation)** – relativní vyjádření sytosti stimulu (barvy) vůči jeho světlosti.

Podle [2], aby daný stimul vykazoval chromu, musí být hodnocen ve vztahu k jiným barvám. Stimul pozorovaný izolovaně může vykazovat saturaci. Příklad podnětu vykazující saturaci, nikoliv chromu, je světlo dopravního semaforu pozorované izolovaně za temné noci. Světla, obvykle červená, žlutá nebo zelená, jsou celkem saturovaná a lze je srovnat s barevným vzhledem předních světel (světlometů) protijedoucích aut. Důvodem je téměř nulová saturace (proto obvykle vypadají bíle).

Dále zdroj [2] uvádí, že je saturace někdy označována jako série stínů. To se vztahuje k rozsahu barev, které jsou pozorovány, když je na jednom objektu vržen stín. Když objekt padá do hlubšího stínu, stává se tmavším, ale saturace zůstává konstantní. To lze pozorovat na obr. 1, za předpokladu, že vykreslené prostředí je osvětleno jedním zdrojem světla. Tím budou mít různé strany přibližně konstantní saturaci.

Náš vizuální systém nejlépe hodnotí barvy v absolutních attributech, které souvisejí s odstínem, světlostí a sytostí, protože to je pro nás nejvíce přirozené.

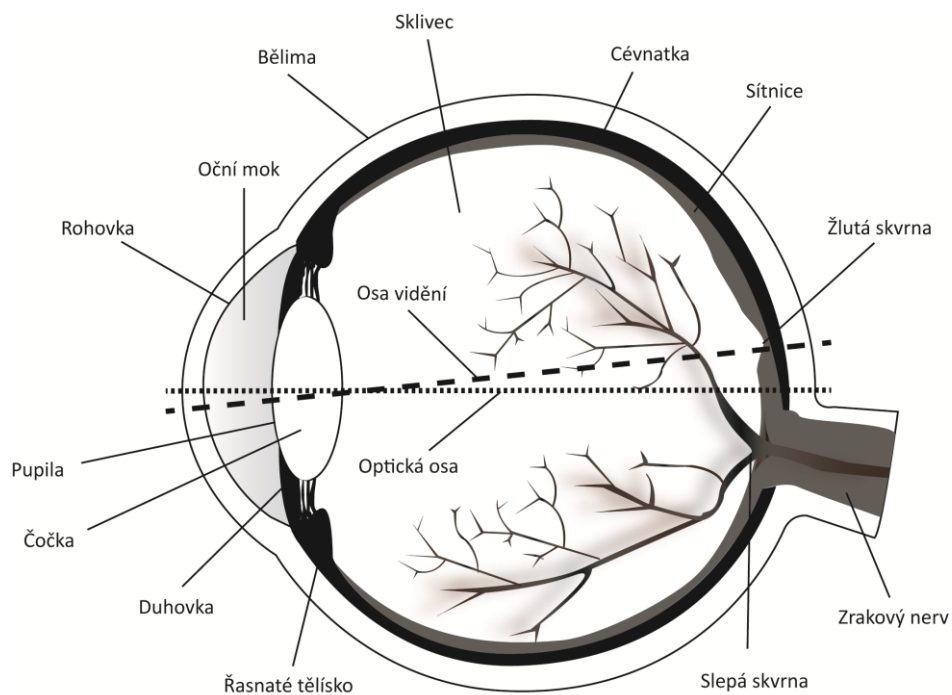
Relativní atributy jsou důležité při reprodukci obrazu v grafickém workflow. Například při reprodukci originálu, jehož jas je pod 100 cd/m^2 , a při reprodukci $3\,000 \text{ cd/m}^2$ pomocí absolutních atributů toho samého obrázku by byl výsledný obrázek za těchto podmínek tmavý. Naproti tomu při reprodukci pomocí relativních atributů budou poměry mezi barvami zachovány. A naopak při reprodukci světlejšího prostředí do tmavšího pomocí absolutních atributů barev se obrázek bude zdát hodně světlý (tzv. přepálený).

2 Stavba oka a zpracování vizuálního signálu

2.1 Stavba oka

Lidské oči jsou párovým smyslovým orgánem, které umožňují zprostředkovat prostorový vjem, což znamená, že zprostředkovávají informaci o velikosti, vzhledu a rozmístění pozorovaných objektů [3]. Oči jsou tedy základním prvkem vizuálního systému. Vizuální vnímání je iniciováno a silně ovlivněno anatomickou strukturou oka [2]. Podle zdroje [4] se oko skládá z oční koule (bulbus oculi) a přídatných očních orgánů, jako jsou spojivky, víčka, okohybných svalů a slzného aparátu. Oční koule je v podstatě dutá koule, která je složena ze polokruhových segmentů (předního a zadního), lišících se zakřivením a poloměrem. Skládá se ze tří hlavních částí: vnější blány, střední blány a vnitřní blány. Vnější blána je pevná [4]. Pod vnější blánou se dále nachází střední blána a pod střední blánou vnitřní blána. Obrázek 2 ilustruje detailnější dělení stavby lidského oka, které je popsáno níže v kapitole.

Lidské oko, podle publikace [2], funguje jako fotoaparát. Rohovka a čočka společně fungují jako čočka fotoaparátu a zaostřují obraz na sítnici v zadní části oka. Zadní část oka funguje jako film nebo jiný obrazový snímač fotoaparátu. Tyto a další struktury významně ovlivňují vnímání barev.



Obrázek 2: Stavba lidského oka (adaptováno z [3, 5])

2.1.1 Vnější blána

Vnější blána se skládá z těchto částí:

- **Bělíma (sclera)** – chrání oko proti vnějším i vnitřním silám [4]. Má za úkol držet tvar oka. Upínají se na ni okoohybné svaly. Její povrch je v přední části kryt spojivkou a u zadní části oka vystupuje z bulbu zrakový nerv. V přední části oka postupně přechází v rohovku.
- **Rohovka (cornea)** – hladká, lesklá, transparentní část oka, kterou prochází světlo [2, 6]. Slouží jako nejvýznamnější obrazotvorný prvek a nejvýraznější část optické mohutnosti celého oka, protože jeho zakřivený povrch na rozhraní se vzduchem představuje největší změnu indexu lomu ($n = 1,367$) v optickém systému oka [2, 6]. Index lomu charakterizuje optické prostředí, ve kterém se paprsek odráží, láme nebo pohlcuje [7]. Tloušťka rohovky není všude stejná; nejtenčí je kolem středu rohovky a nejtlustší kolem rohovkového okraje [6]. Jde o nejcitlivější tkáň lidského těla kvůli vysokému obsahu nervových vláken [6]. Jelikož je dokonale průhledná, nevedou v ní žádné cévy. Je vyživována ze slz a komorového moku [4]. Refrakční vady oka, jako je krátkozrakost (myopie), dalekozrakost (hypermetropie) nebo astigmatismus, lze podle publikace [2] připsat změnám ve tvaru rohovky. Tyto vady mohou být korigovány laserovou operací, která rohovku transformuje. Rohovka je podstatná pro dobré barevné a celkové vidění.

2.1.2 Střední blána

Střední blána se skládá z těchto částí:

- **Cévnatka (choroid)** – obsahuje množství cév (podle toho odvozen název) [6]. Hlavní funkcí je výživa oka. Její další funkcí je udržování stálé teploty v oku a odvádění tepla vznikajícího při fotochemických procesech v sítnici [4]. Dále se podílí na výživě sítnice [6]. Temně hnědou barvu způsobuje bohatý obsah pigmentu [6]. Nachází se v celém rozsahu oční koule a v přední části přechází v řasnaté tělíčko [4].
- **Duhovka (iris)** – barevná membrána oka, která limituje množství světla vstupujícího do oka, což znamená, že propouští více nebo méně záření [8]. Tvoří přední část živnatky a vnější okraj duhovky je srostlý s řasnatým tělíčkem [4]. Dále také zajišťuje proudění komorového moku mezi přední a zadní oční komorou. Kruhový otvor uprostřed duhovky se jmenuje zornice (pupilla) [6]. Zornice se při osvětlení zužuje a rozšiřuje se v šeru [6]. Barvu očí definuje koncentrace a distribuce pigmentu (tzv. melaninu)

v duhovce a také chrání oko před oslněním [2, 6]. Barva a textura duhovky jsou jedinečné pro každého jedince.

- **Řasnaté tělísko (ciliary body)** – je vytvářeno trojúhelníkovým prstencem na průřezu, který je umístěný při vnějším okraji duhovky a vzadu přechází do cévnatky [6]. Vlákná závěsného aparátu směřují do nitra oka a je na nich zavěšena čočka. Jeho činností je akomodace oka (vidění na různou vzdálenost) a produkce očního moku [6].

2.1.3 Vnitřní blána

Vnitřní blána se skládá z této části:

- **Sítnice (retina)** – jemná průhledná blána, nacházející se na zadní části oka [6]. Sítnice má tloušťku podobnou jako papírový kapesník a je tvořena řadou světlocitlivých buněk (fotoreceptorů) a buněk předzpracovávajících signál [2, 6]. Publikace [6] uvádí, že fotoreceptory (tzv. tyčinky a čípky) plní funkci přenosu informací přítomných v optickém obrazu; chemické a elektrické signály jsou vysílány v pozdější fázi vizuálního systému. Tyto signály jsou zpracovány sítí buněk a přenášeny do mozku optickým nervem. V oblasti středu žluté skvrny, ležící 4° od optické osy, je nejvyšší koncentrace čípků, což jsou světlocitlivé buňky zodpovědné za čistě barevné vidění.

2.1.3.1 Sítnice

Jelikož je sítnice velmi důležitou částí oka, která je podstatná pro barevné vidění, je z tohoto důvodu více rozebrána.

Tato jemná průhledná blána, podle publikace [6], vznikla odštěpením z mozkového základu a je spojena s mozkem zrakovou dráhou. Sítnice se dá rozdělit na několik částí. Vnější plocha sousedí s cévnatkou a vnitřní plocha se sklivcem [6]. V zadní optické části je silnější. Ve vzdálenosti 3–4 mm před ekvátorem přechází ostrou linií (tzv. ora serrata), ve svou slepou část (tzv. pars coeca retinae) [4, 6]. Slepá část pokračuje směrem k řasnatému tělísku a končí na zadní ploše duhovky [6]. Sítnice pevně adhezuje k cévnatce a oblasti ora serrata.

V sítnici se nachází několik vrstev [6]. Jsou to vrstvy vzájemně spojených nervových buněk. Podle zdroje [4], je úkolem sítnice příjem světlených paprsků dopadajících do oka. Tyto dopadající světelné paprsky mění složitým chemickým procesem v elektrické impulzy, které jsou dále vedeny zrakovou dráhou směrem k mozku. Jednotlivé vrstvy mají přesně definované úlohy. Velmi podstatná je vrstva tvořená z fotoreceptorů [4]. Při podráždění těchto fotoreceptorů začíná proces vidění [6]. Pigmentový epitel je významný pro transport kyslíku

a živin k těmto fotoreceptorům [9]. Funkce pigmentového epitelu je popsána níže v této kapitole. Dále se zde nachází ještě další řada buněk, které předzpracovávají signál a posílají ho do mozku. Mezi buňky předzpracovávající signál patří horizontální buňky, bipolární buňky, amakrinní buňky, gangliové buňky a Müllerovy buňky [9]. V této diplomové práci jsou rozebrány především fotoreceptory, dělí se na tyčinky a čípky, z nichž především čípky jsou důležité z hlediska barevného vidění, viz kapitola 2.1.3.1.1.

Podle publikace [2, 3], do struktury oka patří také zrakový nerv, přes který fotoreceptory a další typy buněk zpracovávají a přenášejí signál z přibližně 130 milionu fotoreceptorů. Zrakový nerv je tvořen výstupy (axony) gangliových buněk, což je poslední úroveň zpracování v sítnici [2]. Existuje tedy komprese vizuálního signálu před přenosem na vyšší úroveň vizuálního systému [2]. Individuální tzv. „pixelová mapa“ vizuálního stimulu není nikdy k dispozici pro zpracování vyššími vizuálními mechanismy mozku. Podle [3] se v místě vyústění zrakového nervu nachází tzv. slepá skvrna. Slepá skvrna se nachází přibližně 10° od optické osy a nemůže zde dojít k žádné vizuální stimulaci [2, 3].

Podle publikace [2] lze slepou skvrnu prokázat pomocí testovacího obrazce na bílém listu papíru, který je na obr. 3. Testovací obrazec se umístí před oči tak, aby křížek ležel nalevo a tečka napravo. Zavře se levé oko a pravým okem se zafixuje křížek. Poté se upraví vzdálenost obrazce a nastane situace, kdy v určité poloze a vzdálenosti tečka následně zmizí. Ta samá situace by nastala, kdyby se levým okem pozorovala tečka a v určité vzdálenosti a poloze by křížek zmizel. Tato skutečnost dokazuje existenci slepé skvrny. To znamená, že obraz tečky či křížku dopadl do oblasti slepé skvrny (pod úhlem 10° od optické osy). Mozek již nemá žádný signál indikující změnu vizuálního podnětu v tomto místě, a jednoduše vyplní nejpravděpodobnější podnět; v tomto případě jednotný bílý list papíru. Důvodem, proč slepou skvrnu za normálních okolností nelze zaznamenat, je její výskyt na opačných stranách zorného pole obou očí. Nicméně při zavření jednoho oka není slepá skvrna zaznamenána.



Obrázek 3: Testovací obrazec na prokázání existence slepé skvrny v lidském vizuálním systému [2]

Publikace [2] uvádí, že za sítnicí se nachází vrstva známá jako pigmentovaný epitel. Pigmentový epitel je tmavá tkáň sloužící k absorpci jakéhokoli světla, které prochází sítnicí, aniž by bylo absorbováno fotoreceptory. Funkce pigmentovaného epitelu je zabránit rozptýlení světla zpět přes sítnici, čímž by se snížila ostrost a kontrast vnímaného obrazu. Noční zvířata nemají takovou kvalitu obrazu, zato mají vysoce reflexní tapetum (tzv. reflexní odrazová a světlocitlivá vrstva pod sítnicí oka zvířat, umožňující lepší vidění za šera), které odráží světlo zpět, aby poskytlo druhou šanci fotoreceptorům absorbovat energii [2, 10]. Proto se zdá, že oči nočního zvířete (např. jelena) září, když je zvíře zachyceno ve světlech protijedoucích automobilů.

2.1.3.1.1 Fotoreceptory

Existují dva druhy fotoreceptorů; tyčinky a čípky. Tyčinky jsou citlivé na jas světla. Čípky jsou citlivé na červenou, zelenou a modrou oblast viditelného spektra a zodpovědné za barevné vidění. Jelikož existuje pouze jeden typ tyčinek, tento systém není schopen barevného vidění, což lze snadno pozorovat sledováním normálně barevné scény při velmi nízké úrovni jasu [2]. Podle [11] každý pigment má odpovídající fotopigment, který různě absorbuje světelnou energii. Při odrazu od objektu dopadá světlo na čípky, a dále se přenáší informace do mozku ke zpracování [12]. Každý čípek má nějakou charakteristickou citlivost (relativní spektrální citlivost). Podle spektrální citlivosti se čípky dělí na ρ (L – long wavelengths), γ (M – medium wavelengths), β (S – short wavelengths):

- **L-čípky (long)** – citlivé na dlouhé vlnové délky (červená oblast viditelného spektra; fotopigment s dlouhou vlnovou délkou má maximální citlivost při přibližně 560 nm [11]).
- **M-čípky (middle)** – citlivé na střední vlnové délky (zelená oblast viditelného spektra; fotopigment se střední vlnovou délkou má maximální citlivost při přibližně 530 nm [11]).
- **S-čípky (short)** – citlivé na krátké vlnové délky (modrá oblast viditelného spektra; fotopigment s krátkou vlnovou délkou má maximální citlivost při přibližně 420 nm [11]).

Rozložení tyčinek a čípků (fotoreceptorů) není rovnoměrné [3]. Lidské oko obsahuje přibližně 120 milionů tyčinek a 7 milionů čípků. Poměr čípků je $\rho : \gamma : \beta = 40 : 20 : 1$.

Rozdíl mezi tyčinkami a čípkami je podle [2] ve vizuální funkci. Tyto fotoreceptory jsou odpovědné za tzv. fotopické, skotopické a mezotopické vidění. Tyčinky se uplatňují při nízkých intenzitách osvětlení (např. stimulus má jas méně než 1 cd/m^2); tzv. skotopické vidění. Čípky se uplatňují při vyšších intenzitách osvětlení (např. stimulus má více než 100 cd/m^2); tzv. fotopické vidění. Mezotopické vidění je situace, kdy se na vidění podílejí čípky i tyčinky. Přechod vidění z tyčinek na čípky je tedy jedním z mechanismů, který umožňuje našemu vizuálnímu systému fungovat v širokém rozsahu úrovní jasu.

Podle [2] existují dvě spektrální funkce světelné účinnosti CIE; funkce $V'(\lambda)$ pro skotopické vidění a funkce $V(\lambda)$ pro fotopické vidění. Tyto funkce představují celkovou citlivost obou systémů s ohledem na vnímanou světlost různých vlnových délek. Jelikož existuje pouze jeden typ tyčinek, je funkce $V'(\lambda)$ identická se spektrální odezvou tyčinek a závisí na spektrální absorpci rhodopsinu, fotocitlivého pigmentu v tyčinkách. Funkce $V(\lambda)$ představuje spíše kombinaci tří typů fotopických signálů, než odezvu jakéhokoli jednoho typu čípku.

Zdroj [3] uvádí, že v místě, kde zraková osa protíná sítnici, se vyskytují pouze čípky. Toto místo se nazývá žlutá skvrna. Zraková osa se neshoduje s optickou osou, je odchýlena o cca 4° . Střed žluté skvrny oční sítnice (macula lutea) se nazývá fovea centralis, která je nejdůležitější strukturální oblastí na sítnici [2, 13]. Jde o oblast s nejvyšší četností fotoreceptorů, které přísluší nejostřejší a nejlepší barevné vidění; nachází se v oblasti přibližně $1,5^\circ$ vizuálního pole [2, 13]. V tomto místě je největší koncentrace čípků. Pozorovatel při pozorování objektu v zorném poli nebo při jeho fixaci pohybuje hlavou a očima tak, aby obraz objektu padl na foveu [2]. Např. při čtení textu je obtížné, ne-li nemožné, přečíst text, který je jen pár řádků od bodu fixace. Nepřítomnost tyčinek lze otestovat pozorováním malého tlumeně osvětleného objektu (např. slabá hvězda v noci), který následně zmizí, jelikož obraz dopadl do oblasti fovey, kde se nenachází žádné tyčinky, které by detekovaly tlumený objekt [2]. Na rozdíl od čočky, fovea nezžloutne s věkem [2]. Střed fovey, nazývaný foveola, je cca 1° vizuálního pole a obsahuje jenom ρ a γ čípky (neobsahuje β čípky a tyčinky) [2, 14]. Je to oblast, kde jsme nejlépe schopni rozpoznávat kontrast, hrany atd. Fovea a její okolí je pokryté žlutým pigmentem, jehož cílem je odfiltrovat krátkovlnné záření, které by mohlo fotoreceptory poškodit (podle žlutého pigmentu vznikl název) [2]. Žlutý pigment také slouží ke snížení účinků chromatické aberace, které způsobují, že obraz je po většinu času poměrně silně rozostřený díky krátkým vlnám záření. Od žluté skvrny se počet čípků postupně zmenšuje a na periferii zorného pole se vyskytují pouze tyčinky [3].

Tyčinky jsou nejvíce citlivé v zelené oblasti. Z toho důvodu zelená složka nese informaci o jasů (např. u digitální fotografie – na senzorech jsou pixely, kde zelená nese informaci o jasové složce, respektive jak vnímáme jas).

2.1.4 Přední a zadní segment

V předním a zadním segmentu se nachází:

- **Komorový mok (humor aquaneus)** – čirá, bezbarvá tekutina (podobná krevní plazmě) [4]. Mechanismem sekrece a ultrafiltrace je produkován epitelem ve výběžcích řasnatého tělíska. Jeho funkcí je výživa čočky a vytváření prostředí, ve kterém funguje. Vyživuje také rohovku.
- **Čočka (lens cristallina)** – bikonvexní tělíska se zakulaceným okrajem [4]. Leží za duhovkou v prohloubeně sklivce. Je upevněna ve své poloze závěsným aparátem čočky [6]. Má elastické vlastnosti a její tvar se mění tahem vláken závěsného aparátu (radiální a meridionální vlákna ciliárního svalu) [4]. Jejím cílem je změna tvaru (změna ohniskové vzdálenosti) umožňující zaostření obrazu dopadajícího na sítnici [3]. Při pozorování blízkého objektu se čočka stává „tlustší“ (zadní plocha čočky je více zakřivena) a má tak zvýšenou optickou sílu, která umožňuje zaostřit na blízký objekt [2, 3]. Při pozorování vzdáleného objektu oko relaxuje a tvar čočky je více plochý, což má za následek sníženou optickou sílu potřebnou k zaostření daleko vzdálených objektů [2, 3]. Tomuto jevu se říká akomodace oka. Čočka má index lomu vyšší ve středu než na okrajích; to slouží ke snížení některých aberací, které by se normálně mohly vyskytovat v jednoduchém optickém systému [2]. Stárnutím se vnitřní struktura čočky mění, což vede ke ztrátě pružnosti [2]. Obecně platí, že když je dosaženo věku přibližně 50 let, čočka zcela ztratí svoji flexibilitu a pozorovatelé se již nemohou soustředit na blízké objekty (tomu se říká presbyopie neboli „staré oko“). V tomto případě většina lidí potřebuje brýle na čtení nebo bifokální brýle. Jádro čočky má žluté, hnědavé nebo červeno-hnědé zbarvení stárnutím [4]. Podle publikace [2] je žloutnutí čočky způsobeno absorpcí a rozptylem energie krátkých vln (modrá a fialová oblast viditelného spektra), které se zvyšuje tvrdnutím čočky; dochází ke zvýšení její optické hustoty. Prostřednictvím žlutého filtru pozorujeme okolí, který se mění věkem, ale liší se také od pozorovatele k pozorovateli. Tento důsledek je nejvíce patrný při kritickém barevném vyhodnocení nebo porovnání shody barev s jinými pozorovateli. Nejvíce je to patrné u fialových objektů; starší pozorovatelé uvedou, že je objekt výrazně

červenější než mladší pozorovatelé, jelikož starší čočka absorbuje většinu modré energie odražené od fialového objektu a neovlivňuje odraženou červenou energii. Čočka se skládá se ze tří vrstev: obalu čočky, čočkového epitelu a čočkových vláken.

- **Sklivec (corpus vitreum)** – transparentní gelovitá látka, která vyplňuje prostor mezi čočkou a vnitřní plochou sítnice [6]. Index lomu je $n = 1,336$ [6]. Nemá nervy ani cévy [4].

2.2 Zpracování vizuálního signálu

Barevný vjem nevzniká v oku. V oku vzniká signál, který je dále zpracován a pak vyhodnocen naším mozkem. Tato oblast zůstává dodneška stále zcela neobjasněna, proto s ohledem na tento poznatek jsou v této práci uvedeny pouze některé nedávné studie týkající se zpracování vizuálního signálu a oblastí zrakové kůry důležitých pro barevné vidění [15, 16].

3 Poruchy barevného vidění

Jak popisuje [17], první vědecké pojednání o barvosleposti popsal anglický chemik a fyzik John Dalton v roce 1794. Dalton sám trpěl červeno-zelenou poruchou barevného vidění. Dalton se domníval, že oko obsahuje barevné kapaliny, které jsou zdrojem pro rozdílné vnímání barev. Tato teorie se ukázala jako mylná až po Daltonově smrti, kdy byly zkoumány jeho oči a žádné takové tekutiny se nenašly. Dnešní teorie barevného vidění vychází z Young-Helmholtzovy trichromatické teorie.

Porucha barvocitu či barvoslepost není úplná ztráta barevného vidění. Většina lidí s poruchou barevného vidění vnímá širokou škálu barev a je schopna rozlišit věci zcela jasně jako ostatní lidé. Tito lidé ovšem mají buďto sníženou schopnost rozpoznávat určité barvy nebo celkově nemohou vidět červené, zelené nebo modré světlo. Existuje pouze pár ojedinělých případů, kdy lidé nejsou schopni nevidět vůbec žádnou barvu. Tato porucha se nazývá achromatopsie nebo také tzv. celková barevná slepota. Je zaznamenáno také pár případů, kdy je vnímána pouze jedna ze tří základních barev, která se nazývá monochromazie. Rozdělení, příčiny a důsledky jednotlivých defektů barevného vidění jsou uvedeny v tab. 1 a informace o jednotlivých defektech barevného vidění jsou v následujících kapitolách.

Co se každodenního života týče, lidé s poruchami barevného vidění mohou mít v tomto ohledu problémy. Tato porucha se musí brát v potaz i při výběru povolání. Podle publikace [18] je příkladem z každodenního života například to, že tito lidé mají problémy s rozlišením vařeného masa od syrového. Jako jiný poznávací faktor, než je barva masa, používají např. dobu vaření. Dále mohou mít problémy v umění, módě, čtení barevných legend map, značek na veřejných místech, dopravních značek, semaforů atd. [18]. V profesním životě podle [18] například lékaři nebo studenti medicíny s deficitem barevného vidění mají problémy v praxi, např. při rozpoznání změn barvy těla (žloutenka), kožních vyrážek, testovacích proužků, grafů, výtisků a kódů. Dále sem patří i povolání jako piloti, řidiči, elektrikáři atd [19].

Jak již bylo v předešlé kapitole zmíněno, v lidském oku máme dva typy fotoreceptorů, a to tyčinky a čípky. Jestliže je některý z čípků poškozen nebo chybí úplně, člověk vidí užší část viditelného spektra (některé barvy nevidí vůbec) a má poruchu barvocitu či je barvoslepy [20].

3.1 Rozdělení defektů barevného vidění

Podle typů poškozených nebo chybějících čípků existují různé typy defektů v barevném vidění, které jsou uvedeny v tab. 1. Defekty v barevném vidění mohou být rozděleny do několika kategorií:

- Poruchy barvocitu – pozorovatel má sníženou schopnost rozpoznávat určité barvy
- Barvoslepost – pozorovatel zcela nerozpoznává určité barvy.
- Achromatopsie a monochromazie – pozorovatel rozpoznává barvy pomocí jasu a vidí černobíle (achromatopsie) nebo vnímá jednu základní barvu (monochromazie).

Defekty barevného vidění jsou způsobeny nepřítomností nebo omezenou funkcí fotopigmentu v receptorech sítnice [20]. Většinou je porucha přítomna pouze u jednoho druhu fotoreceptoru. Porucha tří receptorů je ojedinělá.

Tabulka 1: Typy defektu barevného vidění, jednotlivé příčiny a důsledky

| Defekt barevného vidění | Příčina | Důsledek |
|--------------------------------|---|--|
| Achromatopsie | Nepřítomnost nebo nefunkčnost všech druhů čípků [20]. | Neschopnost vidět jakoukoli barvu (svět je viděn v šedých odstínech) [19]. Barvy jsou rozlišovány pouze rozdíly v jasu [19]. Dále je spojena s fotofobií, nystagmem a sníženým zrakovým potenciálem se zrakovou ostrostí často menší než 20/200 [21]. |
| Monochromazie | Funkční pouze jeden typ čípku [20]. Nejčastěji jsou funkční S-čípky a nefunkční L-čípky spolu s M-čípky, což se označuje jako modrá monochromazie [19, 20]. | Vnímána pouze jedna barva ze tří základních barev [20]. Barvy jsou rozlišovány pouze rozdíly v jasu a má spojitost se stejnými poruchami jako achromatopsie [19]. |

Tabulka 1: Typy defektu barevného vidění, jednotlivé příčiny a důsledky – pokračování

| Defekt barevného vidění | Příčina | Důsledek |
|--------------------------------|--|--|
| Dichromazie | Jeden typ čípků chybí; odpovídají tomu tři typy dichromazie [19]: 1) Protanopie: L-čípek chybí. 2) Deuteranopie: M-čípek chybí. 3) Tritanopie: S-čípek chybí. | Neschopnost vidět barvu příslušného typu chybějícího čípků [19]: Neschopnost vidět červenou barvu. Neschopnost vidět zelenou barvu. Neschopnost vidět modrou barvu. |
| Anomální trichromazie | Existují všechny typy čípků, které špatně fungují; tomu odpovídají tři typy anomální trichromazie [19]: 1) Protanomálie: špatná funkce L-čípků. 2) Deuteranomálie: špatná funkce M-čípků. 3) Tritanomálie: špatná funkce S-čípků. | Snížení citlivosti na konkrétní barvu [19]: Menší citlivost na červenou barvu. Menší citlivost na zelenou barvu. Menší citlivost na modrou barvu. |

3.1.1 Achromatopsie a monochromazie

Monochromazie je podle [19] porucha u které je funkčním pouze jeden druh čípků a je vnímána jen jedna barva; chybí vnímání dvou ostatních základních barev. Mezi nejvíce běžný typ patří modrá monochromazie, která je způsobena nefunkčními L-čípky a M-čípky. Je spojována s totožnými očními defekty jako achromatopsie. Zdroj [12] uvádí, že při achromatopsii jsou barvy vnímány jako odstíny šedé, bílé a černé.

3.1.2 Dichromazie

Milan Divilek v [20] popisuje, že při dichromazii jsou funkční pouze dva druhy čípků a jedna z barev není vnímána – podle toho, který z čípků není funkční. Dělí se na tři typy defektu barevného vidění, viz tab. 1.

Protanopie a deuteranopie jsou známé jako dva typy červeno-zelené poruchy barevného vidění. Tritanopie je známá jako modro-žlutá porucha barevného vidění.

Podle [20] lidem s protanopíí chybí L-čípky citlivé na červenou oblast viditelného světla, nebo jsou zcela nefunkční. Tito lidé nerozliší červeno-zelenou část viditelného spektra. Podle [22] se protanopie vyskytuje přibližně u 1 % mužské populace. Jsou také méně citliví na červené světlo na konci viditelného spektra a barvy v této oblasti se jim zdají tmavší. Zdroj [12] popisuje, že u protanopie je červená barva smíchána s tmavě zelenou a tmavě hnědou a dále zelená je smíchána se světlými odstíny šedé, žluté a hnědé.

U lidí s deuteranopíí chybí nebo jsou zcela nefunkční M-čípky citlivé na zelenou oblast viditelného světla, proto tito lidé rovněž nerozliší červeno-zelenou část viditelného spektra [20]. Vyskytuje se přibližně u 1 % mužské populace [22]. Podle [12] se u deuteranopie zelená barva mísí se světle oranžovou a světle růžovou barvou a dále se červená barva mísí se světle zelenou a světle hnědou. Na rozdíl od lidí s protanopíí, kteří jsou méně citliví na červené světlo na konci viditelného spektra a barvy v této oblasti se jim zdají tmavší, lidé s deuteranopíí tento jasový rozdíl nevidí, jelikož jim to kompenzují ostatní tyčinky a čípky [22]. Publikace [23] udává, že červená i zelená barva je stejně jako u deuteranopie vnímána jako žlutá, a proto tyto barvy lidé nerozliší. Lidé s protanopíí také pociťují sníženou světlost, zatímco lidé s deuteranopíí tento problém nemají. Lidé s protanopíí mohou zaměnit např. aktivní červené světlo v dopravním semaforu, jakmile zhasne. Zdroj [22] zmiňuje, že barvy vnímané lidmi s protanopíí a deuteranopíí jsou si podobné. Rozdílné jsou pouze v tom, že v prvním případě mají mírně nazelenalý nádech a ve druhém jsou s oranžovým nádechem.

V případě tritanopie u lidí chybí nebo jsou zcela nefunkční S-čípky citlivé na modrou oblast viditelného světla a tito lidé nerozliší modro-žlutou část viditelného spektra [20]. Podle zdroje [19] se tritanopie vyskytuje stejně u 1 z 13 000 mužů nebo žen.

3.1.3 Anomální trichromazie

Anomální trichromazie patří mezi nejběžnější typy defektu barevného vidění [20]. Lidské oko při této poruše vnímá všechny tři základní barvy, ale se sníženou intenzitou pro některou ze tří barev. Dělí se na tři typy defektu barevného vidění, viz tab. 1.

Podle [20] lidé s protanomálií mají sníženou citlivost na vnímání červené barvy, jelikož jim špatně fungují L-čípky. Tito lidé špatně rozlišují červeno-zelenou část viditelného spektra. Podle publikace [23] je červená část spektra tmavší, což způsobuje, že červené barvy mohou snížit intenzitu až do bodu, kdy je lze zaměnit za černou. Ačkoliv je tato forma nedostatku barevného vidění vzácná, postihuje 1 % mužů a 0,03 % žen, je důležité se vyhnout tmavě červené grafice [19, 23]. Není také vhodné používat červená laserová ukazovátka [23].

Vhodnější je použít místo nich zelená ukazovátka. Tito jedinci nemusí mít problém v každodenním životě a někteří tento nedostatek ani nezpozorují.

Červeno-zelenou část viditelného spektra špatně rozlišují také lidé s deuteranomálií, kteří mají sníženou citlivost na vnímání zelené barvy z důvodu špatné funkce M-čípků [20]. Podle [23] deuteranomálie postihuje 6 % mužů a 0,4 % žen. Jedná se o nejčastější formu defektu barevného vidění. Tito jedinci mají sníženou rozlišovací schopnost v červené, oranžové, žluté a zelené oblasti viditelného spektra. Aby mohli vidět totožně daný odstín žlutého světla, potřebují více zelené v červeno-zelené směsi než normální pozorovatel. Tito jedinci také nemusí mít problém v každodenním životě.

Dále podle [20] lidé s tritanomálií mají sníženou citlivost na vnímání modré barvy z důvodu špatně fungujících S-čípků a špatně tedy rozlišují modro-žlutou část viditelného spektra. Podle [23] je tritanomálie nejvzácnější formou nedostatku barevného vidění. Postihuje pouze 0,01 % mužů i žen.

3.2 Příčiny poruchy barvocitu a barvosleposti

Podle [24] defekt barevného vidění postihuje přibližně 1 z 12 mužů (8 %) a 1 z 200 žen na světě. Dále podle [25] 1 z 12 bělochů (8 %), 1 z 20 asijských (5 %) a 1 z 25 afrických (4 %) mužů mají tzv. červeno-zelenou barvoslepost. Odhadem je, že na světě existuje 250 000 000 lidí s poruchou barevného vidění [26]. Mnoho lidí ovšem o této poruše neví nebo si ji nechtějí připustit. Příčiny poruchy barvocitu mohou být vrozené nebo získané během života. Tyto poruchy zatím nelze vyléčit. Lidem s poruchou barvocitu mohou pomoci některé simulace, čočky anebo například brýle. Webový článek [27] uvádí, že je ve vývoji lék na barvoslepost pomocí genové technologie, který bude zahrnovat vstříkávání genetického materiálu do oka. Tato genetická technologie zatím nebyla aplikována na lidech, ale bylo prokázáno, že u opic tento proces funguje.

Vrozená porucha barvocitu je podle [26] geneticky daná. Dědí se od rodičů, kdy matka je nositelkou, ale sama nemusí být barvoslepá. Tuto poruchu způsobuje chromozom X, který je také důvodem, proč je postiženo více mužů než žen.

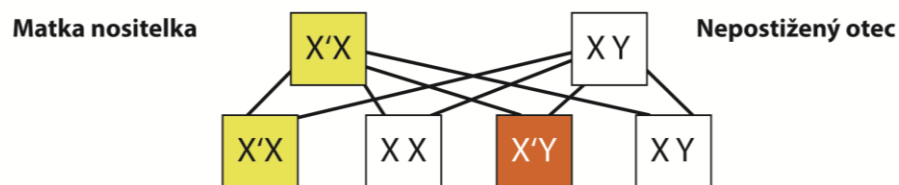
Červeno-zelená barvoslepost patří mezi nejčastější deficity barevného vidění a z tohoto důvodu je v této kapitole rozebrána více než tzv. modro-žlutá barvoslepost. Zdroj [28] uvádí, že červeno-zelenou barvoslepost přenáší matka na syna prostřednictvím 23. chromozomu, což je důvodem častějšího výskytu u mužů než u žen. Tento 23. chromozom je zvaný také jako

pohlavní chromozom a určuje pohlaví dítěte. Tento 23. chromozom se skládá ze dvou částí. U žen se skládá ze dvou chromozomů X, u mužů se skládá z chromozomu X a Y. Poruchu barvocitu nebo barvoslepost způsobuje pouze chromozom X, to znamená, že u muže se musí abnormální informace objevit na jeho jediném chromozomu X a u ženy na obou jejích chromozomech X. Jestliže žena má abnormální informaci pouze na jednom chromozomu X, tak je tzv. nositelkou poruchy barevného vidění, ale sama ji nemá. Pokud bude mít syna a předá mu chromozom X s abnormální informací, bude mít její syn poruchu barevného vidění. Pokud mu předá druhý chromozom X, tak její syn červeno-zelenou barvoslepost mít nebude. Otec tuto genetickou informaci nemůže svému synovi předat, i kdyby byl barvoslepý, a to z toho důvodu, že chromozom X může předat pouze svým dcerám. Dcera s červeno-zelenou barvoslepostí musí mít otce s touto poruchou a matku, která je její nositelkou a příslušný chromozom X dceři předala. Pokud tuto poruchu otec nemá, nebude ji mít ani dcera, může být pouze nositelkou. Dědičnost defektů červeno-zeleného barevného vidění vázaných na pohlaví je znázorněna na obr. 4.

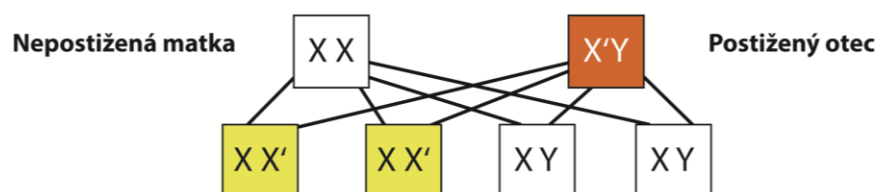
Modro-žlutá barvoslepost je přenášena na nepohlavním chromozomu a je stejně častá u mužů i u žen [28].

Podle [26] mohou někteří lidé přijít k této poruše v důsledku jiných onemocnění, např. při cukrovce nebo roztroušené skleróze. Může vzniknout také v průběhu času v důsledku procesu stárnutí, léků atd.

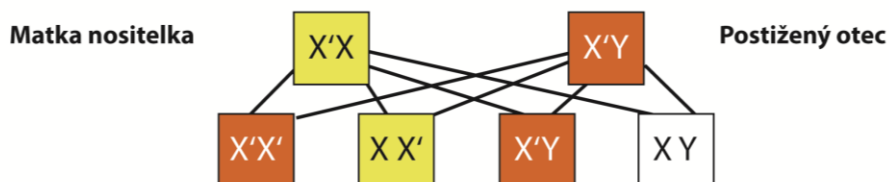
Podle [28] se přesné tělesné příčiny poruchy v barevném vidění stále zkoumají. Zatím je známo, že tyto defekty jsou obvykle způsobeny vadnými čípkami, ale někdy mohou být způsobeny poruchou dráhy z čípku do mozku.



(a) 50% pravděpodobnost, že dcery budou nositelky poruchy barevného vidění.
50% pravděpodobnost, že synové budou mít poruchu barevného vidění.



(b) Všechny dcery jsou nositelky poruchy barevného vidění.
Synové mají normální barevné vidění.



(c) 50% pravděpodobnost poruchy barevného vidění u dcer i synů.
50% pravděpodobnost, že dcera bude nositelkou poruchy barevného vidění

Obrázek 4: Dědičnost defektů červeno-zeleného barevného vidění vázaných na pohlaví: geny pro fotopigmenty čípků L a M jsou nesený na chromozomu X; X' označuje chromozom X nesoucí abnormální informaci pro barevné vidění, žluté čtverečky představují nosiče a červené ty, kteří mají poruchu barevného vidění (adaptováno z [19])

3.3 Testy defektů barevného vidění

Tato kapitola shrne podstatné informace k testování poruch barevného vidění používané při vyšetřeních u lékaře a také volně dostupných softwarových testů na internetu.

Podle zdroje [12] se poprvé začaly testy na barvoslepost dělat v roce 1875 ve Švédsku, kdy došlo k nehodě vlaku, jelikož strojník nerozlišoval červenou barvu. Po tomto incidentu se testování stalo povinné v oboru dopravních služeb.

Existuje mnoho různých testů na vyšetření deficitu barevného vidění, zjišťujících typ poruchy barvocitu či barvosleposti. Podle způsobu provedení a vyhodnocení se testy rozdělují na rozlišovací, seřazovací, míchací a pojmenovávací.

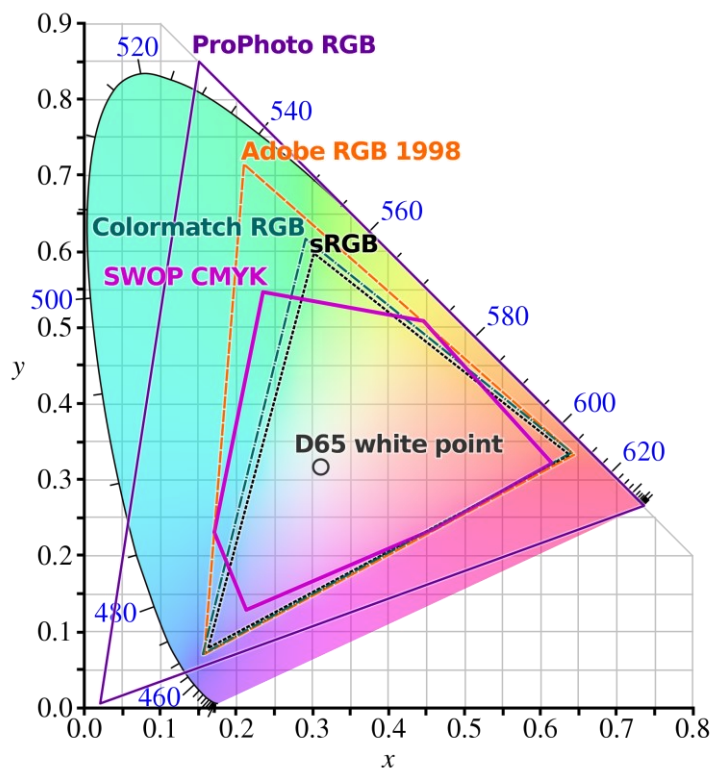
Mezi rozlišovací testy patří pseudoizochromatické tabulky, které jsou založeny na principu splývání záměnných barev [29]. Pacienti s defektem barevného vidění mohou rozeznávat do jisté míry barvy podle jasů. Patří sem Ishiharův test nebo test HRR.

Seřazovací testy většinou vychází z Munsellova systému barev u kterého jsou barvy řazeny podle stejných percepčních úrovní [29]. Patří sem Farnsworth–Munsellův 100 hue test ve kterém se barvy shodují v jasů a sytosti, ale jsou odlišné v odstínu. Dále sem patří například test Farnsworth D15, který je zkrácenou verzí testu Farnsworth–Munsellova 100 hue.

Typickým míchacím testem je anomaloskop, který je založen na Rayleighově vztahu (to znamená červená + zelená = žlutá) [30].

Pojmenovávací testy nejlépe simulují reálné situace v životě a jsou vhodné pro vyšetření řidičů, pilotů nebo strojívedců [29]. Patří sem například Farnsworth Lantern test.

V současné době existuje mnoho online webových testů a aplikací pro testování (dále budou stručně označovány jako softwarové testy). Výsledky těchto testů ale nemusí být spolehlivé. Je třeba si uvědomit, že výsledky softwarových testů se mohou lišit od výsledků testů, které se provádějí u lékaře. Barvy u všech softwarových testů nejsou zcela totožné jako v originální verzi, jelikož každá obrazovka počítače či jiného zařízení má jiné nastavení barev. Gamut obrazovky je jiný, než gamut vytištěné barvy v brožuře nebo jiném testu u lékaře, viz obr. 5. Gamut znamená rozsah reprodukovatelných barev daným zařízením. Většinou se gamut zobrazuje jako jistá hranice v barvovém prostoru, kdy za touto hranicí zařízení není schopné barvy reprodukovat. Testy se také mohou lišit díky různým světelným podmínkám. Pokud se testy absolvují za různých podmínek, mohou se lišit výsledky testů. Jelikož existuje mnoho testů, jsou v této kapitole vybrány jenom některé z nich.



Obrázek 5: Barvový prostor CIE1931 xy a porovnání gamutů [31]

3.3.1 Testy používané u lékařů

První čtyři níže uvedené testy byly vybrány na základě snadné dostupnosti, nízké nákladnosti, interpretovatelnosti a spolehlivosti, které popisuje Barry Cole ve své publikaci [19]; blíže je představen také Farnsworth–Munsell, protože poskytuje velmi spolehlivé výsledky při testování barvosleposti či barvocitu. Jsou také doporučovány do ordinací lékařů. Testy poruch barevného vidění by se podle [19] měly testovat už u dětí v předškolním věku, jelikož se barva používá jako komunikační a učební nástroj.

3.3.1.1 Ishiharův test

Ishiharův test patří mezi nejvíce používané testy defektů barevného vidění. S největší pravděpodobností se použije pro rychlé vyšetření ve školách nebo v lékařství [32]. Ishiharův test patří mezi pseudoizochromatické testy.

Vznik toho testu popisuje [19]. Byl navržen Shinobu Ishiharou (1879–1963), který pracoval jako chirurg japonské armády a potom se specializoval na oftalmologii. Znalosti v oblasti barevného vidění mohl získat během studia v Německu v letech 1942 až 1915. Následně se vrátil k práci na Army Medical College a v roce 1922 se stal profesorem oftalmologie

na Tokijské univerzitě. Shinobu Ishihara dělal výzkumy, které se týkaly výběru vojáků. Při této činnosti navrhl test pro rychlé vyšetření rekrutů na nedostatek barevného vidění. V testování mu pomáhal barvoslepý lékař, který testoval destičky namalované akvarelem (vodovými barvami), na kterých byly používány symboly hirogany. První verze testu s arabskými číslicemi vyšla v roce 1917, ale bohužel neměla příliš velký úspěch. Úspěch přišel až v roce 1929, kdy Mezinárodní kongres oftalmologie v Holandsku doporučil použití testu pro testování vojenského personálu. V roce 1958 byl v Japonsku zařazen jako oficiální test pro školní děti z důvodu přijetí zákona požadujícího testování barevného vidění ve školách.

Zdroj [19] rovněž uvádí hlavní vlastnosti Ishiharova testu. Je dobře dostupný a nenákladný. Používá se pro zjištění deficitu červeno-zeleného barevného vidění neboli pro zjištění některé z poruch deuteranomálie, protanomálie, deuteranopie a protanopie. Tento test může dobře fungovat i pod špatným osvětlením. Nevýhodou Ishiharova testu je možnost naučení se správných odpovědí kvůli snadné dostupnosti. Počet chyb v tomto testu nenaznačuje míru závažnosti poruchy barvocitu či barvosleposti, jelikož i malý počet chyb může naznačovat poruchu barevného vidění. Pacienti, kteří udělají velmi málo chyb, budou pravděpodobně mít mírnou vadu, zatímco pacienti s velkým počtem chyb mohou mít mírnou nebo závažnou poruchu barvocitu či barvoslepost.

Podle [19] je publikován ve více verzích, a to buď s 38 destičkami, 24 destičkami nebo 14 destičkami. Test se 14 destičkami se využívá pro rychlé vyšetření. Kompozici tvoří různé barevné body s rozdílnou barevností a velikostí. Principy různých typů desek podle [33] jsou:

- **Mizející design** – pacient s deficitem červeno-zeleného barevného vidění nevidí žádné číslo.
- **Transformační design** – pacient s deficitem barevného vidění uvidí jiné číslo než pacient s normálním barevným viděním.
- **Skrytý design** – pacient s deficitem červeno-zeleného barevného vidění vidí skryté číslo, zatímco pacient s normálním barevným viděním ho nevidí.
- **Klasifikační design** – mizející číslo se používá na obou stranách desky s jednou stranou určenou pro pacienty s deuteranopíí či deuteranomálií a druhou stranou pro pacienty s protanopíí či protanomálií.

Tento test se používá také k vyšetření dětí od 5 let [19]. Jennifer Birch v [34] doporučuje používat testy s čísly, které se malé děti učí už ve školce – čísla 1, 2, 3, 4 a 5. Problémem je, že dítě může být nesoustředěné, nepochopí úkol nebo nezná čísla. Dětské lékaři nebo oftalmologové si mohou pořídit testy s 10 deskami či test s 8 deskami obsahující symboly namísto čísel, které jsou vhodné pro děti od 4 do 6 let.

3.3.1.2 Test HRR

Test HRR rovněž patří mezi pseudoizochromatické testy. Tento test vyvinuli Hardy, Rand a Rittler [35]. Poprvé byl publikován společností American Optical Company v roce 1955. Následně bylo několik dalších vydání, kde došlo k úpravám. V roce 2002 bylo vydáno čtvrté vydání (firmou Richmond Products) [19]. Přepracovaná verze byla ověřena v článku [36].

Dle [19] má téměř stejnou specifitu a citlivost jako Ishiharův test. Výhodou oproti Ishiharově testu je, že se pacient nemůže naučit správné odpovědi. Může tedy posloužit jako potvrzení výsledku z Ishiharova testu. Na rozdíl od Ishiharova testu může detekovat tritanopii a tritanomálii, což nejsou nejčastější formy poruchy barevného vidění, nicméně lidé s touto poruchou mohou mít problémy v profesích. Dále také může odhalit defekty protanopie a protanomálie nebo deuteranopie a deuteranomálie [19]. Tento test je také vhodný pro děti, jelikož využívá symboly – kruh, trojúhelník a kříž [19].

3.3.1.3 Test Medmont C-100

Principem testu Medmont C-100 zmíněným v publikaci [19] jsou dvě blikající LED světla červené a zelené barvy střídající se při 16 Hz. Rychlost záblesku je natolik rychlá, že stimulem je blikající žluté světlo. Pacient upravuje jas těchto diod a snaží se, aby blikání bylo minimální. Minimální blikání diody nastane, když je pro něj jas červené a zelené LED stejný. Pacient s protanopii či protanomálií zvýší jas červené LED z důvodu snížené citlivosti na červené světlo. Naopak pacient s deuteranopii či deuteranomálií zvýší zelené LED kvůli snížené citlivosti na zelené světlo.

Podle [19] slouží tento test k rozlišení mezi protanopii či protanomálií a deuteranopii či deuteranomálií při deficitu červeno-zeleného barevného vidění. Test Medmont C-100 poskytuje v tomto ohledu lepší výsledky než Ishiharův a Richmondův HRR test. Tento test je levný, trvá maximálně dvě minuty a má v podstatě dokonalou citlivost, přičemž jediným dalším způsobem pro diagnostiku deficitu barevného vidění protanopie či protanomálie je anomaloskop, který mají jenom specializované kliniky.

Lékaři také pomocí testu Medmont C-100 mohou diagnostikovat, zda jsou nositelkami poruchy barevného vidění ženy, které mají bratra s touto poruchou [19].

3.3.1.4 Farnsworth–Munsellův 100 hue test

Tento test byl podle [19] navržen Deanem Farnsworthem, který pracoval pro Munsellovu divizi (divize byla část korporace) Kollmorgen Corporation. Pracoval také na katedře psychologie na New York University, kde navrhl Farnsworth–Munsell 100 hue test.

Zdroj [37] uvádí, že tento test slouží pro otestování odstínového rozlišování, u kterého lze určit oblast barevných změn, které mají pacienti s poruchou barevného vidění. Tento test rozdělí testované osoby do tříd – vysoká schopnost rozlišování (superior), průměrná rozlišovací schopnost (average) a nízká rozlišovací schopnost (low) a určí oblast barevných změn. Test se skládá ze čtyř kazet, které mají 93 barevných terčů představujících viditelné spektrum. Z těchto 93 terčů je 85 pohyblivých a 8 daných napevno (na každé straně kazety je dán jeden, sloužící k uspořádání barev jdoucích za sebou). Získané výsledky jsou zobrazeny softwarem FM 100 Hue Test Scoring. Tento test poskytuje dobré výsledky, ale z důvodu dlouhého trvání testu se v klinické praxi často nepoužívá [19].

3.3.1.5 Test Farnsworth D15

Tento test podle [19] je zjednodušenou variantou Farnsworth–Munsell 100 hue testu a pracuje na stejném principu. Test Farnsworth D15 byl původně v roce 1943 navržen jako test B20, kde bylo 20 barev.

Podle publikace [19] pacient dává do postupného pořadí 15 pohyblivých barevných políček (16. políčko je dané napevno a sloužící k orientaci pro správné seřazení odstínu). Po seřazení je pořadí barev uspořádáno do kruhového diagramu, ve kterém jsou barvy zaznamenány pod čísly 1 až 15. Pacienti s normálním barevným viděním většinou nedělají chyby, maximálně dvě drobné. Pacienti trpící středně těžkým nedostatkem barevného vidění umísťují barvy na opačnou stranu barevného kruhu. Dvě nebo více takových chyb je považováno za selhání.

Jak uvádí [19], test Farnsworth D15 patří mezi nejznámější a nejpoužívanější testy. Projdou pacienti s normálním barevným viděním nebo s mírným nedostatkem barevného vidění, pacienti se střední až těžkou poruchou ne. Test má dobrou opakovatelnost s koeficientem spolehlivosti mezi 0,96 a 1,0.

3.3.1.6 Další testy

Publikace [19] uvádí, že verzi testu Farnsworth D15 existuje celá řada a to například test Lanthony a Adams používající desaturované barvy. Dalším je test H16, který má sytější barvy. Test City University je velmi podobný D15, ale je v knižní podobě. Dalšími třídícími testy jsou Lanthony's new test, Roth 28 hue test, Lanthony 40 hue test a Hahn double 15 hue test. Na vyšetření tritanopie či tritanomálie existují i další testy, jako Farnsworth F2 a Lanthonyho test.

3.3.1.7 Doporučené osvětlení testů barevného vidění

Zdroj [19] uvádí, že Ishiharův test, Richmond HRR a Farnsworth D15 jsou navrženy pro osvětlení typu C. Ačkoli osvětlení není úplně kritickým parametrem, může být problematické, jelikož většina optometristů vyšetřuje pacienta pod zdrojem osvětlení, jako je žárovka. Je vhodné používat zářivky se správnou teplotou chromatičnosti a vynikajícími vlastnostmi indexu podání barev (CRI) [19]. Doporučeno je používat zářivku pro denní světlo, která má teplotu chromatičnosti asi 6500 K a index podání barev větší než 90 [19]. Dále je vhodné používat speciálně navržené světlo, tzv. True Daylight Illuminator od společností Richmond Products [19].

3.3.2 Softwarové testy

3.3.2.1 Testy odvozené od Farnsworth–Munsella 100 hue testu

Podle [20] byla dříve na stránkách X-Rite dostupná plná verze Farnsworth–Munsellova 100 hue testu. Test fungoval na principu přesouvání jednotlivých terčů na správná místa pomocí myši. Výsledek testu byl zobrazen pouze jako sloupcový graf a byly uvedeny hodnoty celkového chybového skóre. Současná verze na [38] se jmenuje X-Rite Color Challenge and Hue Test. Tato verze je omezená, jelikož sada není celá a obsahuje menší počet barevných políček v zásobnících. Výsledek lze zobrazit v grafu polárních souřadnic a lze také porovnat celkového chybového skóre na základě věkového rozmezí a pohlaví.

Dále zdroj [39] nabízí Farnsworth-Munsell 100 HueColor Vision Test, který také spočívá na principu přesouvání jednotlivých terčů na správná místa pomocí myši. Tento test je dostupný online, ale nelze jej spustit přímo ve webovém prohlížeči (informace o ukončení podpory v prohlížečích lze najít např. na webových stránkách [40, 41]). Pro spuštění testu je zapotřebí nainstalovat přehrávač Flash Player.

3.3.2.2 Ishiharův 38 Plates Test

Podle webu [42] stejně jako u tištěného testu obsahuje online verze 38 různých pseudoizochromatických desek skrývajících číslo. Tento online test nepatří mezi nejlepší způsob testování barvosleposti a neukazuje nejlepší výsledky, jelikož se test u lékaře provádí v brožuře. Je třeba si uvědomit, že barvy nejsou úplně stejné jako v originální verzi a každá obrazovka počítače má jiné nastavení barev [43]. Odkaz na test je například na webu [43].

3.3.2.3 Aplikace Color Blind Check

Jednou z mnoha aplikací na kontrolu poruchy barevného vidění je také aplikace Color Blind Check [44], dostupná na Google Play. Test spočívá v nalezení různě barevných skvrn, které se začínou objevovat, a uživatel se jich musí dotknout. U testu nejde o rozpoznávání čísel ani písmen, tudíž je vhodný i pro děti. Je založen na čtyřech různých barvách. Tato aplikace neustále mění jas při testování, aby uživatelé s deficitem barevného vidění nemohli barvy rozpoznat v rozdílu jasu. Tento test se nelze naučit nazpaměť a zlepšovat své výsledky. Test umožňuje měření typu a závažnosti nedostatku barevného vidění a také statistiky počtu provedených testů.

Důležitou poznámkou je, že kontrola defektu barevného vidění není ještě vědecky ověřena. S větším počtem výsledků bude ověřena proti jiným známým testům barvocitu či barvosleposti. Web [45] ovšem konstatuje, že první výsledky vypadají nadějně a tento test se postupně vylepšuje.

3.3.2.4 Aplikace vyvinutá M. Divilkem

Milan Divilek ve své práci [20] se snažil navrhnout a realizovat program na diagnostiku a analýzu defektu barevného vidění, který by bylo možné použít jako základ programu využívaného v očním lékařství (především v oblasti s poruchami barevného vidění a částečně u problémů se slabozrakostí). Zároveň by tento program měl pomoci uživatelům s poruchou barevného vidění, ale také s poruchou slabozrakosti. Program by měl umožňovat testovat poruchu barevného vidění pomocí Farnsworth–Munsellova 100 hue testu, simulovat barvy pomocí grafických simulací různých poruch barevného vidění, a následně transformovat obrázky do viditelného spektra pro lidi s poruchou barevného vidění. V aplikaci se nachází také nástroj sloužící k zobrazení diferenčních obrázků, které podávají důkaz o funkčnosti algoritmu transformace barev, ale také umožňují lékařům poznat, kolik detailů na originálním a transformovaném obrázku pozorovatel s poruchou barevného vidění vidí. Aplikace by také

měla umožnit zoomování obrazu pomocí počítačové lupy pro pomoc slabozrakým lidem. Bohužel tato funkce neměla dobré výsledky a M. Divilek navrhl, že optimálnějším způsobem pomoci by byla možnost implementace digitálního čtecího zařízení s hlasovým výstupem.

Je třeba podotknout, že tato práce [20] nebyla testována na pozorovateli s poruchou barevného vidění, takže nelze ověřit správnost dosažených výsledků.

M. Divilek v [20] uvádí, že do budoucna by chtěl program rozšířit a přidat různé typy testů pro diagnostiku defektu barevného vidění a porovnání výsledků jimi získanými. Dále aplikaci také rozšířit o implementace dalších algoritmů nebo zdokonalování stávajících algoritmů pro simulaci poruch barevného vidění a transformaci, pro použití nejen nad statickými obrázky, ale také nad webovými stránkami nebo videi.

4 Softwarová a hardwarová simulace

Tato kapitola je věnována softwarovým a hardwarovým simulátorům, pomocí kterých může návrhář zjistit, jak se mohou obrázky zobrazovat uživatelům s deficitem barevného vidění. Uživatelé používají simulátory ke kontrole obrázků, webových stránek, dokumentů atd. Existuje mnoho simulátorů, takže níže je uvedeno jen několik vybraných.

Podle [46] existují dva způsoby simulace barev, a to softwarová a hardwarová simulace. Softwarová simulace provádí úpravy nebo manipulaci s obrázkem přímo na datech (data mění na základě toho, jak jsou posílána do monitoru pro zobrazení); hardwarová simulace mění vzhled barev na obrazovce monitoru. Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma simulacemi je doba potřebná k provedení simulace, kdy je hardwarová simulace rychlejší [46].

Zdroj [47] poznamenává, že simulace jsou efektivní, ale nejsou dokonalé, jelikož nereprodukuje celkový vizuální vjem lidí s nedostatkem barevného vidění a závisí na zobrazení barev na zařízeních (počítači, mobilu atd.). Je problematické přebarvit obrázek, aby jej bylo možné jednoznačně vnímat se všemi typy defektu barevného vidění současně [48]. Některé odstíny mohou být mimo barevný rozsah. Podle [25] je při používání simulátorů vhodné, aby byl monitor kompatibilní s Adobe RGB namísto s Adobe sRGB. Tímto by nemělo dojít při záměru reprodukce ke změně barev, které jsou mimo gamut. Důležité je poznamenat, že při provádění simulace by měl návrhář pracovat s uživateli s touto poruchou a simulátory by neměly být používány bezmyšlenkovitě [11].

Milan Divilek ve své práci [20] zmiňuje, že modely pro simulaci barev byly vytvořeny na základě toho, že někteří lidé trpící poruchou barvocitu či barvoslepostí mají poruchu vnímání barev pouze na jednom oku. Modely se rovněž liší popisem barev, který je subjektivní. V dnešní době existuje mnoho algoritmů pro převod barev na počítači.

Podle [49] jsou deuteranopie, protanopie a tritanopie typy defektu barevného vidění, které nejsou tak běžné jako mírnější formy poruchy barvocitu s částečnou nebo posunutou citlivostí. Mírnější formy se obtížně simulují, jelikož se tento defekt liší u každého člověka. Pokud je barevné schéma dobře navrženo a je čitelné pro člověka s extrémním poškozením barevného vidění, tak bude snadno čitelné i pro uživatele, kteří mají poškození barevného vidění malé.

4.1.1 Softwarová simulace

4.1.1.1 Vischeck

Masataka Okabe a Kei Ito [25] uvádějí, že Vischeck je jedním z nejpoužívanějších zkušebních programů pro lidi s poruchami barevného vidění. Vischeck funguje jako plugin pro Adobe Photoshop a Image J. Je to bezplatný software pro Windows, Macintosh a Linux. Podle webu Vischeck [50] ho lze použít jako online software, který se dá aplikovat na vlastní soubory nebo na webové stránky, nebo lze stáhnout instalaci, která umožní Vischeck spustit na vlastním počítači.

Podle [51] je Vischeck založen na S-CIELAB vymyšleném ve Wandellově laboratoři na Stanfordské univerzitě. Pro zpracování obrázků využívá ImageMagick, což je volně dostupný balíček pro zpracování obrázků. Kód pro simulaci dichromazie využívá algoritmu, který popsali Hans Brettel, Françoise Vienot a John Mollon. Tato metoda se jmenuje daltonizace a principem je protahování histogramu barev vhodné pro daný typ dichromazie [52]. Pokud ho chce uživatel použít jako online software, tak na příslušné webové stránce [53] lze nahrát obrázek ve formátu PNG nebo JPEG, zadat typ poruchy barevného vidění a program poté obrázek převede do požadované simulace; nebo lze také nahrát přímo webovou stránku (resp. její URL), ale tato možnost je ve vývoji a momentálně nefunkční [54]. Dále [55] uvádí, že při práci s programem ImageJ je nejdříve potřeba stáhnout plugin VischeckJ; oba lze stáhnout zdarma. Poté v nabídce Plugins se zobrazí plugin VischeckJ a stisknutím vybraného tlačítka lze simulovat kterýkoli ze tří typů poruchy barevného vidění na vybraném obrázku.

Účinnost simulace obrazu pomocí programu Vischeck hodnotil například J. Anthony B. Spalding ve svém článku [56]. Je praktickým lékařem, jehož koníčkem je malování. Zároveň trpí poruchou barevného vidění, konkrétně deuteranopií, a hodnotil simulaci některých obrazů Cliftona Puga, který trpěl protanopií. Tyto obrazy transformované pomocí algoritmů Vischeck byly hodnoceny v publikaci [57]. Většina rozdílů, které Spalding viděl mezi původními a simulovanými obrazy, byly rozdíly ve světlosti, nikoli rozdíly v barvě. Způsobeno to mohlo být tím, že pan Pugh byl protanop, zatímco Spalding deuteranop. Z popsaných pozorování lze usoudit, že simulátor Vischeck je spolehlivý. Dále byla účinnost simulace obrazu hodnocena také např. ve studii [58], kde bylo hlavním cílem představit integrované řešení počítačového systému pro simulaci, transformaci a popis barev, které je vhodné pro jedince s dichromazií. Podle [20] nevýhodou tohoto simulátoru je, že nelze nastavit úroveň poruchy a simulace probíhá pouze pro dichromazii (protanopii, deuteranopii a tritanopii).

4.1.1.2 Color Universal Design (CUD) a Adobe

Článek [25] uvádí, že funkce pro kontrolu grafických informací určených pro lidi s poruchou barevného vidění na základě principů Color Universal Design (CUD) jsou k dispozici od roku 2008 v Adobe Photoshop a Illustrator (verze CS4 pro Windows a Macintosh). Funkce byly vyvinuty ve spolupráci Adobe, Color Design Organisation (CUDO), Kei Ita (University of Tokyo) a Mitsuyoshi Maekawy (Industrial Research Institute of Ishikawa). Podle [59] jsou tyto funkce vhodné pro simulaci protanopie nebo deuteranopie.

Způsob použití je uveden v dokumentaci [60]. Je doporučeno před kontrolou splnění požadavků CUD dokument převést do barevného režimu RGB. Pro zobrazení původního dokumentu i kontrolního náhledu se zvolí Okna > Nové okno a uživatel si uspořádá okna pro zobrazení vedle sebe (volitelně). Následně se zvolí Zobrazení > Nastavení nátisku > Barvoslepost a pak se vybere buď typ Protanopie, nebo Deuteranopie. Tímto postupem se přepne obraz mezi originálem a simulací pro deuteranopii nebo protanopii. Umožňuje to rychlý a plynulý přechod mezi originálem a simulací. Také byl tímto způsobem hodnocen i experiment z publikace [11], kterého se zúčastnilo 5 dobrovolníků trpících deficitem barevného vidění a 10 dobrovolníků s normálním barevným viděním. Výsledkem této studie bylo, že většina pozorovatelů s poruchou barevného vidění měla potíže s barevnými kombinacemi, které byly použity v odborných časopisech o psychologii; největší problém způsobovala především červeno-zelená kombinace použitá u křivek grafů. Tyto problémy mohly být odstraněny jednoduchými úpravami, např. nahrazením zelené za modrou.

4.1.1.3 Color Oracle

Color Oracle je simulátor vhodný pro kontrolu map ověřujících, zda jsou všechny barvy na mapě čitelné. Dle [61] se jedná o bezplatný simulátor barvosleposti pro Windows, Mac a Linux. Color Oracle je nezávislý na softwaru, v němž jsou grafická data zpracovávána, protože aplikuje filtr přes celou obrazovku. Tento simulátor simuluje všechny typy deficitu barevného vidění pomocí nejlepšího dostupného algoritmu [62]. Simulace jsou přesné až na výjimky nasycených barev.

Principem tohoto simulátoru podle publikace [49] je, že se spustí simulace výběrem typu barevného poškození v rozbalovací nabídce. Poté si aplikace uloží snímek hodnot pixelů aktuálně zobrazovaných na monitoru a podle toho pixely filtruje. Filtrovaný obraz se pak zobrazí v okně přes celou obrazovku a uživateli se zobrazují barvy monitoru simulované

na barvy vnímané uživateli s touto poruchou. Uživatel může přepínat mezi simulovaným a nesimulovaným obrazem.

4.1.1.4 Fiji

Web [63] popisuje, že Fiji je balíček pro zpracování obrazu, který má řadu pluginů. Publikace [23] Fiji zahrnuje algoritmus simulující poruchu barevného vidění pro uživatele s protanopií, deuteranopií a tritanopií. Simulaci lze nastavit v nabídce Image > Color > Simulate Color Blindness. Fiji rozšiřuje program ImageJ.

4.1.1.5 Webové nástroje na simulaci barev

Publikace [23] uvádí, že do webového prohlížeče Google Chrome lze přidat rozšíření s názvem Chrome Daltonize [64], které je vhodné pro simulaci vnímání uživatelem s poruchou barevného vidění. Chrome Daltonize lze přidat tlačítkem Přizpůsobit a ovládat Google Chrome (nacházející se na pravé straně okna) > Nastavení > Rozšíření > Chrome Daltonize. Po přidání tohoto rozšíření se vedle adresního řádku prohlížeče objeví malé barevné kolečko a kliknutím na něj se otevře nabídka možností, kde si uživatel může vybrat, podle jakého typu defektu barevného vidění chce webovou stránku simulovat. Algoritmus Daltonize v Google Chrome funguje podobným způsobem jako plugin Fiji.

Ve webovém prohlížeči Mozilla Firefox [65] lze rozšíření na simulaci barev zapnout nebo vypnout například pomocí tlačítka Přizpůsobení stránky nového panelu (nacházející se na pravé straně okna) > Rozšíření a vzhledy > Let's get color blind.

Na webových stránkách [66] lze stáhnout webová simulace s názvem Chrometric. Tento nástroj dokáže simulovat osm typů barvosleposti. Chrometric je v podstatě jednoduchý webový prohlížeč umožňující kontrolovat webové stránky. Kromě webových stránek uživatel může simulovat také obrázky, grafy atd.

4.1.2 Hardwarová simulace

4.1.2.1 LCD počítačový displej s integrovaným obvodem ASIC

Společnost EIZO / Nanao Corporation podle článku [25] v roce 2007 uvedla na trh LCD počítačové displeje s integrovaným obvodem pro kontrolu barvosleposti či poruchy barvocitu. Tomuto integrovanému obvodu se říká ASIC [46]. Tato společnost [46] dále spolupracuje se společností Color Universal Design Organization (CUDO). Velkou výhodou tohoto simulátoru je, že zobrazuje obrázky se simulací i bez ní, a to bez ohledu na software. Lze tedy simulovat

fotografie, vektorové obrázky, textové dokumenty, PDF (Portable Document Format), webové stránky, prezentace, ale také například filmy, televizní programy a hry.

Eizo uvádí [46], že tento hardwarový simulátor zobrazuje obsah, aniž by ovlivňoval samotná data. LCD monitor EIZO společně se softwarem UniColor Pro simuluje dva typy barevného deficitu a to červeno-zeleného (protanopie a deuteranopie) a jeden typ deficitu modro-žluté barvy (tritanopie). Tento software kompatibilní pouze s Windows 7 / Vista / XP / 2000 a Mac OS X 10.3.9 nebo novějšími. Uživatel může také pořídít snímky a vytisknout je pro srovnání [46].

5 Příprava grafických dat pomocí univerzálního designu

V následující kapitole bude rozebráno, jak připravit grafická data vhodná pro všechny čtenáře. Kapitola shrne podstatné informace k výběru vhodných barev, úpravě obrázků, grafů, map, webových stránek a informačních tabulí.

Komunikace pomocí barev a porozumění psychologii barev je podle [67] nezbytnou součástí oboru grafického designu, nicméně by měla být volena jako sekundární prvek, nikoliv primární. Je třeba brát v potaz, že i když je barva používána jako sekundární prvek, tak si designér musí být vědom psychologie barev a jejích významů. Publikace [47] popisuje, že v 21. století se používání barev stává stále důležitějším prostředkem přenosu informací, což souvisí také s rozvojem technologií barevného tisku, počítačů, mobilních aplikací, elektronických informačních tabulí atd. Studie [11] poukázala na to, že většina časopisů nepovažuje za důležité, aby zpracování grafických dat bylo vhodné pro čtenáře s normálním barevným viděním a rovněž pro čtenáře s defektem barevného vidění. Příkladem jsou nejčastěji používané publikační manuály jako *The Publication Manual of the American Psychological Association* a *The AMA Manual of Style*, který je významný ve vědě o zraku. Studie [11] dále zmiňuje, že na trhu existuje řada knih a klasických textů o zpracování grafických dat řešících diskusi o výběru barev, ale nezmiňují se o defektu barevného vidění. Časopisy pokračují v přechodu od tisku k online publikování a vědecká data jsou stále více prezentována barevně. Tyto vizualizace dat jsou bohužel často navrženy bez ohledu na miliony lidí, kteří barvy nemohou vnímat jako ostatní. Podle [68] 1 z 15 mužských čtenářů publikace *Eos* může mít problémy s duhovými odstíny barev, často navrženými v mapách, obrázcích a grafech. Publikace [49] zmiňuje, že ve Spojených státech amerických může být dokonce zákonem vyžadován univerzální design (tzv. „bezbariérový“), zvláště když čtenáři musí rychle přečíst nějakou informační grafiku, jako jsou např. evakuační plány v případě nouze. Tento zákon lze najít v § 508 novely zákona o rehabilitaci Američanů se zdravotním postižením (ADA), který požaduje, aby zdravotně postižené osoby získaly stejný přístup k informacím. Tento legislativní požadavek v překladu zní [49]: *„Barevné kódování by nemělo být používáno jako jediný prostředek k přenosu informací, označení akce, výzvě k odpovědi nebo rozlišení vizuálního prvku.“* Publikace [69] navrhuje, aby byly odstraněny bariéry ve fyzickém a digitálním prostředí a aby se přizpůsobila spíše společnost než osoba s fyzickým nebo mentálním postižením. Podle zdroje [25] byla v roce 2004 v Japonsku založena nezisková organizace s názvem *Color Universal Design Organization (CUDO)*, jejímž cílem je zlepšit design nejen publikací, ale i průmyslových výrobků a veřejných prostor. Tato organizace navrhla

např. barevně značené signální systémy linek metra, které jsou blíže představeny v kapitole 5.1.5 Informační tabule. Podle [60] jsou v mnoha zemích na veřejných místech přípustné jenom grafiky, které vyhovují principům CUD. Požadavky CUD zajišťují, aby grafické informace byly dostupné také lidem s poruchou barevného vidění a nebyly ztraceny barevně zprostředkované informace.

Podle webu [25] být přátelský k lidem trpícím defektem barevného vidění neznamena, že by člověk neměl používat barvy, jelikož pro tyto lidi je barva také důležitá k rozlišení různých objektů. Jde tedy o správný výběr barev, které jsou vhodné pro každého. Je třeba si uvědomit, že mezi čtenáři budou vždy lidé trpící touto poruchou a je potřeba při přípravě přizpůsobit grafická data (obrázky, grafy, reklamy, webové stránky, mapy, informační cedule atd.) pro tyto pozorovatele. Mariska Florence Marie Kalmeijer ve své práci [67] vysvětluje, že vizuální komunikace by měla zahrnovat prvky jako je čára, bod, tvar, barva, světlo, vyváženost, barva, kontrast a poměr, jelikož bez těchto prvků nebude design univerzální. Podle [49] je nejlepším řešením použití geometrických tvarů v kombinaci s měnícím se odstínem a saturací. V průzkumu zmíněném v [67] například děti používají tvar jako způsob identifikace vizuálních informací, který upřednostňují před barvou. Dále Masataka Okabe a Kei Ito [25] a společnost Adobe [60] navrhuji, že je důležité při přípravě grafických dat se vyhnout těmto několika situacím:

1. V prvním případě je důležité, aby informace nebyly sdělovány pouze ve formě barvy [25].
2. V druhém případě je důležité, aby texty a objekty nebyly zakryty pozadím [25]. To znamená, že by měl být dostatečný kontrast v sytosti a jasnosti mezi textem/objekty a pozadím. Měla by být navržena taková grafika a kombinace barev se stejným jasnem, odlišná pouze v odstínech. Světlé texty/objekty by měly být na tmavém pozadí nebo naopak. Například červený objekt na zeleném pozadí je nečitelný pro člověka s poruchou barvocitu nebo barvoslepostí. Nebo například červený text či grafické informace na tmavém pozadí (lze i obráceně) jsou pro lidi s poruchou barvocitu také nečitelné (zejména pro někoho, kdo má protanopii nebo těžkou protanomálii). Zdroj [60] doporučuje, že změnu jasnosti nebo odstínu barev lze upravit změnou čistě červené za oranžově červenou a namodralou zelenou za žlutozelenou. Šedá je často zaměňována s purpurovou, světle růžovou, světle zelenou a smaragdově zelenou. Dále je třeba se vyhnout následujícím kombinacím: červená a zelená, žlutá a jasně zelená, světle modrá a růžová, tmavě modrá a fialová.

3. Ve třetím případě by text/objekt neměl být malý nebo tenký [11, 25]. Grafík by měl vytvářet texty a objekty co největší a nejsilnější. Například by měl použít tučné písmo jako například Arial nebo Helvetica namísto tenkého Times. Helvetica je podle [67] jedním z nejoblíbenějších typů písma, který používají například společnosti Nestlé a Toyota. Helvetica je dobře navržený typ písma, které je dobře čitelné a vyniká svými tvary.
4. Ve čtvrtém případě je třeba se vyhnout červené barvě [25]. Pro lidi s poruchou barvocitu je červená stejně tmavá jako tmavě zelená nebo modrá, zejména pro pozorovatele s protanopií, protože tmavě červená pro ně vypadá téměř jako černá. Tento problém lze vyřešit nahrazením čisté tmavě červené barvy (RGB = 100%, 0%, 0% nebo #FF) a použitím červené barvy zvané vermilion (žlutavě červená se zkrácenou vlnovou délkou: RGB = 100%, 32%, 0% nebo #FF2000) nebo světle červené (ve směsi s bílou: RGB = 100%, 8%, 8% nebo #FF1414).
5. V pátém případě je vhodné používat hranice mezi barvami [60].
6. V posledním případě je třeba používat různé styly a rodiny písem [60].

Aby podle [67] bylo správně navržené barevné kódování tvarů a symbolů, tak musí být označení pochopitelné a tvary musí být jednoduché, obklopené plnými barevnými oblastmi, vysokým kontrastem s pozadím a čitelné z větší pozorovací dálky.

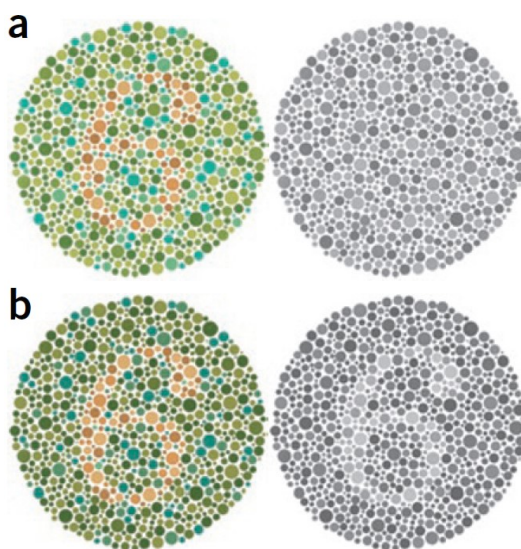
Zobrazení grafiky ve stupních šedi při návrhu je podle [67] zásadní bez ohledu na případnou poruchu barevného vidění, jelikož při vypuštění barevné informace by grafika měla být stále čitelná a rozlišitelná. Je nutné barvy a prvky vybrat tak, aby jejich informace při černobílé verzi nezanikly.

Experiment z publikace [11] vypovídá o tom, že tyto úpravy jsou důležité, jelikož pozorovatelům dělala problém grafika s velmi tenkými čarami, kterou nezlepšila ani úprava barev pomocí simulátoru. Grafika by byla očividná, pokud by se úprava barvy kombinovala s úpravou zesílení čáry. Další nejasnosti vyjadřovala grafika s použitím červeno-zelené barevné kombinace mezi grafickým prvky.

Dále je třeba si také uvědomit, že při tisku budou obrázky ztrácet intenzitu signálu barev oproti návrhu v počítači [25]. Barvy mají tendenci vypadat odlišně na monitoru počítače ve srovnání s tištěnými materiály, které jsou navíc ovlivněny materiálem a světelnými podmínkami, za kterých jsou zobrazeny.

Podle [49] je nejlepší řešení, pokud se v grafickém návrhu použijí geometrické tvary v kombinaci s měnícím se odstínem a saturací.

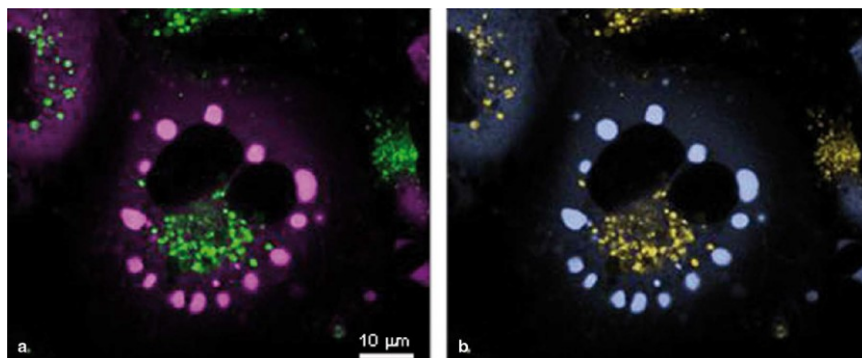
Bang Wong v publikaci [70] uvádí, že Ishiharův test se záměrně zaměřuje na barevný odstín, aby se vytvořil kontrast, což lze vidět na obr. 6a. Obrázek 6b ilustruje, že pro lidské oko je snadnější rozlišit barvy lišící se kromě odstínu i v attributech světlosti a sytosti.



Obrázek 6: Testovací políčko z Ishiharova testu v barevné verzi a ve stupních šedi: (a) původní, kde by v barevné verzi pozorovatelé s normálním barevným viděním měli vidět číslici 6, (b) upravené změnou světlosti pozadí číslice, což zlepšilo kontrast i ve stupních šedi [70]

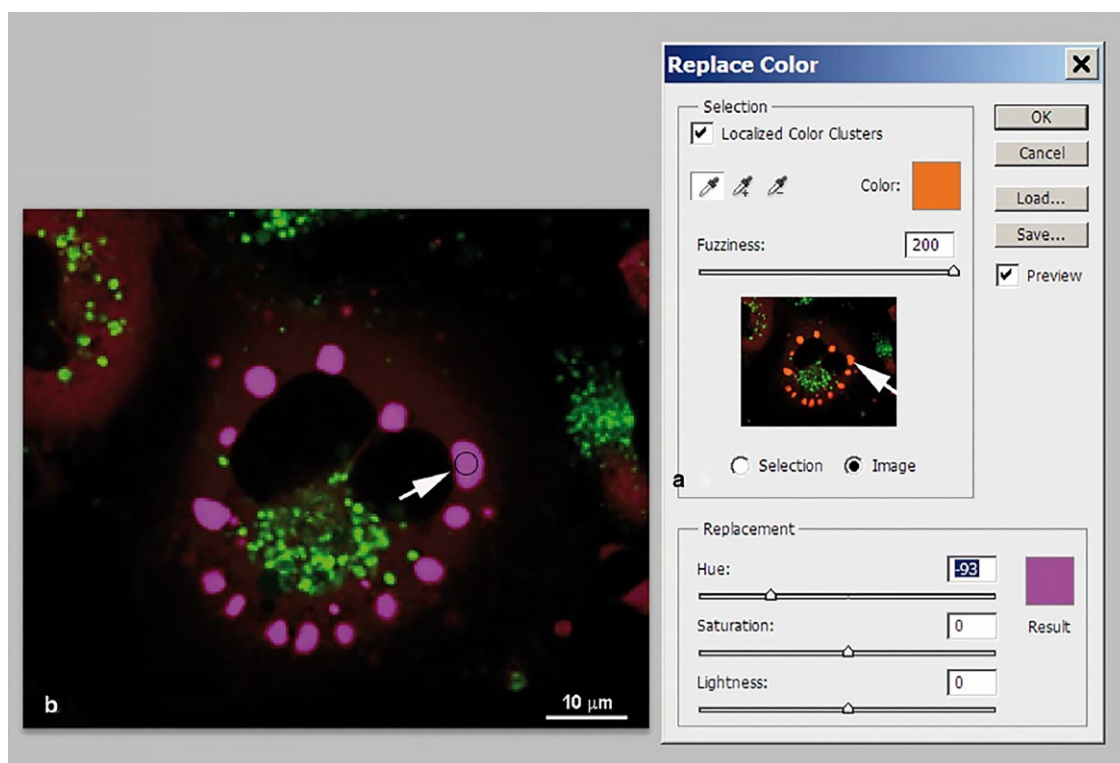
Mariska Kalmeijer ve své práci [67] zmiňuje, že při navrhování je nejdůležitějším prvkem tvar, jelikož tvar oko rozpozná ještě před barvou. Byl například navržen semafor, kde měla světla různé tvary, protože většina lidí s poruchou barevného vidění dokáže rozlišit barvy semaforů na základě umístění světel. Červený trojúhelník znamenal stůj, oranžový obdélník znamenal pozor a zelený kruh volno. Dalším důležitým prvkem designu dle [67] je rovnováha pozitivního a negativního prostoru, jako má například světově známá značka Coca-Cola, která použila styl písma známý jako Spencerian script (dle P. R. Spencera).

Podle [23] Fiji nabízí řešení nahrazení červené barvy za purpurovou jedním tlačítkem v nabídce *Obraz > Barva > Změnit červenou na magentu*. Tato volba je vhodná při použití červeno-zelené barevné kombinace. Tímto nahrazením je barevná kombinace vhodná pro všechny. Toto řešení lze vidět na obr. 7. Fiji je vhodný nástroj pro pracovníky pracující v biologických vědách.



Obrázek 7: Červená část červeno-zeleného obrazu je převedena ve Fiji na purpurovou, což umožňuje výrazný kontrast jak pro lidi s normálním barevným viděním (a), tak pro jednotlivce s barevnou poruchou deuteranopií (b) [23])

Publikace [23] také navrhuje řešení nahrazení jedné barvy za jinou pomocí Adobe Photoshop. Nahrazení lze najít v Obrázek > Úpravy > Nahradit barvu. Řešení lze vidět na obr. 8. Tato metoda nahrazování barev je upřednostňována.



Obrázek 8: Červená část červeno-zeleného obrazu je převedena na purpurovou barvu v programu Adobe Photoshop [23]

V Adobe Photoshop si uživatel může zvolit barevný režim, ve kterém bude pracovat, což se podle zdroje [23] provádí v **Obraz > Režim > [Režim obrázku]**. Uživatel si může zvolit indexovanou barvu, RGB, CMYK, Lab nebo stupně šedi. Při úpravách obrázku je vhodný RGB režim, jelikož je jeho gamut barev nejširší. Pokud se bude obrázek tisknout, je vhodné ho poté převést do režimu CMYK.

Podle [23] Adobe Photoshop neumí převedení červené barvy na purpurovou jedním tlačítkem jako např. Fiji zmíněný v přechozí podkapitole. Pokud chce uživatel provést nahrazení jedné barvy za jinou, nastaví se obrázek na režim RGB, poté se provede výběr: **Obraz > Přizpůsobení > Nahradit barvu**. Následně se otevře okno **Nahradit barvu**, kde se zaškrtně políčko „Lokalizované seskupení barev“, zvolí se nástroj kapátko, nastaví se rozostření na hodnotu 200, klikne se na: **Výběr a následně se kliknutím vybere barva, kterou uživatel chce změnit**. Následně úpravou posuvníku políčka **Odstín** se nahradí původní barva na požadovanou. Pokud již byla deuteranopie nebo protanopie vybrána pomocí **Zobrazení > Nastavení kontrolního náhledu**, volba: **Zobrazení > Kontrolní náhled barev** umožní živou simulaci nedostatku barevného vidění při úpravě posuvníku **Odstín**. Publikace [70] ještě doporučuje jeden způsob nahrazení červené barvy za purpurovou a to takový, že se zkopíruje obsah z červeného kanálu v nastavení **Okna > Kanály** a vloží se do modrého kanálu (červená se míchá s modrou a vytváří purpurovou). Stisknutím klávesy **Ctrl** na klávesnici se otevře malá vizualizace původního neupraveného obrazu [23]. Podobným způsobem mohou být upraveny grafy a tabulky, což je znázorněno na obr. 13 v kapitole 5.1.3 Grafy.

5.1.1 Barvy

Christine Rigden ve své publikaci [22] uvádí, že pokud je správně navržena grafika, tak barva není nikdy primárním vodítkem pro hledání informací. Informace by měly být zřejmé i bez barvy a barva zvolena pouze jako prostředek zdůraznění. Problémem v dnešní době je bohužel to, že se barva používá jako primární informační prostředek.

Pro zvýšení přístupnosti grafického návrhu lze transformaci barev na počítači udělat několika způsoby. Algoritmy pro transformaci barev umožňují vypočítat, jak se barvy jeví uživatelům s určitými typy poruchy barevného vidění [22]. Web **Vischeck** [71] doporučuje například provedení zvýšení kontrastu mezi červenou a zelenou barvou. Podle [20] je tato úprava vhodná především pro lidi, kteří mají protanopii nebo deuteranopii. Pro lidi trpící tritanopii je vhodné zvýšit kontrast mezi modrou a žlutou barvou.

Obtížně rozpoznatelné barvy se podle [71] mohou převést na rozpoznatelné. Může se například provést převedení spektra s červenou a zelenou barvou do spektra s modrou a žlutou barvou. Tato volba je vhodná pro člověka s protanopií nebo deuteranopií [20]. Pro člověka trpícího tritanopií platí opačný způsob převedení barev. Oba tyto způsoby se mohou kombinovat. Nejedná se tedy o univerzální řešení, je vhodné spíše pro nástroje využívané lidmi s konkrétní poruchou.

Existuje sada barev, která byla navržena tak, aby byla jednoznačná pro lidi s normálním barevným viděním i pro lidi s defektem barevného vidění [25]. Návrh palety je zobrazen na obr. 9. Při kombinaci barev z této palety je vhodné kombinovat teplé a studené barvy a pokud jsou použity dvě teplé barvy nebo dvě studené barvy, tak by měly být u barev výrazné rozdíly v jasnosti nebo sytosti [25].

| Original | Simulation | | | Hue | for Photoshop, Freehand, etc. | Illustrator | for Word, Power Point, Canvas, etc. | | |
|----------|------------|--------|--------|-----|-------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|--------------|
| | Protan | Deutan | Tritan | | C, M, Y, K (%) | R, G, B (0–255) | R, G, B (%) | | |
| 1 | | | | | Black | – ° | (0, 0, 0, 100) | (0, 0, 0) | (0, 0, 0) |
| 2 | | | | | Orange | 41 ° | (0, 50, 100, 0) | (230, 159, 0) | (90, 60, 0) |
| 3 | | | | | Sky Blue | 202 ° | (80, 0, 0, 0) | (86, 180, 233) | (35, 70, 90) |
| 4 | | | | | bluish Green | 164 ° | (97, 0, 75, 0) | (0, 158, 115) | (0, 60, 50) |
| 5 | | | | | Yellow | 56 ° | (10, 5, 90, 0) | (240, 228, 66) | (95, 90, 25) |
| 6 | | | | | Blue | 202 ° | (100, 50, 0, 0) | (0, 114, 178) | (0, 45, 70) |
| 7 | | | | | Vermillon | 27 ° | (0, 80, 100, 0) | (213, 94, 0) | (80, 40, 0) |
| 8 | | | | | reddish Purple | 326 ° | (10, 70, 0, 0) | (204, 121, 167) | (80, 60, 70) |

Obrázek 9: Paleta barev navržena pro čtenáře s normálním barevným viděním a poruchou barevného vidění (adaptováno z [25])

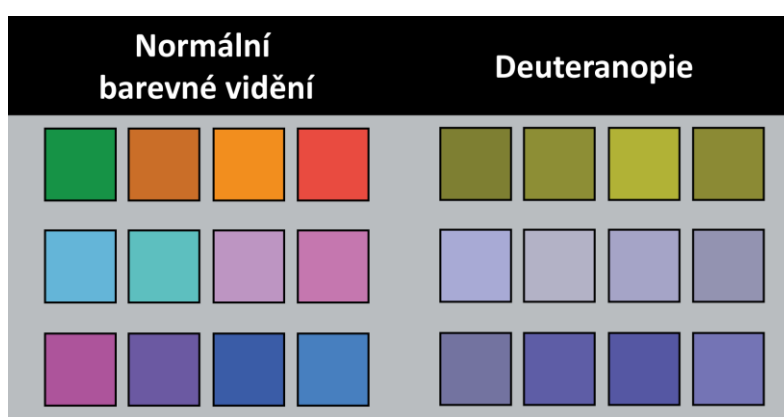
Podle publikace [11] u prvků v popředí (body a křivky) byly zvoleny jako jasně viditelné a vzájemně se od sebe lišící následující tři barvy: černá (RGB #000000), modrá (#0000FF) a červenooranžová (#FF4400). Například imunofluorescenční obrazy na černém pozadí tradičně používají červené (#FF0000) a zelené (#00FF00) kanály, které tvoří překrývající se žluté (FFFFFF00). Doporučuje se místo toho použít purpurové (#FF00FF) a zelené (#00FF00) kanály, které se překrývají do bílé (FFFFFF).

Zdroj [68] uvádí, že barvy lze upravit pomocí jejich intenzity, čímž se zesílí barevné rozlišení jako vizuální indikátor velikosti či důležitosti. Intenzita může být také označována jako světlost, jasnost (zářivost) nebo svítivost. Ačkoli lze vybrat barevné odstíny rozlišitelné

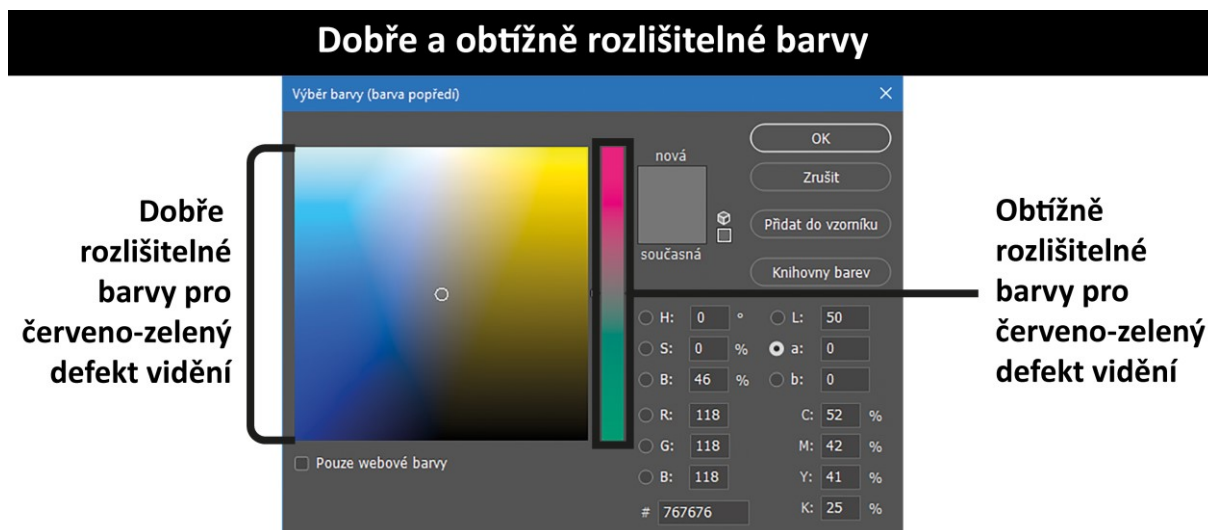
pro jedince s poruchou barvocitu i s normálním viděním, intenzita všem umožňuje snadno vnímat posloupnost. Při použití barev rozdílných intenzitou i odstínem je pro správnou prezentaci také méně kritická kvalita reprodukce barev a určitou čitelnost si zachová i černobílá kopie.

Podle [11] mají čtenáři s poruchou barvocitu či barvoslepostí problém rozlišit tmavé a pastelové barvy. Žlutá barva je často odlišná od ostatních odstínů, ale mnohokrát není jasné vidět na bílém pozadí. Barvy jednotlivých barevných kanálů při hledání vhodných kombinací je možné měnit např. podle simulátorů zmíněných výše v kapitole 4.1.1 Softwarová simulace; a jakoukoliv změnu barvy lze také např. výběrem ze vzorníku.

Podle publikace [49] uživatelé trpící červeno-zeleným defektem barevného vidění mají problém s barvami, jako jsou tmavě zelená, hnědá, oranžová a tmavě červená. Pro tyto uživatele vypadají jako olivově-zelené tóny. Méně saturované modré, tyrkysové a fialové barvy jsou vnímány jako nerozeznatelné světle fialovo-modré barvy. Saturované fialové a různé modré tóny se jeví jako téměř identické namodralé tóny. Proto by návrháři měli být opatrní s kombinacemi těchto barev. Na obr. 10 lze vidět příklady těchto barev, jak vypadají pro pozorovatele s touto poruchou. V obr. 11 jsou označeny barvy v rovině b^* barevného prostoru CIELAB, které může pozorovatel s červeno-zeleným deficitem barevného vidění dobře rozlišit [49], a ostatní barvy, které rozlišuje obtížně nebo vůbec. Počet barev, které tyto uživatelé dokážou rozlišit, je poměrně malý.



Obrázek 10: Simulace barev, jak se jeví čtenářům s normálním viděním a deuteranopií (adaptováno [49])



Obrázek 11: Barevný režim Lab ve Photoshopu lze použít k prozkoumání červeno-zeleného defektu vidění (adaptováno [49])

Je vhodné při práci s barvami také používat simulátory, které jsou popsány v kapitole 4.1.1 Softwarová simulace. Postup nahrazení barevných kombinací je např. popsán v kapitole 5 Příprava grafických dat pomocí univerzálního designu.

5.1.2 Obrázky

S vhodně zvolenou barvou souvisí zpracování obrázků. Podle [25] by například při zpracování mikroskopických obrazů měla být zvolena barevná kombinace srozumitelná pro všechny. U mikrofotografií se třemi nebo více kanály je vhodnější použít každý kanál ve stupních šedi nebo zvolit například kombinaci dvou nejdůležitějších kanálů v purpurové a zelené barvě [25].

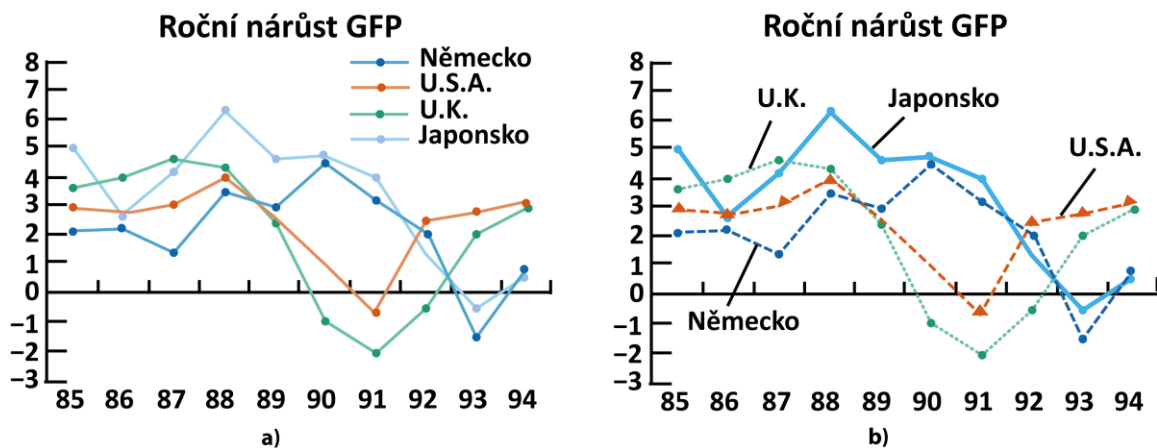
Nejčastější barevnou kombinací používanou při zpracování mikroskopických obrazů, a nejenom jich, je červeno-zelená kombinace. Jak již bylo několikrát zmíněno, tuto kombinaci barev se nedoporučuje používat [25, 48]. Červeno-zelená kombinace není vhodná z důvodu, že lidé s protanopií či protanomálií a deuteranopií či deuteranomálií tyto barvy vůbec nevidí [11, 48]. Místo této kombinace je vhodnější použít například kombinaci purpurovo-zelenou (nejčastější volba), modro-červenou, modro-oranžovou a další [25, 48]. Nicméně Landini a Perryer v publikaci [48] poukazují na to, že přebarvení obrázku z červeno-zelené na purpurovo-zelenou kombinaci přináší problém v tom, že pozorovatelé s protanopií a deuteranopií vnímají purpurovou barvu jako namodralou a původní zelenou barvu jako žlutohnědou. To znamená, že i když lze barvu rozlišit, ale chybí legenda s čísly, která označuje

skutečný název barev, tak je problematická komunikace mezi pozorovateli s normálním barevným viděním a uživateli s protanopií a deuteranopií. Z toho důvodu je více vhodné použít modro-žlutou barevnou kombinaci než purpurovou-zelenou, jelikož zachovává rozlišovací schopnost u obou typů pozorovatelů (s normálním barevným viděním, protanopií nebo deuteranopií). Na tento návrh Landiniho a Perryera reagoval Wong [48], který tvrdí, že tento návrh není vhodný při zpracování obrazů konfokálních mikroskopů. U tohoto typu obrázků se barevné informace obvykle zobrazují na černém pozadí a modrá barva je na černém pozadí obtížně viditelná a může dojít ke ztrátě barevné informace. Barvy s purpurovo-zelenou kombinací jsou viditelnější a je méně pravděpodobné, že dojde ke ztrátě informace. Nakonec došel k závěru, že žádná barevná kombinace není ideální a výhody určitých barevných kombinací závisí na kontextu.

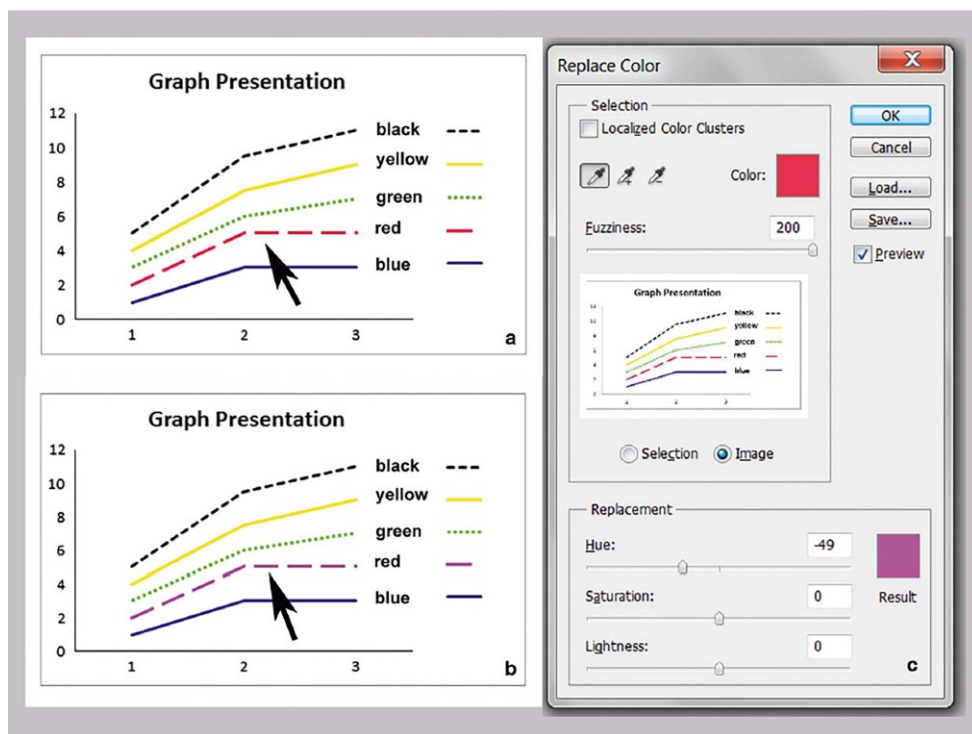
5.1.3 Grafy

Lidé trpící nedostatkem barevného vidění se často setkávají s grafy (ačkoliv záleží na povolání, studiu atd., jelikož někdo se s grafy neseťkává téměř vůbec), které mají mnoho barev a takové grafy jsou pro ně problematické. Podle zdrojů [11, 25] by se při zpracování grafu neměla používat pro kódování pouze barva. Je důležité používat barvu a různé tvary k odlišení jednotlivých křivek. Neměly by se také používat příliš malé a tenké prvky (především v legendě).

Správně navržený graf podle [25] může přenášet dostatek informací a být srozumitelný i bez použití barev (v černobílé verzi). Proto by měly být pro usnadnění rozpoznávání barev použity silnější linky a větší symboly. Dalším řešením je použití různých typů linek, například plné a tečkované, jelikož vypadají jinak i bez rozlišení barvou. Pro body je vhodné používat různé symboly jako kruhy, trojúhelníky, čtverce a další. U položek legendy je důležité je zobrazovat přímo v grafu a spojit je s danými křivkami tenkými čarami. Obrázek 12 ukazuje graf ročního nárůstu GFP v závislosti na procentech a rocích, který je nesprávně a správně navržený pro lidi s poruchou barvocitu nebo barvoslepostí. Dále na obr. 13 je ukázka toho, jak lze v programu Adobe Photoshop nahradit např. červenou barvu za purpurovou pomocí funkce Nahradit barvu. Tuto možnost lze ovšem využít v případě, kdy je k dispozici jen rastrový obrázek grafu, tj. nelze vhodné barvy v grafu nastavit přímo ve zdrojové aplikaci, v níž je vytvořen.



Obrázek 12: a) Nesprávně upravený graf, kde je jako komunikační prvek použita pouze barva. Obr. b) Správně upravený graf, kde jsou použity různé typy linek a popisky jsou zobrazeny přímo v grafu a spojeny s křivkami tenkými čarami (adaptováno z [25])



Obrázek 13: Ukázka úpravy odstínu barvy grafu v softwaru Adobe Photoshop, kde byla červená přerušovaná čára (a) nahrazena purpurovou přerušovanou čarou (b), označeny šipkami. Tato úprava byla realizována pomocí nástroje Nahradit barvu (c) [24]

5.1.4 Mapy

Pro lidi s poruchou barvocitu či barvoslepostí je důležitý tzv. univerzální bezbariérový design, a to zejména v situacích, kdy má čtenář velmi omezený čas na čtení map a informačních grafik, jako je např. čtení evakuačního plánu v mimořádných situacích. Například James

Sammons, který je barvoslepý, v publikaci [68] uvádí, že během jeho služby, kde pracoval jako navigátor na palubě amerického námořnictva, používal Námořní hydrografický úřad namísto červené barvy purpurovou a šedou barvu.

Adéla Šujanová ve své práci [72] uvádí, že vizualizaci map řeší do jisté míry adaptivní kartografie. Jde o jeden z nových přístupů v kartografii, která spočívá v tom, že dnešní mapy, distribuované elektronicky nabízejí uživatelům změnu měřítko, zobrazeného obsahu a vizualizace podle požadavků a potřeb každého uživatele, oproti tištěným mapám. Je potřeba dynamického vizualizačního systému získávající kontextové informace o uživateli a zajišťující změnu způsobu reprezentace jevů na mapě.

Bernhard Jenny a Nathaniel Kelso v publikaci [49] uvádí, že při úpravě barevného schématu musí kartograf nebo návrhář upravit data tak, aby všem čtenářům poskytoval rovný přístup k informacím. Mapy by měly být snadno čitelné. Dále dle [72] standardizace barev v kartografii (např. žlutá pro horniny třetihor v geologických mapách, modrá pro chladné oblasti v klimatických mapách) usnadňuje orientaci, takže není nutné čtení legendy a vrácení se pohledem do mapového pole. Kartograf nebo designér by měl používat barvy se silným kontrastem a doplňkovými vizuálními proměnnými, jako jsou variace velikosti, tvaru a vzoru [49, 72]. Díky této kombinaci lze mapu číst bez použití barev. Publikace [49] popisuje navržení schematické dopravní mapy používající popisky pro linky metra a stanice, které jsou navrženy přímo u linek a jednotlivých stanic. Jak již bylo zmíněno, lidé s deuteranopií nemohou interpretovat červeno-zelené schéma, protože odstíny červené a zelené vypadají jako nerozeznatelné odstíny olivově zelené. Vhodnější je nahradit červeno-zelenou kombinaci za fialovo-zelenou [49]. Odstíny barev by měly být rozlišeny sytostí a světlostí, aby byl velký kontrast s vhodným rozdílem v jasnosti a saturaci, a co nejmenší počet barev. Nebo by odstíny barev měly být odlišeny alespoň pomocí šrafování [49]. Publikace [72] doporučuje, že je vhodné nepoužívat více než 5 barev.

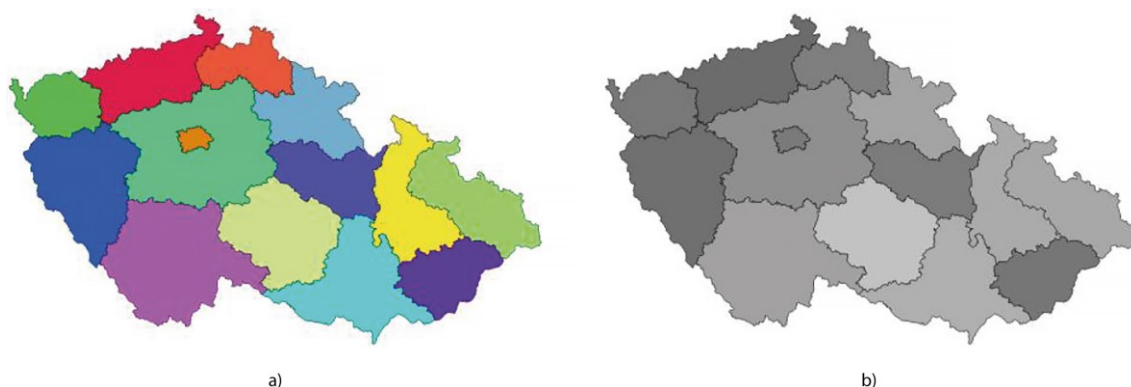
Podle publikace [49] je pro větší přehlednost návrhu mapy a lepší čitelnost vhodné:

- Vybrat jednoznačné barevné kombinace.
- Použít alternativní vizuální proměnné.
- Prvky vysvětlovat přímo v mapě.

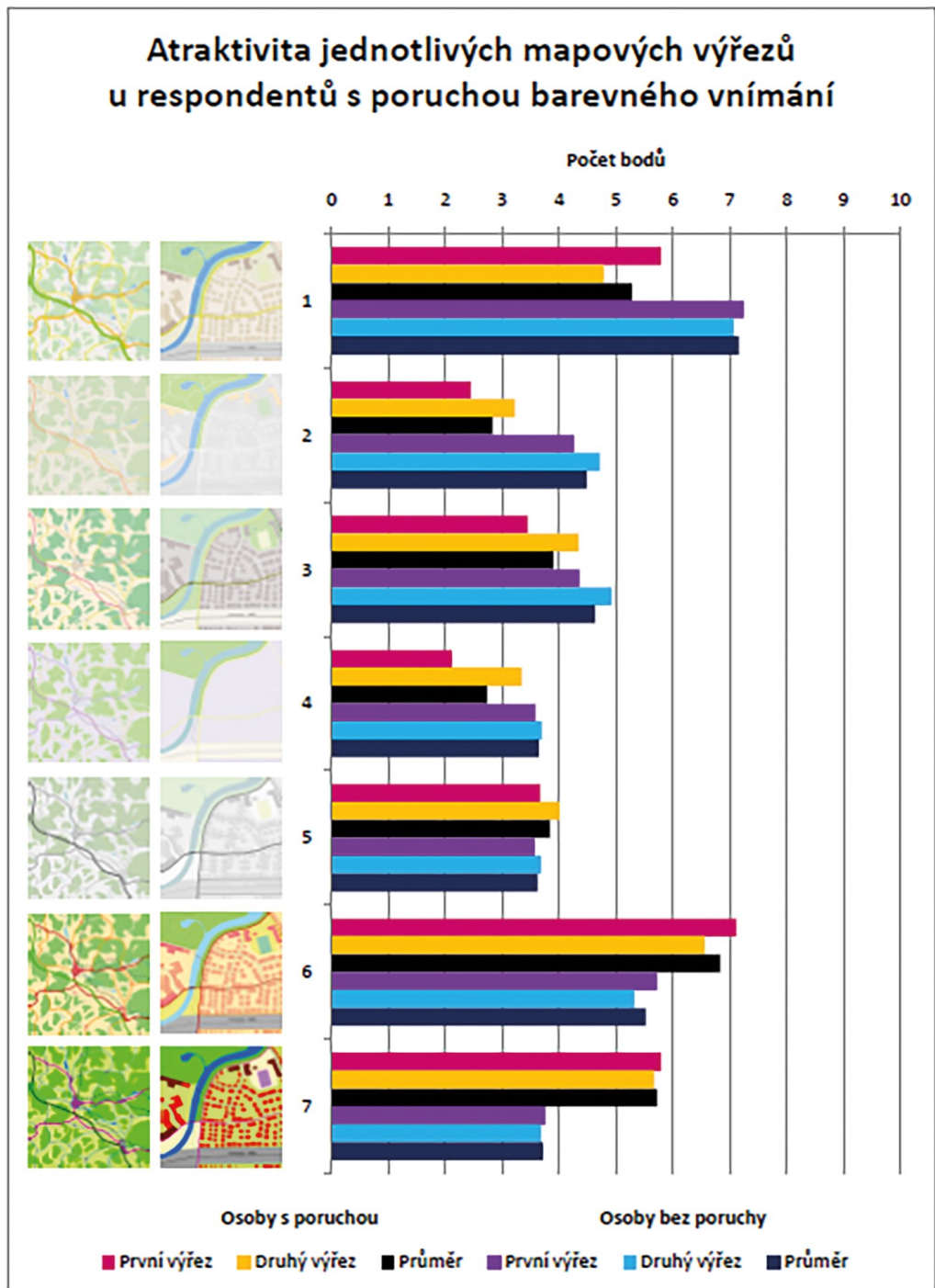
Publikace [72] rovněž uvádí, že je důležité u map počítat i s černobílou kopií nejen z důvodu, aby byla mapa čitelná pro všechny čtenáře, ale také z důvodu rozmnožování map jejich kopírováním. I z tohoto dalšího důvodu je nutné barvy vybrat tak, aby jejich informace při

černobílé verzi nezankly. Je důležité tedy barevnému schématu navrhnout dostatečný tonální kontrast, respektive aby se co nejvíce lišily jasně. Tímto lze v černobílé podobě jednotlivé prvky od sebe dostatečně odlišit. Na obr. 14 je uveden příklad, kdy tonální kontrast použitých barev je nízký, ale jelikož jsou jednotlivé plochy odděleny plnou černou čarou na hranicích krajů, nejde o tak velký problém. Problém by způsobovalo, kdyby kraje nebyly čarou ohraničeny nebo kdyby plochou procházela cesta a prvky pro plochu i cestu by měly podobný jas. Takto navržená mapa by byla nejasná a nebylo by prvky možné rozeznat. Bylo zjištěno, že čtenáři se zhoršeným barevným viděním chybují při pojmenování hraničních čar terénů na vícebarevných mapách a chybují také při pojmenování barvy u snímků radaru na počasí [49].

Publikace [49] říká, že v případě tištěné grafiky je důležité, aby mapy a informační grafika byly navržena tak, aby byly dobře čitelné. Používání jenom simulátorů zraku nestačí a je proto důležité, aby byla mapa navržena podle výše zmíněných doporučení. Studie [72] zkoumala problematiku barevnosti map. Této studii se zúčastnilo 828 respondentů a 9 z nich trpělo nějakou poruchou barevného vnímání, o které respondenti věděli. Jelikož se studii zúčastnil malý počet účastníků s poruchou vnímání barev, tak z výsledků nelze stanovit žádné univerzálně platné závěry. Respondenti s poruchou vnímání barev preferovali hodně kontrastní barevné provedení map. Naopak mapy s tlumenými barvami a malým kontrastem respondenti hodnotili spíše negativně při hodnocení různých barevných schémat map. Dále jeden účastník s touto poruchou také uvedl, že preferoval noční režim sloužící primárně k tomu, aby čtenáři nebyli příliš oslňováni displejem zářícím ve tmě (tento režim podporují jenom některé mapové aplikace). Nejhůře respondenti s poruchou barevného vidění hodnotili Mapy Google. Na obr. 15 jsou uvedeny výsledky této studie pro sedm barevných schémat.



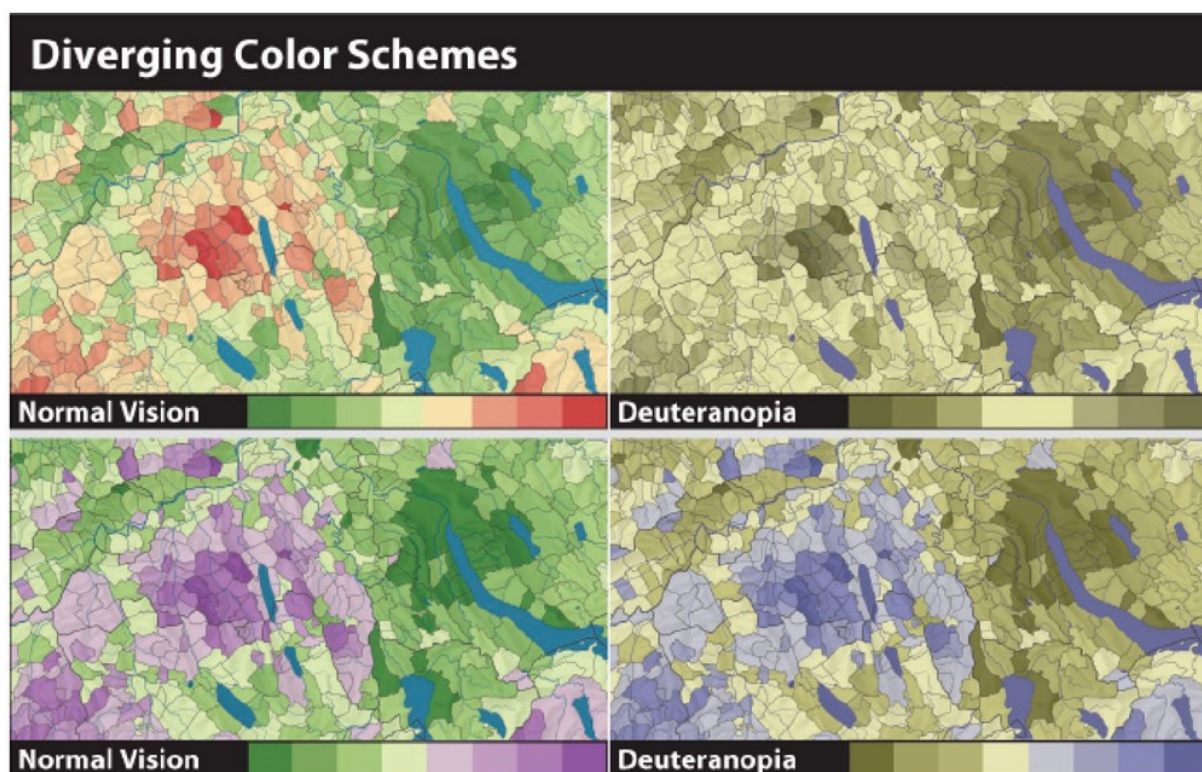
Obrázek 14: Ukázka návrhu mapy a) se špatným tonálním kontrastem v barevné verzi, b) její černobílé verzi [72]



Obrázek 15: Průměr získaných bodů jednotlivých mapových výřezů u respondentů s poruchou barevného vnímání v porovnání s ostatními [72]

Zdroj [49] uvádí, že jsou mapy často čtené za špatných světelných podmínek v místnosti, chodbě nebo stanici metra. Pozorovatelé s poruchou barevného vidění nevnímají fialovou barvu lepší než červenou, i přestože jsou tyto dvě barvy na opačných koncích barevného spektra [68]. Proto není vhodné nahrazovat barvu barvou z opačného konce. Dále by grafik měl opatrně

používat žlutou barvu a vyhnout se žluto-zeleným barvám ve spektrálních schématech, protože barvoslepí lidé si často pletou žluto-zelenou s oranžovými barvami. Na obr. 16 je podle [49] ukázka špatně a správně zvolené kombinace barev pro čtenáře trpící deuteranopií. Kombinace zelené a purpurové barvy je čitelná na plochy se zemí; ale zase splývají vodní plochy i pro čtenáře s normálním barevným viděním.



Obrázek 16: Barevné schéma mapy. Čtenáři s deuteranopií nemohou interpretovat červeno-zelené schéma v horní řadě. Ve spodním řádku nahrazeno za purpurově zelené schéma [49]

Publikace [49] uvádí důležitost v rozlišování linek. Barevné linky na mapách mohou být navrženy tak, že se jejich popisky uvedou přímo v mapě. Toto řešení snižuje potřebu se odkazovat na legendu mapy a je také efektivnější než návrh, kde jsou pouze různé šířky tahů linek. Dále je doporučena kombinace změny odstínu a nasycení s měnícími se vzory čar a s anotacemi. Vzory jako například čárkovaná nebo tečkovaná linka atd. mohou nechtěně evokovat kvalitativní nebo kvantitativní význam a vytvářet vizuální šum, ale pro složité mapy s větším počtem tříd čar toto řešení může být nezbytné. Takovéto řešení je ukázáno na obr. 17 a obr. 18.

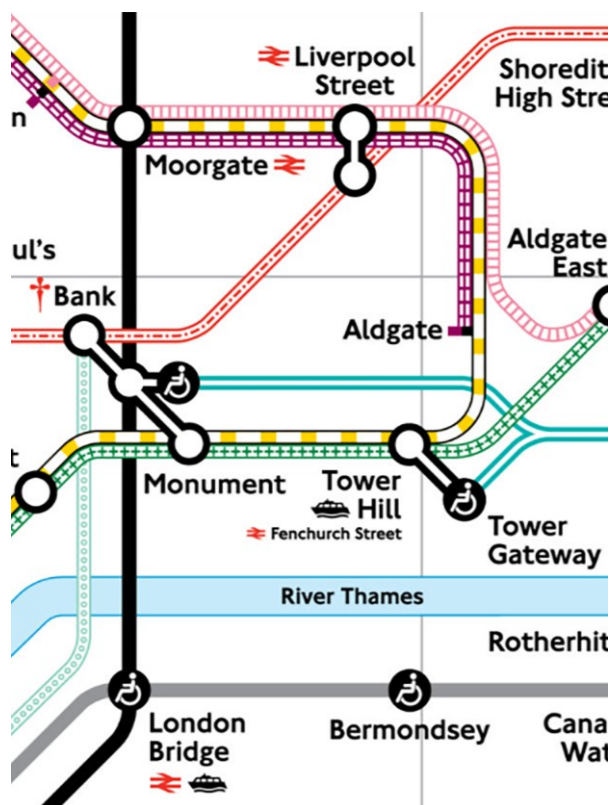
Příkladem správně navržené mapy je např. mapa londýnského metra, kterou lze vidět na obr. 19 a obr. 20. Tato mapa podle doporučení zdroje [49] ukazuje příklad schematické dopravní mapy používající popisky pro linky metra a stanice. Čtenáři mohou následovat čáru k jejímu označení, aby rozpoznali trasy přímo na mapě, aniž by se spoléhali na barevně označenou legendu. Podle [67] se jedná o jednoduché a elegantní schéma 249 mil dlouhé sítě metra. Je zde použito písmo Johnston, barvy vhodné pro oba typy čtenářů (s normálním barevným viděním a poruchou barevného vidění), zaujme oko skrz tvary a má dobrou celkovou kompozici.

| Třídy bodů | | | | | |
|--|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--|
| | Špatný Odlišování odstínem | Mizerný Různá saturace | Lepší Změněné odstíny | Nejlepší Různé vzory | V černo-bílé kombinaci také nejlepší |
| Normální vidění Bez poruchy | | | | | |
| Deuteranopie Červeno-zelený defekt vidění | | | | | |
| Protanopie Červeno-zelený defekt vidění | | | | | |

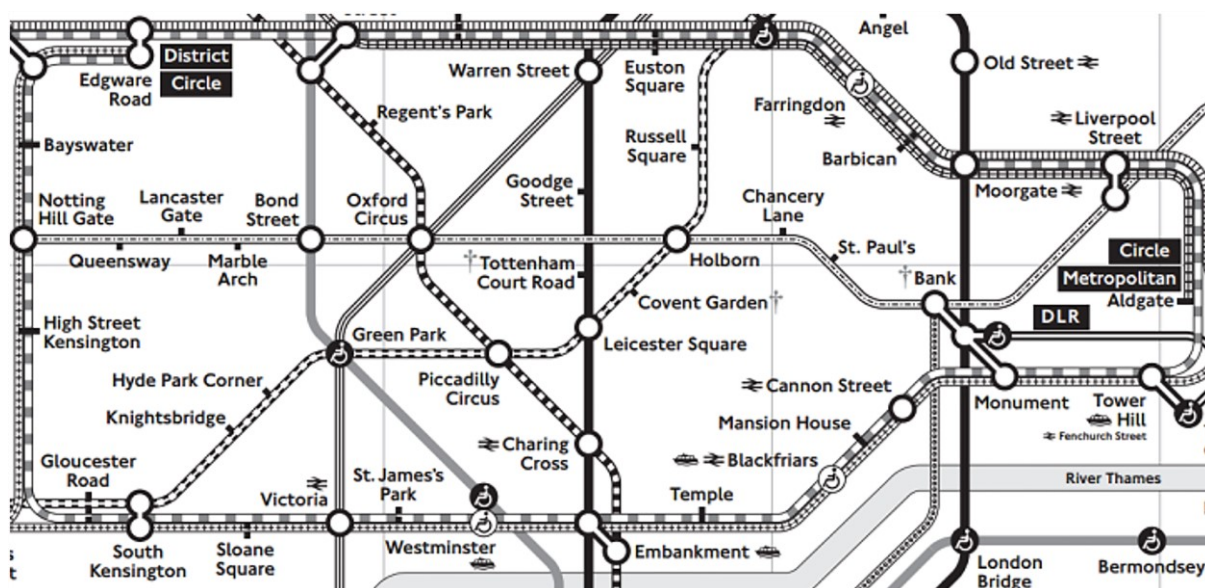
Obrázek 17: Třídy bodů typické pro tečkovou mapu odlišující se nasycením, odstínem a tvarem (adaptováno z [49])

| Třídy čar | | | | | | |
|--|----------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| | Špatný Odlišování odstínem | Mizerný Šířka a saturace | V pořádku Anotace | Dobry Změněné odstíny | Lepší Různé vzory | Nejlepší Kombinace všeho |
| Normální vidění Bez poruchy | | | | | | |
| Deuteranopie Červeno-zelený defekt vidění | | | | | | |
| Protanopie Červeno-zelený defekt vidění | | | | | | |

Obrázek 18: Třídy čar rozlišené podle šířky a saturace, anotace, odstínu a vzoru čar (adaptováno z [49])



Obrázek 19: Mapa londýnského metra snadno čitelná pro uživatele bez poruchy barevného vidění i s poruchou barevného vidění [73]



Obrázek 20: Černobílá verze mapy londýnského metra pro pozorovatele s poruchou barevného vidění [73]

5.1.5 Informační tabule

Mezi příklady použití upravené informační tabule pro lidi s poruchou barevného vidění článek [74] uvádí ten, kdy nezisková organizace CUDO dostala žádost od japonských železnic, aby se barevně upravil návrh jízdních řádů tokijského metra. Tento jízdní řád byl upraven pomocí bezbariérového designu CUD. Jako důležitý faktor byly zohledněny i světelné podmínky. Ukázky špatně a správně navrženého jízdního řádu lze vidět na obr. 21 a obr. 22.

Podle [74] bylo pro tento projekt zvoleno devět respondentů, z nichž čtyři měli protanopii, tři deuteranopii a dva měli normální barevné vidění. Čtveřice barev se měřily pomocí kolorimetru Minolta CM-503i. Výsledky měření byly zobrazeny v barvovém prostoru CIE_{x,y}.

V [74] je uvedeno, že v původním jízdním řádu byly navrženy barvy zelená, modrá, oranžová a červená. Tyto barvy značily: zelená – osobní expresní vlak, modrá – osobní vlak, oranžová – speciální expresní vlak a červená – expresní vlak. Tyto barevné kombinace však nejsou vhodné a mohou být nejasné (lidé s nedostatkem barevného vidění mohou například zaměňovat expresní vlak s osobním expresním vlakem). Při návrhu se autoři drželi pravidel, které již byly zmíněny v úvodu kapitoly 5 Příprava grafických dat, konkrétně [74]:

- Použití barev rozpoznatelných pro všechny.
- Použité barvy písma jsou v dostatečném kontrastu s bílým pozadím.
- Intenzita barvy by měla odpovídat důležitosti informace – černá barva je použita pro čas místní linky, která, i když je pomalejší než expresní linky, zahrnuje všechny stanice na lince.

Při úpravě informační tabule byly vybrány barvy blízké původnímu návrhu, a to zelená, modrá, červená a černá, přičemž byl pro každou barvu upraven odstín; důvodem je, že lidé s dichromazií nezaměňují všechny druhy červené a zelené barvy [74]. Vybrané barvy jsou seřazeny od nejdůležitějších po méně důležité a lidé s protanopií a deuteranopií je dokážou rozlišit [74]:

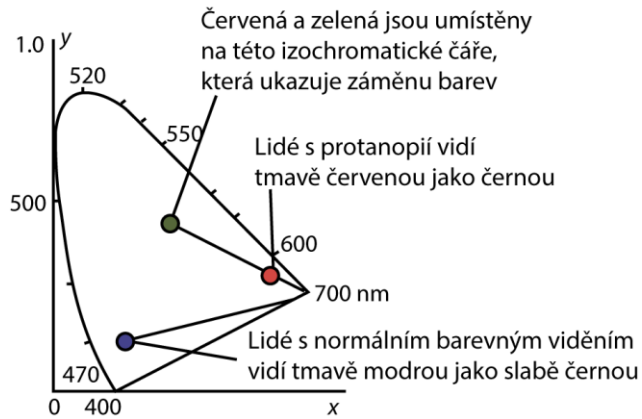
- Černá CMYK = 0, 0, 0, 0 %.
- Červená CMYK = 0, 77, 100, 0 %.
- Modrá CMYK = 100, 30, 0, 0 %.
- Zelená CMYK = 85, 0, 60, 10 %.

Článek [74] doporučuje, že pokud existují dva druhy vlakových služeb, je vhodné použít kombinaci černé a červené barvy. V případě tří druhů vlakové dopravy je vhodné použít kombinaci černé, červené a modré barvy. Neměla by se používat kombinace barev černé, červené a zelené, protože je matoucí. Na obr. 23 lze vidět spektrální rozložení čtyř vybraných barev (černá, červená, modrá a zelená), kde odrazivost při 560 nm je u červené 17,63 % a u černé 6,69 %. Lidé s protanopií tedy snadno rozpoznají černou a tuto červenou barvu. Tato konkrétní červená byla vybrána z důvodu, že pokud se vybere červená, která je blíže oranžové, tak lidé s protanopií jsou schopni ji rozlišit, jelikož se jim jinak zdá tmavá, a tedy podobná černé barvě. Naopak lidé s deuteranopií mají problém s rozlišením žluté a oranžové barvy, proto byl vybrán odstín rumělkové barvy (vermillion). Dále byla pro lidi s protanopií a deuteranopií vybrána modrozelená barva namísto nažloutlé zelené (žlutozelené). Pozor ale na to, že pokud je zelená barva příliš namodralá, tak lidem s deuteranopií se zdá jako šedá, takže je vhodný jenom úzký rozsah modrozelené barvy. Lidé s normálním barevným viděním mohou někdy zaměňovat modrou a modrozelenou, zatímco pro lidi s protanopií a deuteranopií jsou tyto barvy úplně odlišné. Proto byla vybrána modrá, která je i pro lidi s normálním barevným viděním od modrozelené dostatečně odlišná. Při použití žluté [74] doporučuje vybrat odstín, který je jasnější než rumělková červená a zároveň dost tmavý na to, aby ho lidé odlišili od bílé barvy (i ti, co mají šedý zákal).

Dále tato organizace také zkoumala v jiné studii kombinaci většího počtu barev (maximálně šesti) pro označování zón ve zdravotnických zařízeních, která byla použita pro nově vybudovanou nemocnici [74].

00 08 17 23 31 38 44 48 51
 02 09 16 21 29 36 41 48 57
 06 11 18 24 32 37 43 48 55

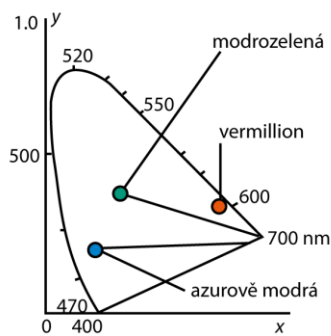
Toto tenké písmo nelze dobře odlišit



Obrázek 21: Příklad špatně navrženého jízdního řádu (adaptováno z [74])

00 08 17 23 31 38 44 48 51
 02 09 16 21 29 36 41 48 57
 06 11 18 24 32 37 43 48 55

Toto **tučné** písmo je dobře odlišitelné



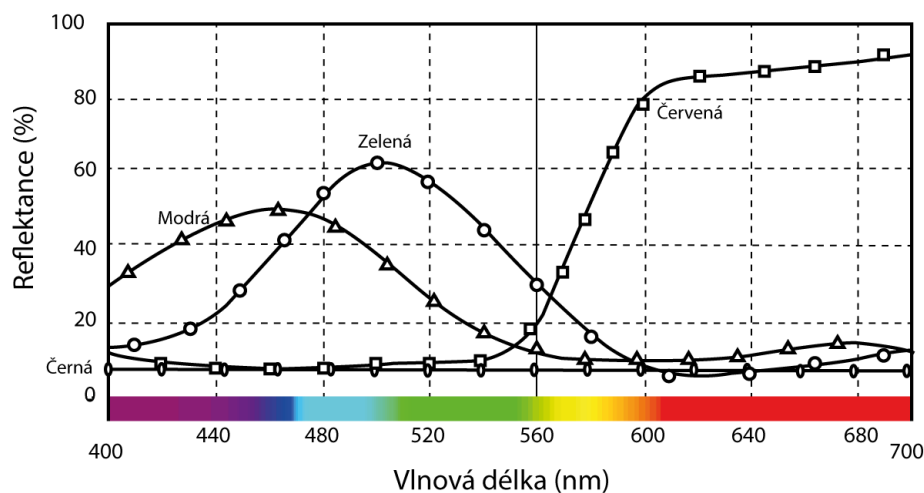
| | |
|----|------------------------|
| 00 | Černá Osobní |
| 00 | Červená Expres |
| 00 | Modrá Speciální expres |
| 00 | Zelená Osobní expres |

Doporučuje se přidávat názvy barev do legendy

| | | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----|--------------------|
| 00 | kurziva | 00 | rámování | 00 | kontrast s pozadím |
| 00 | podtržení | 00 | dvojitě podtržení | | |
| 00 ⁺ | 00 [*] | 00 ^E | 00 ^L | | |
| | poznámka | | | | |

Pokud možno, nedoporučuje se používat pouze barvu pro označení

Obrázek 22: Příklad správně navrženého jízdního řádu s upravenými kombinacemi barev a dalšími typografickými způsoby rozlišení typů spojení (adaptováno z [74])



Obrázek 23: Spektrální rozložení vybraných čtyř barev (adaptováno z [74])

5.1.6 Webové stránky

5.1.6.1 Přístupnost webu

V dnešní době jsou webové stránky velmi častým zdrojem informací, proto čtenáři s poruchou barvocitu kvůli problémům s rozpoznáváním barevných obrázků nebo videí mohou mít problém potřebné informace získat [52]. Iniciativa za usnadnění přístupu na web konsorcia World Wide Web Consortium (W3C WAI) na svých stránkách [75] popisuje, že pokud jsou webové stránky a nástroje správně navrženy a naprogramovány, jsou použitelné pro lidi se zdravotním postižením. V současné době ale mnoho webových stránek a nástrojů není vytvořeno bezbariérově a mnoho uživatelů může mít problém s přístupností. Ředitel W3C a vynálezce World Wide Webu Tim Berners-Lee tvrdí, že „Síla webu je v jeho univerzálnosti. Přístup pro všechny nehledě na jejich omezení je zásadním aspektem.“ Iniciativa W3C WAI také uvádí [75], že rovnoprávný přístup k informačním a komunikačním technologiím je definován jako základní lidské právo v Úmluvě Organizace spojených národů o právech osob se zdravotním postižením (UN CRPD – United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities). David Larsson ve své práci [76] zmiňuje, že je na světě přibližně 20 milionů vývojářů (dle [77]) a přibližně 1,6 milionu vývojářů může mít poruchu barevného vidění; za předpokladu, že se nebere ohled na poměr mužů a žen mezi vývojáři a počítá se z počtu 8 %. Ve většině případů jde jenom o poruchu barvocitu, což je méně vážná porucha než barvoslepost.

Friederike Kerkmann a Dirk Lewandowski ve své publikaci [69] upozorňují na to, že webové vyhledávače jsou jednou z nejdůležitějších a nejpoužívanějších služeb na webu a je důležité, aby se vzala v úvahu i přístupnost vyhledávačů pro osoby se zdravotním postižením. Web by měl být navržen podle [75] tak, aby fungoval pro všechny uživatele, nehledě na jejich software, hardware, jazyk, polohu nebo schopnosti. Pokud jsou webové stránky, aplikace, technologie nebo nástroje špatně navrženy, mohou vytvářet bariéry, které zabraňují lidem v používání webu. Publikace [69] říká, že uživatelé s fyzickým nebo mentálním postižením by měli mít výhodu, protože by měli být schopni přizpůsobit některé parametry pro své individuální požadavky na webu (kontrast, velikost písma, úroveň zvuku) a jejich alternativní možnosti přístupu mohou být podporovány pomocnými technologiemi (čtečky obrazovky, přepínače, displej s možností psaní Braillova písma atd.). Aby tyto technologie byly funkční při vyhledávání na webu, musí být webové stránky a vyhledávače přístupné pro všechny. Webová přístupnost je podle [75] přínosná také pro osoby bez postižení, a to například pro osoby používající chytrá zařízení (např. mobilní telefony, hodinky, televize), dále pro starší osoby, jejichž schopnost se mění s věkem, osoby s dočasným postižením (např. zlomená ruka, ztracené brýle), osoby v limitujících situacích (přímé slunce, prostředí neumožňující poslouchat zvuk) a mnoho dalších. Přístupnost je podle [75] zásadní pro vývojáře a organizace, když chtějí produkovat vysoce kvalitní webové stránky a webové nástroje. Tímto přístupem nezabraňují lidem v používání jejich produktů a služeb. Aby přístupnost webu byla pro všechny, tak mu všichni uživatelé musí rozumět, být schopni navigace, interakce a také přispívání na web. Z tohoto důvodu je univerzální design důležitý i v této oblasti [69]. Mezi prvními, kdo věnoval pozornost webovému rozhraní, byli Oppenheim a Selby v [78], kteří provedli analýzu na základě toho, že se zeptali malé skupiny zrakově postižených a nevidomých uživatelů, jak tři populární webové vyhledávače poskytly své informace této speciální cílové skupině [69].

Zdroj [69] (dle [79, 80]) uvádí, že existují různé faktory, které mohou způsobit překážky na webu a ty zase mohou ovlivnit různé skupiny uživatelů. Mezi tyto faktory patří: různé druhy postižení (zrakové postižení až slepota, nedoslýchavost až hluchota, poruchy učení a kognitivních funkcí atd.), různé typy aplikací a interakcí (aplikace založené na formulářích, aplikace založené na formulářích a editorech, aplikace bohaté na média atd.) a různé typy překážek (designové bariéry, technické bariéry, obsahové bariéry atd.).

V poslední době podle [69] bylo provedeno mnoho výzkumů týkajících se přístupnosti různých druhů webových stránek. Byly provedeny výzkumy především u webů, které mají zákonnou povinnost být přístupné. Mezi zkoumanými webovými stránkami byly tyto [69]:

- Americké vládní webové stránky, které musí být podle zákona o Američanech se zdravotním postižením (ADA – Americans with Disabilities Act).
- Webové stránky univerzit ve Velké Británii, které by měly být podle zákona o zvláštních vzdělávacích potřebách (SENDA – Special Educational Needs and Disability Act)

Webové stránky univerzitních a školních knihoven v USA a Kanadě [81, 82] analyzovali použití rozhraní digitální knihovny nevidomými a zrakově postiženými a [83] určoval úroveň dodržování standardů W3C v australských veřejných knihovnách.

5.1.6.2 Hodnocení přehledu přístupnosti webu

Při vývoji, optimalizaci a redesignu webové stránky by se podle [75] měla hodnotit přístupnost jak na začátku, tak během vývoje webu. Je to z toho důvodu, aby se identifikovaly problémy co nejdříve a mohlo dojít k opravě. Výše zmíněná iniciativa W3C WAI [75] vyvíjí technické specifikace, pokyny, techniky a podpůrné zdroje, které popisují přístupná řešení. Tato iniciativa tedy vytváří mezinárodní standardy pro webovou přístupnost, například WCAG 2.0 (ISO norma: ISO/IEC 40500). Hodnocení toho, zda web splňuje formální standardy přístupnosti, může být dle [69] založeno na standardech mezinárodních orgánů (např. WCAG podle W3C), národní nebo státní legislativě (např. oddíl 508 amerického zákona Rehabilitation Act, německý BITV, italský Stanca, francouzský RGAA) nebo pokynech jednotlivých organizací (např. IBM Checklist).

Podle publikace [69] iniciativa W3C WAI doporučuje hodnocení přístupnosti webových stránek podle těchto tří kroků:

1. Předběžná kontrola k rychlé identifikaci potenciálních problémů s přístupností.
2. Vyhodnocení shody k určení, zda webová stránka splňuje zavedené standardy přístupnosti.
3. Uživatelské testování při praktickém použití lidmi se zdravotním postižením.

Podle [84] existuje několik nástrojů pro hodnocení webové přístupnosti, ale pro efektivnější hodnocení je třeba využít pozorovatele. Nástroje pro hodnocení přístupnosti na web zahrnují softwarové programy a online služby. Pomocí těchto nástrojů se kontroluje, zda obsah webu splňuje standardy přístupnosti. Metodika hodnocení shody přístupnosti webových stránek W3C (WCAG-EM – Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology) je přístup k určování shody s pokyny pro přístup k webovému obsahu (WCAG – Web Content

Accessibility Guidelines). WCAG-EM Report Tool je generátor hodnotících zpráv o přístupnosti webových stránek, který generuje tyto zprávy podle WCAG-EM a pomáhá vývojáři postupovat podle kroků WCAG-EM. Šablona pro zprávy o hodnocení přístupnosti webu navrhne informace, které mají být do zprávy zahrnuty. Podobně ATAG Report Tool vygeneruje zprávu, jestli nástroj splňuje Pokyny pro usnadnění vytváření nástrojů (ATAG – Authoring Tool Accessibility Guidelines).

Web [85] uvádí, že pokud se zapojí uživatelé do hodnocení přístupnosti webové stránky, tak lze ověřit, zda webový nástroj skutečně funguje. Lépe se také porozumí problémům s přístupností a jsou identifikovány problémy, které by pomocí nástrojů nebyly odhaleny. Je tedy třeba získat několik pozorovatelů, kteří mají konkrétní zdravotní postižení a zahrnout je do celého procesu vývoje. Testováním na prototypch lze zhodnotit a zlepšit různé aspekty designu a kódování. Přínosné je problémy přístupnosti s hodnotiteli přímo diskutovat. Mělo by se brát na vědomí, že hodnocení jedné osoby se zdravotním postižením nelze zobecnit pro všechny osoby se zdravotním postižením, ať už podobným, nebo odlišným. Proto je nutné získat informace od více osob. Mělo by se kombinovat zapojení uživatelů s hodnocením shody podle WCAG kvůli zajištění dostupnosti pro uživatele s řadou postižení a situací. Do zprávy o hodnocení by měly být zahrnuty metody testování a charakteristiky uživatelů. Pokud by studie zahrnovala pouze účastníky s poruchou barevného vidění, tak by zpráva měla zdůraznit, že nehodnotila shodu se standardy přístupnosti obecně a nevztahuje se na všechny osoby se zdravotním postižením.

5.1.6.3 Design webových stránek

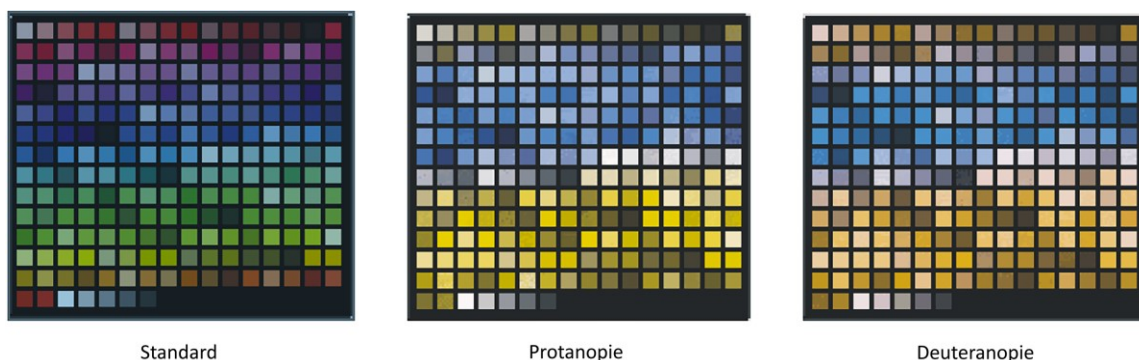
Zdroj [76] uvádí, že při práci s barvami je potřeba si ověřit, zdali barevné kombinace jsou vhodné a pokud je narušena nějaká forma designu, je třeba ji opravit. U webových stránek jsou důležitá tlačítka a barvy pozadí. Dobře navržený design musí mít dobře viditelné tlačítko a zároveň musí dobře ladit s pozadím. Špatně navržený design může lidem s nedostatkem barevného vidění ztěžovat život [22]. Níže uvedená doporučení mohou pomoci návrhářům při návrhu rozhraní, která jsou přizpůsobena pro všechny, ale především pro uživatele trpící červeno-zelenou poruchou barvocitu (anomální trichromazie – protanomálie, deuteranomálie), a také tzv. červeno-zelenou barvoslepostí (dichromazie – protanopie, deuteranopie).

Podle [22] je na webových stránkách 216 barev považováno za „bezpečné“, protože jsou společné pro většinu dostupných výpočetních platforem. Pokud budou použity jiné hodnoty, dojde k nahrazení barev těmi, které má systém s 256 barvami k dispozici. Je vhodné používat

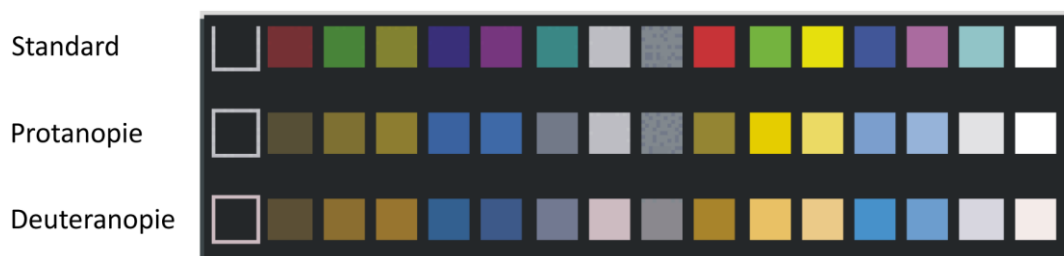
paletu, která je bezpečná a vhodná pro všechny uživatele a zahrnuje všechny barvy, které mají v jednotlivých RGB kanálech hodnoty 0, 51, 102, 153, 204 nebo 255 (resp. 00, 33, 66, 99, CC, FF v hexadecimální soustavě).

Z toho důvodu byly ve studii [22] pomocí zavedených algoritmů navrženy speciální palety a uloženy jako soubory palet ve formátu *.pal (používané v Paintshop Pro). Paleta vhodná pro protanopii má pro běžného pozorovatele nepatrný nazelenalý nádech a paleta vhodná pro deuteranopii má zase nepatrný oranžový nádech. Transformované barvy, které jsou vhodné pro web, jsou k dispozici jako soubory *.pal nebo *.gif. Na obr. 24 lze vidět vzhled bezpečné palety pro web a její srovnání s transformovanými paletami. Dále na obr. 25 jsou zobrazeny transformace 16barevné palety.

Publikace [22] doporučuje pro návrháře dva přístupy při používání těchto barev. Prvním přístupem je, že jsou aplikovány na obrázky pro simulaci vzhledu pro pozorovatele s příslušnými vadami. Nejdříve se načte nebo aplikuje na obrázek či snímek obrazovky uložený ve vhodném adresáři bezpečná webová paleta tak, že se v programu PaintShop Pro (ostatní komerční programy na malování by měly mít podobné funkce) v nastavení zvolí Barvy > Načíst paletu a vybere se *websafe.pal*. Pro tzv. flat-colour obrázky, které obsahují prvky s jednoduchou výplní bez barevných přechodů apod., např. obrázky ve formátu GIF (Graphics Interchange Format), je vhodné použít nastavení 'Nearest color matching dle [86]', zatímco pro fotografie nastavení 'Error diffusion dithering'. Toto přiřazení ukáže, jak bude vypadat obraz u monitoru s 256 barvami. Následně se podle [22] z obrazu udělají dvě kopie. Jedné kopii se přiřadí barvy ze souboru *protan.pal* stejným způsobem jako v předchozím kroku, s tím rozdílem, že se vybere možnost 'Maintain indexes'. Poté se použije soubor *deutan.pal* pro druhou kopii. Výsledkem je obrázek, který je simulovaný pro uživatele s protanopií (nebo protanomálií), resp. deuteranopií (nebo deuteranomálií). Důležité je, aby barvy z bezpečné webové palety byly ve správných indexových pozicích odpovídajících transformovaným paletám. Druhým přístupem je, že návrhář začíná řešením barevného schématu na základě požadavků na webovou stránku, které se netýkají funkcí, ale její estetiky a pocitu, který má vyvolávat [22]. Následně se podívá na to, jakým simulovaným barvám z transformovaných palet tyto barvy odpovídají, a na základě toho vybere nejvhodnější barvy z primární palety.



Obrázek 24: Vzhled bezpečné palety pro web a její srovnání s transformovanými paletami (adaptováno z [22])



Obrázek 25: Transformace palety s 16 barvami (adaptováno z [22])

Dále při navrhování webových stránek platí pravidla, která byla uvedena v úvodní kapitole 5 Příprava grafických dat pomocí univerzálního designu, kde základní dvě věci jsou [22]:

- Text má dobrý jas a kontrast s jeho pozadím – velké textové oblasti musí mít větší kontrast než text v navigační liště.
- Barvy zvolené pro sledované a nesledované odkazy jsou dostatečně daleko od sebe – nejbezpečnější je, když budou pocházet z obou stran barevného dělení na paletě, takže jedna barva se přemění na modrou a druhá na žlutou.

5.1.6.4 ColorBlind Filter Service

Gennaro Iaccarino se spoluautory ve svém článku [87] popisují nástroj ColorBlind Filter Service (CBFS), který řeší přístupnost pro dichromatické uživatele úpravou barvy pozadí a popředí na stránkách HTML a také simuluje vložené obrázky spolu s animovanými obrázky ve formátu GIF. Tato služba dle [87] analyzuje za běhu každou webovou stránku a pro každou značku HTML (Hypertext Markup Language – standardní značkovací jazyk používaný pro tvorbu webových stránek [88]) analyzuje příslušné atributy pro úpravu pozadí nebo popředí

textu a obrázků. Podle [87] bere v úvahu také externí a interní kaskádové styly. Dále bere v úvahu tyto atributy stránek HTML: color, bgcolor, background, img, text, link, alink, vlink a atributy stylu pro obrázky, pozadí a barvy. Nástroj využívá reprezentaci barev HSL a jejich specifikaci v odstínu (H), světlosti (L) a sytosti (S). Model HSL byl namísto RGB použit z důvodu lepší manipulace se světlostí, což je velmi důležitý atribut pro lidi s dichromazií. Použitý algoritmus se snaží omezit všechny podněty okolo tzv. čar záměny (confusion lines), které jsou pro lidi trpící dichromazií matoucí (jedná se o průsečíky mezi rovinou v níž tito pozorovatelé nerozlišují barvy a barevným prostorem běžného pozorovatele). Jako důležitou charakteristiku algoritmu uvádí [87] jeho přizpůsobitelnost. To znamená, že každý uživatel si může zvolit poměr, kterým se změní odstín, sytost a světlost.

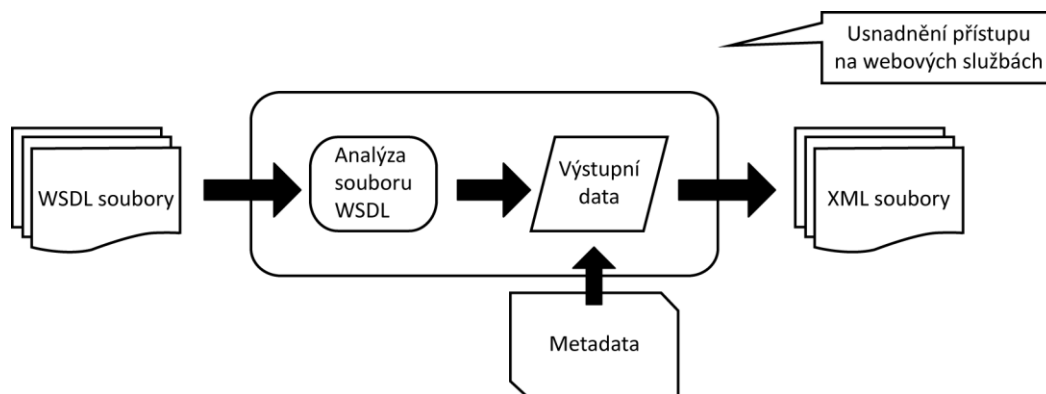
5.1.6.5 Platforma myWebAccess

Podle publikace [89] stávající standardy pro vývoj webových služeb nezohledňují, že obsah webových stránek a interaktivních funkcí není vhodně upraven pro osoby se zdravotním postižením. Navržená platforma s názvem myWebAccess poskytuje mechanismus pro poloautomatickou opravu charakteristik interakce webových služeb a zlepšuje kvalitu interakce pro uživatele se zrakovým a motorickým postižením. Tato platforma je schopna opravovat (poloautomaticky) problematické webové služby a nabízet je pomocí webové aplikace vhodnějším způsobem. myWebAccess vytváří vhodné rozhraní pro uživatele jako jsou [89]:

- Nevidomí uživatelé – obsah odpovídá WCAG 2.0 (úrovni AA).
- Uživatelé se zhoršeným zrakem a poruchou barevného vidění – obsah s vysokým kontrastem pozadí a popředí.
- Uživatelé se sníženou pohyblivostí – obsah s posuvnou navigací, virtuální klávesnicí a podpůrné mobilní zařízení.

Práce [89] využívá standard WSDL (Web Services Description Language) za účelem zlepšení přístupnosti obsahu. Tento standard má ovšem technická omezení, protože neřeší úplně všechny situace a to limituje rozsah poskytovaných metadat potřebných pro splnění požadavků ustanovení WCAG. Proto byla identifikována potřeba systému, který bude poskytovat mechanismus pro přidání metadat, aby bylo možné rozšířit webové služby o funkce usnadnění přístupu. Interakce koncových uživatelů se službami bude dále usnadněna předvolbami uloženými v uživatelském profilu, které poskytnou snadnější přístup pro určité skupiny uživatelů (například profily pro lidi s poruchou vnímání barev).

Podle [89] by vstup a výstup webové služby měl být vhodně přizpůsoben konkrétním preferencím uživatele a technickým možnostem jakékoli používané obrazovky. Měla by být k dispozici příslušná metadata charakterizující prvky vstupu a výstupu. Webové stránky by měly používat vyvážený barevný kontrast mezi popředím a pozadím pro zvýšení čitelnosti textu. Dále co se týče obsahu s obrázky, grafikou a multimédií, tak by tvůrci stránky měli poskytnout ekvivalentní alternativní textový popis. Dále datové tabulky musí obsahovat popisky a tagy s nadpisem sbaleného obsahu a interaktivní formuláře s popisky jednotlivých položek. Měl by být implementován mechanismus pro kontrolu údajů zadávaných uživatelem pro prevenci chyb a adaptační funkce v závislosti na použitém zařízení (např. šířce obrazovky na mobilním zařízení). Na obr. 26 je znázorněn postup přidání funkcí pro usnadnění přístupu s následujícími kroky: 1) analýza souboru WSDL, 2) rozdělení parametrů podle toho, jestli potřebují dodatečná metadata, 3) import metadat pro každý parametr na základě WCAG a 4) vytvoření souboru XML (eXtensible Markup Language – obecný značkovací jazyk [90]), který definuje další metadata pro daný soubor WSDL.



Obrázek 26: Postup přidání funkcí pro usnadnění přístupu u platformy myWebAccess (adaptováno z [89])

Podle [89] má v současnosti většina webových aplikací specifickou strukturu, která má především tyto hlavní oblasti: záhlaví, postranní panel, hlavní obsah a zápatí. Tato struktura může použít různé šablony a tím obohatit obsah o další navigační pomůcky. Je třeba, aby vývojář zajistil správné přizpůsobení hlavního obsahu, který je často aktualizován, a použít vhodné mechanismy.

Jak dále uvádí [89], pokud jsou prvky uživatelského rozhraní i aplikační logiky spojeny s jednou částí/objektem aplikace, pak kdykoli uživatel požaduje změnu uživatelského rozhraní, tak se změní také celá část obsahující aplikační logiku. Platforma myWebAccess byla vytvořena pomocí architektury Model–View–Controller (MVC) pro podporu více návrhových šablon. Část View je zodpovědná za zobrazení dat, Model za ukládání těchto dat a Controller zajišťuje zpracování požadavku uživatele, konkrétně obnovy dat a výběru vhodné šablony návrhu. Požadovaná variabilita je dosažena díky knihovně alternativních návrhových šablon a klasifikaci uživatelů do různých profilů.

6 Experimentální část

V experimentální části byla primárně hodnocena grafická data, zda jsou vhodná pro uživatele s normálním barevným viděním i s poruchou barevného vidění. Špatně navržená grafika může způsobit, že se barevná informace pro čtenáře trpícím některých z defektů barevného vidění ztratí. Byl proto kladen důraz na použité barevné kombinace, tloušťky prvků, použití různých symbolů pro usnadnění rozpoznávání barev, čáry různých typů, zobrazení popisků ve výkresech a rozlišitelnost v kontrastu, jas a odstínu barev. Je důležité, aby zmíněné prvky byly zahrnuty do grafických návrhů. Mezi problematickou skupinu špatně navržených grafických výstupů patří obrázky, grafy, webové stránky, mapy a informační cedule.

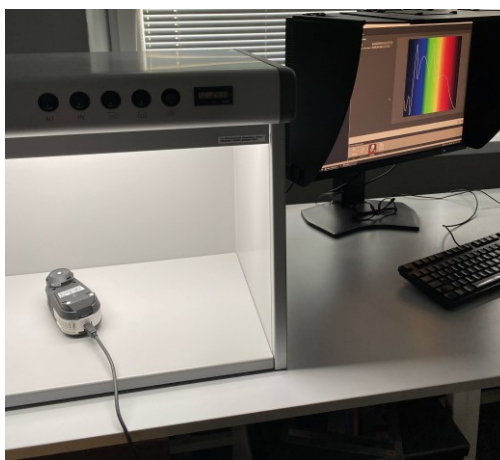
Před samotným testováním a zpracováním optimalizovaných grafických dat byly na internetu kontrolovány různé webové stránky pomocí simulátoru barvosleposti. Dále byly analyzovány různé mapy, informační cedule a grafy. Může docházet k barevnému posunu, ale důležitá je čitelnost. Byla hledána grafika, kde dochází k zániku barevných informací.

Experimentální práce byla rozdělena na několik částí. Před samotným testem barvocitu bylo proměřeno osvětlení v náhledové skříni. Bylo zjišťováno stabilizování podmínek zdroje D65. V další fázi došlo k testování respondentů, kteří byli rozděleni do tříd s vysokou, průměrnou a nízkou schopností rozlišování barevných odstínů, která je pro tuto práci podstatná. Další část se týkala analýzy grafických dat, při které byly použity simulátory, které měly identifikovat problém čitelnosti v grafice. Do této problematické grafiky spadaly webové stránky COVID očkování a mapy Ski centra Říčky v Orlických horách. U porovnání webových stránek vysokých škol Univerzity Pardubice, Univerzity Karlovy v Praze a Univerzity Palackého v Olomouci nebyly nalezeny zásadní problémy, které by ovlivňovaly čitelnost a orientaci na stránce. Byly analyzovány také loga Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult u kterých by mohl být problém v barevnosti pro lidi trpící poruchou barevného vidění, ale v následující fázi nebyly optimalizována. Informační tabule s názvem Orientační plán: Univerzita Pardubice – kampus Polabiny byl hodnocen z důvodu použitelnosti červeno-zelené grafiky, která patří mezi nejvíce nečitelné, především pro lidi trpící poruchou barevného vidění zvanou deuteranopie nebo protanopie. Tento orientační plán v následující fázi nebyl optimalizován, stejně jako loga jednotlivých fakult Univerzity Pardubice. Následovala optimalizace přípravy grafických dat s identifikovaným problémem čitelnosti pomocí simulátorů. V poslední části byla grafická data hodnocena respondenty s poruchou barevného vidění. Důraz byl kladen na barevnou rozlišitelnost grafiky, rychlost orientace a použití různých symbolů, tvarů čar a popisků

zobrazených přímo ve výkresech, které usnadňují čitelnost grafiky. Přesnost simulace použitých simulátorů byla vyhodnocena na základě posouzení respondentů a porovnání jednotlivých simulátorů mezi sebou. Optimalizovaná grafická data byla také posouzena respondenty s dobrou rozlišovací schopností barev, kteří zhodnotili, zda je grafika stále čitelná i pro ně.

6.1 Proměření osvětlení v náhledové skříni

Před zahájením testování barvocitu pomocí Farnsworth–Munsellova 100 hue testu v náhledové skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC bylo proměřeno osvětlení. Testování probíhalo pod zdrojem simulujícím osvětlení D65. Osvětlení bylo proměřeno pomocí spektrofotometru i1 Pro od společnosti X-Rite; viz obr. 27. Před testováním barvocitu byla náhledová skříň měřena po dobu cca 200 minut; prvních 30 minut bylo osvětlení proměřeno vždy po 5 minutách, a následně každých 15 minut. Toto měření bylo provedeno z důvodu zjištění, kdy dojde k stabilizování podmínek osvětlení v náhledové skříni. Na základě toho byla náhledová skříň při samotném testování barvocitu zapnuta a stabilizována v dostatečném předstihu. Osvětlení bylo také měřeno v celém průběhu testování barvocitu; a to vždy na začátku testování, v jeho průběhu a po skončení. Zdroj světla se ustálil vždy okolo 15 minut po zapnutí. Spektra byla zpracována v softwaru LED ColorCalculator [91], vyvinutém společností OSRAM SYLVANIA. Specifikace hodnot zdroje osvětlení D65 jsou uvedeny v tab. 2 od výrobce a v tab. 3 jsou souhrnné hodnoty z dat měřených při experimentu spektrofotometrem i1 Pro od společnosti X-Rite.



Obrázek 27: Proměření osvětlení v náhledové skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC pomocí spektrofotometru i1 Pro

Tabulka 2: Informace o zdroji D65 v náhledové skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC poskytnuté výrobcem

| Nominální hodnota CCT [K] | CCT [K] | R _a | M _v | M _u | x ₁₀ | y ₁₀ |
|---------------------------|---------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 6500 | 6536 | 98,8 | 0,3 | 1,1 | 0,3141 | 0,3363 |

Tabulka 3: Experimentálně stanovené charakteristiky zdroje D65 v náhledové skříni JUST NORMLICHT Color Viewing Light BASIC pomocí spektrofotometru i1 Pro

| Nominální hodnota CCT [K] | CCT [K] | Osvětlení [lux] | R _a | x | y |
|---------------------------|-----------|-----------------|----------------|--------|--------|
| 6536 | 6467–6593 | 2370–2520 | 97,4 | 0,3112 | 0,3361 |

6.2 Testování barvocitu pomocí Farnsworth–Munsellova 100 hue testu

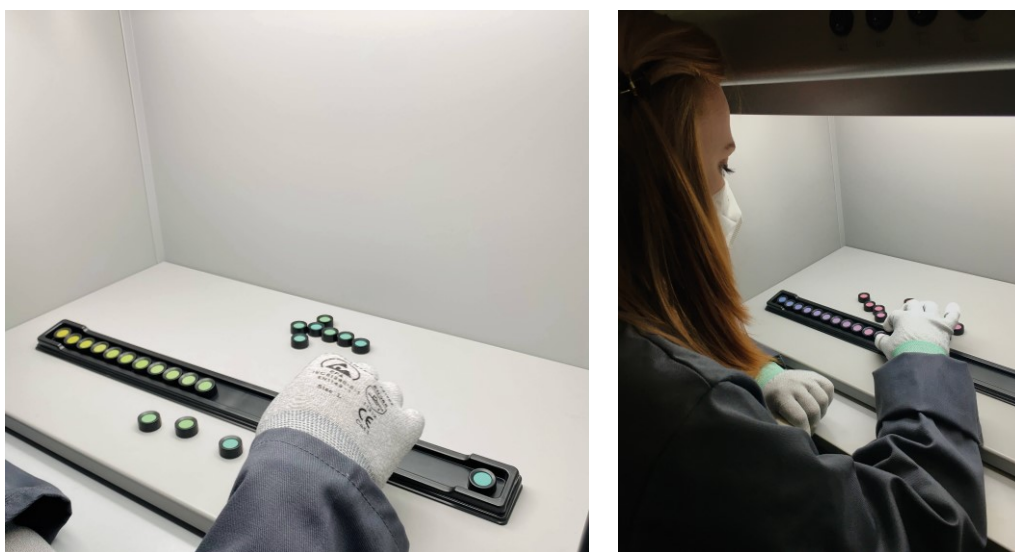
Jak je blíže popsáno v kapitole 3.3.1.4, tento test slouží pro otestování odstínového rozlišování, u kterého lze určit oblast barevných změn, které mají lidé s poruchou barevného vidění oproti normálnímu. Tento test se skládá ze čtyř kazet. Každá kazeta obsahuje 22 barevných pohyblivých terčů a na každé straně jsou fixní barevné terče sloužící pro orientaci při seřazování barevných terčů. Test lze vidět na obr. 28. Po provedení a vyhodnocení testu lze testované osoby rozdělit do tříd – se schopností rozlišování barev vysokou (superior), průměrnou (average) a nízkou (low). Prostředí testu je znázorněno na obr. 31–33.



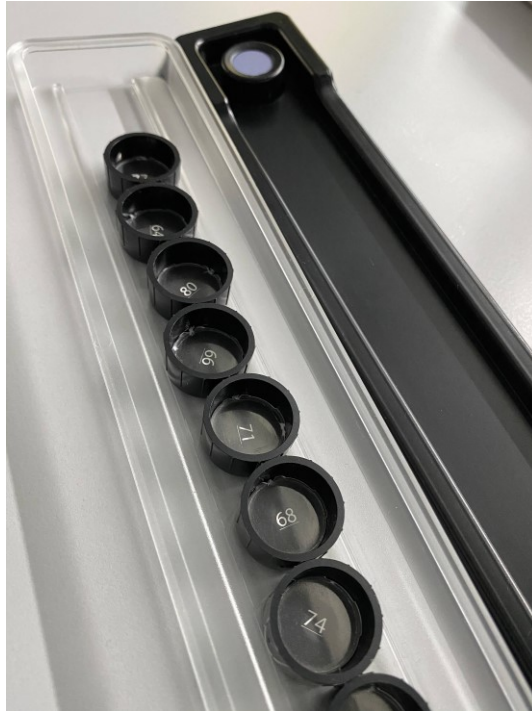
Obrázek 28: Farnsworth–Munsellov 100 hue test [92]

Testování barvocitu v náhledové skříni probíhalo tímto způsobem:

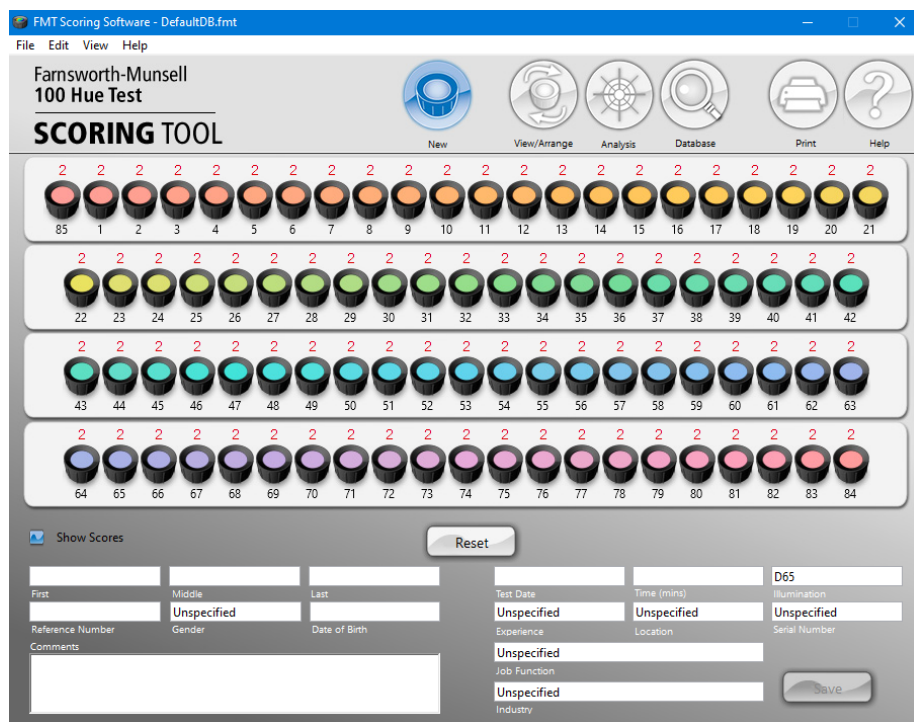
1. Byla nutná stabilizace podmínek v náhledové skříni jejím zapnutím dostatečně dopředu (cca 15 minut předem), aby došlo ke stabilizaci světelného zdroje D65.
2. Pozorovatelé si na sebe oblékli šedé rukavice spolu s šedým pláštěm, aby nedošlo k ovlivňování rušivým vlivem okolí při testování a také k poškození barevných terčů. Je nutné podotknout, že pozorovatelé museli mít nasazené respirátory kvůli probíhající pandemii onemocnění COVID-19.
3. Pozorovatelé byli seznámeni s experimentem a průběhem testování.
4. Došlo k adaptaci očí na osvětlení; pozorovatel se díval cca 3 minuty do náhledové skříně.
5. Před pozorovatele byla umístěna vždy jedna z kazet (celkem čtyři kazety), ve které byly předem promíchány barevné terčíky, a pozorovatelé si je podle potřeby z kazety vyjímali, aby mohli barevné terčíky v kazetě seřadit tak, jak pocitově vnímají, že jdou barevné přechody za sebou; viz obr. 29.
6. Pozorovatelům bylo pro seřazení barevných terčů ponecháno tolik času, kolik potřebovali.
7. Po seřazení byla každá z kazet zkontrolována pomocí pořadových čísel, která jsou na zadní straně terčů, aby je pozorovatelé neviděli při seřazování; viz obr. 30.
8. Pořadová čísla ze zadní strany terčů byla zaznamenána do softwaru FM 100 Hue Test Scoring, který následně vyhodnotil získaná data.



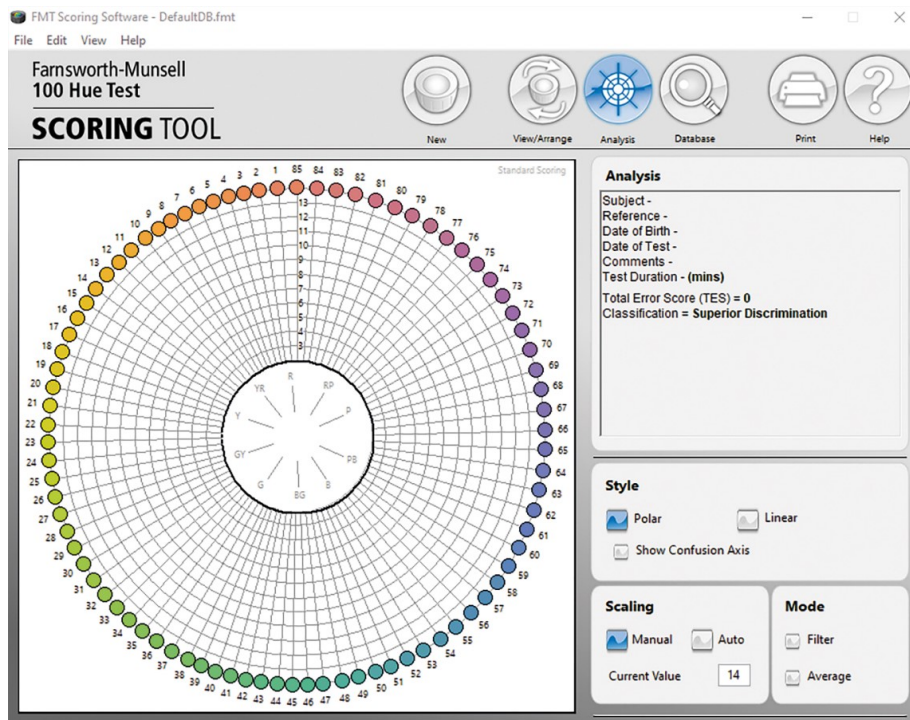
Obrázek 29: Záznam z probíhajícího testování – pozorovatelé seřazující barevné terčíky



Obrázek 30: Záznam z probíhajícího testování – kontrola pořadových čísel umístěných na zadní straně barevných terčíků



Obrázek 31: Hlavní stránka softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring, sloužící k zadávání výsledků



Obrázek 32: Stránka Analysis softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring, sloužící pro analýzu výsledků

| # | First | Middle | Last | Reference | DOB | Date | Time (mins) |
|---|-------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1 | A | | Normal | 1243 | 26/6/1959 | 23/9/1996 | 10 |
| 2 | A | | Protan | 11143 | 5/3/1985 | 23/9/1996 | 10 |
| 3 | A | | Deutan | 1134 | 13/6/1957 | 23/9/1996 | 10 |
| 4 | A | | Tritan | 123 | 4/4/1974 | 23/9/1996 | 10 |

Obrázek 33: Stránka Database softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring, sloužící jako seznam testovaných osob a k zobrazení jejich výsledků

6.3 Hodnocení grafických dat s ohledem na poruchy barevného vidění a jejich příprava pomocí univerzálního designu

Podklady pro testování kvality grafických podkladů s ohledem na poruchy barvocitu či barvoslepost byly zpracovány pomocí grafických programů Adobe Illustrator CS6 a Adobe Photoshop CC 2019. Tyto grafické programy nabízí simulaci barev pouze pro dva typy barevných poruch, a to protanopii a deuteranopii pomocí možností Kontrolního náhledu. Pokud má grafika vyhovovat požadavkům CUD, je nutno převést dokument do barevného režimu RGB, který nabízí nejpřesnější kontrolní náhled pro barvoslepé. Barevný režim RGB lze nastavit zvolením příkazu Soubor > Barevný režim dokumentu > RGB barva v programu Adobe Illustrator CS6 a příkazu Obraz > Režim > Barvy RGB v programu Adobe Photoshop CC 2019. Pro možnost současného prohlížení původního dokumentu a kontrolního náhledu lze využít příkazu Okno > Nové okno v programu Adobe Illustrator CS6 a příkazu Okno > Uspořádat > Nové okno v programu Adobe Photoshop CC 2019. Kontrolní náhled barev na obrazovce lze zobrazit kliknutím na Zobrazení > Nastavení kontrolního náhledu a výběrem možnosti Barvoslepost pro červenou – typ protanopie nebo Barvoslepost – typ deuteranopie v programu Adobe Illustrator (verze CS6). V Adobe Photoshop (verze CC 2019) lze nabídku najít kliknutím na Zobrazit > Nastavení kontrolního náhledu a výběrem možnosti Barvoslepost – protanopie či Barvoslepost – deuteranopie. Názvy poruch deuteranopie nebo protanopie mohou být popsány trochu jinými názvy. Simulaci barevné poruchy tritanopie ani jeden z grafických programů nenabízí, nicméně tento defekt se vyskytuje méně často než deuteranopie a protanopie. Barevnou poruchu monochromazie také nenabízí, jelikož se vyskytuje výjimečně. Nicméně černobílé vidění lze simulovat pomocí využití kontrolního náhledu: v programu Adobe Photoshop kliknutím na Zobrazit > Nastavení kontrolního náhledu > Jiné a zde zvolit některý z profilů Dot Gain nebo Gray Gamma (případně si vytvořit vlastní profil pro monochromazii); v programu Adobe Illustrator analogicky. Další variantou je převedení do stupňů šedi, která je zpravidla dostupná i v programech, které kontrolní náhled neumožňují). Převedení do stupňů šedi lze nastavit kliknutím na položky Úpravy > Upravit barvy > Převedt na stupně šedi v programu Adobe Illustrator (verze CS6) nebo kliknutím na položky Obraz > Režim > Stupně šedi v programu Adobe Photoshop (verze CC 2019). Kontrolní náhledy v obou softwarech lze poté vypnout/zapnout kliknutím na položky Zobrazení > Kontrolní náhled barev.

Dále byly použity doplňky do prohlížeče Google Chrome s názvem Daltonize a do prohlížeče Mozilla Firefox s názvem Let's get color blind. Doplňky prohlížeče Daltonize

a Let's get color blind simulují deuteranopii, protanopii a tritanopii jako typy defektů barevného vidění; doplněk Daltonize ještě navíc simuluje monochromazii. Byl použit také softwarový simulátor Color Oracle, který je vhodný pro kontrolu map a rovněž nabízí simulaci všech defektů barevného vidění.

V této práci byl také v programu Adobe InDesign CC 2019 vytvořen vzorník barev pro usnadnění optimalizace barev. V tomto vzorníku byly vytvořeny skupiny barev s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi barev všech typů defektů barevného vidění. Tento vzorník byl vytvořen na základě vzdělávací webové stránky W3Schools, určené pro učení kódování online, konkrétně v nabídce Color Groups [93]. Simulace barev byly vytvořeny pomocí doplňku do prohlížeče Google Chrome s názvem Daltonize. Vzorník je znázorněn na obr. 34–37. Jednotlivé barvy byly navrhovány, případně upravovány, v nabídce HTML Color Picker pomocí menu Lighter/Darker. Pro širší použitelnost byl vzorník zpracován v anglickém jazyce.

Byly zkontrolovány webové stránky COVID očkování, webové stránky Univerzity Pardubice, Univerzity Karlovy v Praze a Univerzity Palackého v Olomouci. Dále byly zkontrolovány loga Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult. Následně mapy Ski centra Říčky v Orlických horách a také orientační plán: Univerzita Pardubice – kampus Polabiny. Na základě výsledků byly optimalizovány webové stránky COVID očkování a mapy Ski centra Říčky v Orlických horách, a použity jako podklady pro testování.

Všechny optimalizace barev byly simulovány pomocí simulátorů a následně zhodnoceny respondenty včetně těch, kteří trpí poruchou barvocitu či barvoslepostí.

| Pink Colors | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|-----------------|---------|--------|--------------|------------|------------|--------------|
| Pink | #FFC0CB | | | | | |
| LightPink | #FFB6C1 | | | | | |
| HotPink | #FF69B4 | | | | | |
| DeepPink | #FF1493 | | | | | |
| PaleVioletRed | #DB7093 | | | | | |
| MediumVioletRed | #C71585 | | | | | |

| Purple Colors | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|-----------------|---------|--------|--------------|------------|------------|--------------|
| Lavender | #E6E6FA | | | | | |
| Thistle | #D8BFD8 | | | | | |
| Plum | #DDA0DD | | | | | |
| Orchid | #DA70D6 | | | | | |
| Violet | #EE82EE | | | | | |
| Fuchsia | #FF00FF | | | | | |
| Magenta | #FF00FF | | | | | |
| MediumOrchid | #BA55D3 | | | | | |
| DarkOrchid | #9932CC | | | | | |
| DarkViolet | #9400D3 | | | | | |
| BlueViolet | #8A2BE2 | | | | | |
| DarkMagenta | #8B008B | | | | | |
| Purple | #800080 | | | | | |
| MediumPurple | #9370DB | | | | | |
| MediumSlateBlue | #7B68EE | | | | | |
| SlateBlue | #6A5ACD | | | | | |
| DarkSlateBlue | #483D8B | | | | | |
| RebeccaPurple | #663399 | | | | | |
| Indigo | #4B0082 | | | | | |

| Red Colors | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|-------------|---------|--------|--------------|------------|------------|--------------|
| LightSalmon | #FFA07A | | | | | |
| Salmon | #FA8072 | | | | | |
| DarkSalmon | #E9967A | | | | | |
| LightCoral | #F08080 | | | | | |
| IndianRed | #CD5C5C | | | | | |
| Crimson | #DC143C | | | | | |
| Red | #FF0000 | | | | | |
| FireBrick | #B22222 | | | | | |
| DarkRed | #8B0000 | | | | | |

| Orange Colors | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|---------------|---------|--------|--------------|------------|------------|--------------|
| Orange | #FFA500 | | | | | |
| DarkOrange | #FF8C00 | | | | | |
| Coral | #FF7F50 | | | | | |
| Tomato | #FF6347 | | | | | |
| OrangeRed | #FF4500 | | | | | |

Obrázek 34: Vzorník skupiny barev s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi barev pro všechny typy defektů barevného vidění – 1. část

Yellow Colors

| | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|----------------------|---------|--------|--------------|------------|------------|--------------|
| Gold | #FFD700 | | | | | |
| Yellow | #FFFF00 | | | | | |
| LightYellow | #FFFFE0 | | | | | |
| LemonChiffon | #FFFACD | | | | | |
| LightGoldenRodYellow | #FAFAD2 | | | | | |
| PapayaWhip | #FFEFD5 | | | | | |
| Moccasin | #FFE4B5 | | | | | |
| PeachPuff | #FFDAB9 | | | | | |
| PaleGoldenRod | #EEE8AA | | | | | |
| Khaki | #F0E68C | | | | | |
| DarkKhaki | #BDB76B | | | | | |

Green Colors














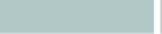
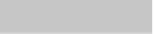




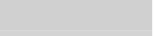




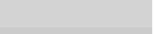




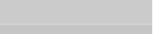




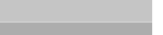




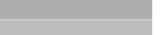
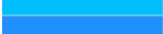






















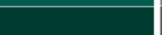
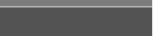




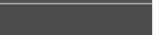
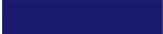


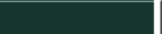
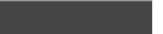

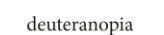

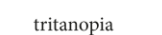

| | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|-------------------|---------|--------|--------------|------------|------------|--------------|
| GreenYellow | #ADFF2F | | | | | |
| Chartreuse | #7FFF00 | | | | | |
| LawnGreen | #7CFC00 | | | | | |
| Lime | #00FF00 | | | | | |
| LimeGreen | #32CD32 | | | | | |
| PaleGreen | #98FB98 | | | | | |
| LightGreen | #90EE90 | | | | | |
| MediumSpringGreen | #00FA9A | | | | | |
| SpringGreen | #00FF7F | | | | | |
| MediumSeaGreen | #3CB371 | | | | | |
| SeaGreen | #2E8B57 | | | | | |
| ForestGreen | #228B22 | | | | | |
| Green | #008000 | | | | | |
| DarkGreen | #006400 | | | | | |
| YellowGreen | #9ACD32 | | | | | |
| OliveDrab | #6B8E23 | | | | | |
| DarkOliveGreen | #556B2F | | | | | |
| MediumAquaMarine | #66CDAA | | | | | |
| DarkSeaGreen | #8FBC8F | | | | | |
| LightSeaGreen | #20B2AA | | | | | |
| DarkCyan | #008B8B | | | | | |
| Teal | #008080 | | | | | |

Cyan Colors

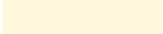

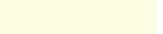

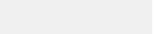

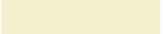
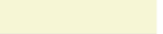

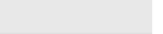

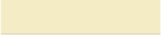
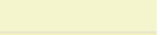

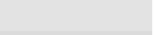


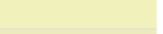

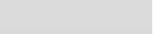

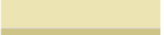
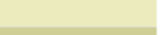






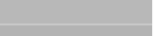







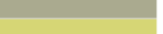

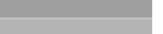



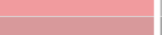
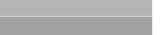






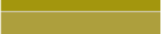
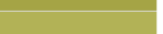

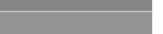

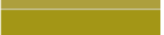
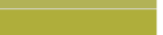

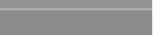

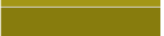
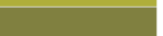

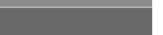
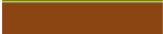
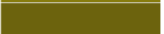
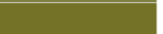
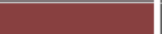
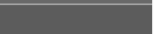

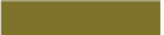
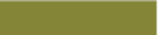

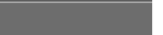










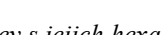
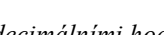
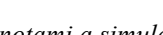
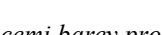
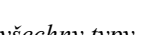
| | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|-----------------|---------|--------|--------------|------------|------------|--------------|
| Aqua | #00FFFF | | | | | |
| Cyan | #00FFFF | | | | | |
| LightCyan | #E0FFFF | | | | | |
| PaleTurquoise | #AFEEEE | | | | | |
| Aquamarine | #7FFFD4 | | | | | |
| Turquoise | #40E0D0 | | | | | |
| MediumTurquoise | #48D1CC | | | | | |
| DarkTurquoise | #00CED1 | | | | | |

Obrázek 35: Vzorník skupiny barev s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi barev pro všechny typy defektů barevného vidění – 2. část

Blue Colors

| | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|----------------|---------|---|---|--|---|---|
| CadetBlue | #5F9EA0 |  |  |  |  |  |
| SteelBlue | #4682B4 |  |  |  |  |  |
| LightSteelBlue | #B0C4DE |  |  |  |  |  |
| LightBlue | #ADD8E6 |  |  |  |  |  |
| PowderBlue | #B0E0E6 |  |  |  |  |  |
| LightSkyBlue | #87CEFA |  |  |  |  |  |
| SkyBlue | #87CEEB |  |  |  |  |  |
| CornflowerBlue | #6495ED |  |  |  |  |  |
| DeepSkyBlue | #00BFFF |  |  |  |  |  |
| DodgerBlue | #1E90FF |  |  |  |  |  |
| RoyalBlue | #4169E1 |  |  |  |  |  |
| Blue | #0000FF |  |  |  |  |  |
| MediumBlue | #0000CD |  |  |  |  |  |
| DarkBlue | #00008B |  |  |  |  |  |
| Navy | #000080 |  |  |  |  |  |
| MidnightBlue | #191970 |  |  |  |  |  |

Brown Colors

| | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|----------------|---------|---|---|--|---|---|
| Cornsilk | #FFF8DC |  |  |  |  |  |
| BlanchedAlmond | #FFEBCD |  |  |  |  |  |
| Bisque | #FFE4C4 |  |  |  |  |  |
| NavajoWhite | #FFDEAD |  |  |  |  |  |
| Wheat | #F5DEB3 |  |  |  |  |  |
| BurlyWood | #DEB887 |  |  |  |  |  |
| Tan | #D2B48C |  |  |  |  |  |
| RosyBrown | #BC8F8F |  |  |  |  |  |
| SandyBrown | #F4A460 |  |  |  |  |  |
| GoldenRod | #DAA520 |  |  |  |  |  |
| DarkGoldenRod | #B8860B |  |  |  |  |  |
| Peru | #CD853F |  |  |  |  |  |
| Chocolate | #D2691E |  |  |  |  |  |
| Olive | #808000 |  |  |  |  |  |
| SaddleBrown | #8B4513 |  |  |  |  |  |
| Sienna | #A0522D |  |  |  |  |  |
| Brown | #A52A2A |  |  |  |  |  |
| Maroon | #800000 |  |  |  |  |  |

Obrázek 36: Vzorník skupiny barev s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi barev pro všechny typy defektů barevného vidění – 3. část

| White Colors | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|---------------|---------|--------|--------------|------------|------------|--------------|
| White | #FFFFFF | | | | | |
| Snow | #FFFAFA | | | | | |
| HoneyDew | #F0FFF0 | | | | | |
| MintCream | #F5FFFA | | | | | |
| Azure | #F0FFFF | | | | | |
| AliceBlue | #F0F8FF | | | | | |
| GhostWhite | #F8F8FF | | | | | |
| WhiteSmoke | #F5F5F5 | | | | | |
| SeaShell | #FFF5EE | | | | | |
| Beige | #F5F5DC | | | | | |
| OldLace | #FDF5E6 | | | | | |
| FloralWhite | #FFFAF0 | | | | | |
| Ivory | #FFFFF0 | | | | | |
| AntiqueWhite | #FAEBD7 | | | | | |
| Linen | #FAF0E6 | | | | | |
| LavenderBlush | #FFF0F5 | | | | | |
| MistyRose | #FFE4E1 | | | | | |

| Grey Colors | | normal | deuteranopia | protanopia | tritanopia | monochromacy |
|----------------|---------|--------|--------------|------------|------------|--------------|
| Gainsboro | #DCDCDC | | | | | |
| LightGray | #D3D3D3 | | | | | |
| Silver | #C0C0C0 | | | | | |
| DarkGray | #A9A9A9 | | | | | |
| DimGray | #696969 | | | | | |
| Gray | #808080 | | | | | |
| LightSlateGray | #778899 | | | | | |
| SlateGray | #708090 | | | | | |
| DarkSlateGray | #2F4F4F | | | | | |
| Black | #000000 | | | | | |

Obrázek 37: Vzorník skupiny barev s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi barev pro všechny typy defektů barevného vidění – 4. část

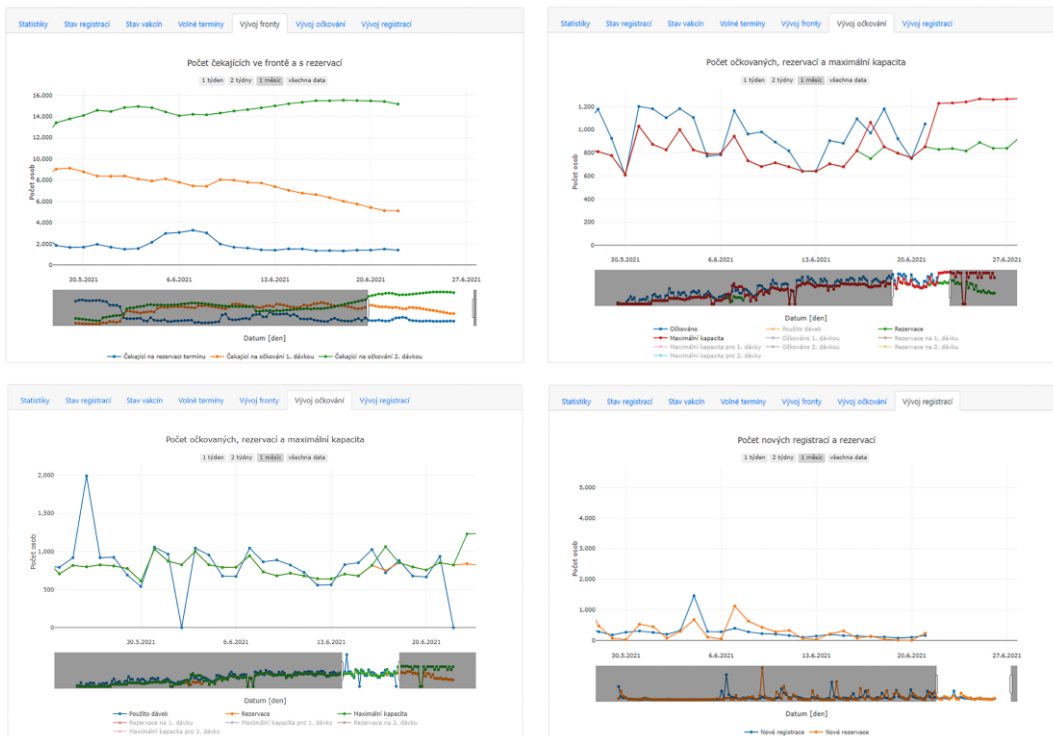
6.3.1 Webové stránky COVID očkování

Webové stránky COVID očkování byly nejdříve kontrolovány s ohledem na poruchy barevného vidění pomocí simulátorů poruch barevného vidění. Pomocí simulátorů byly zjištěny problémy s barevnými kombinacemi především na stránce Stav registrací a stránkách Vývoj fronty, Vývoj očkování a Vývoj registrací, které zobrazovaly grafy. Na stránce Statistiky byl zjištěn především problém v tloušťce písma spolu se špatně zvolenou barevnou kombinací. Z tohoto důvodu byly vybrány pro optimalizaci a hodnocení pozorovateli.

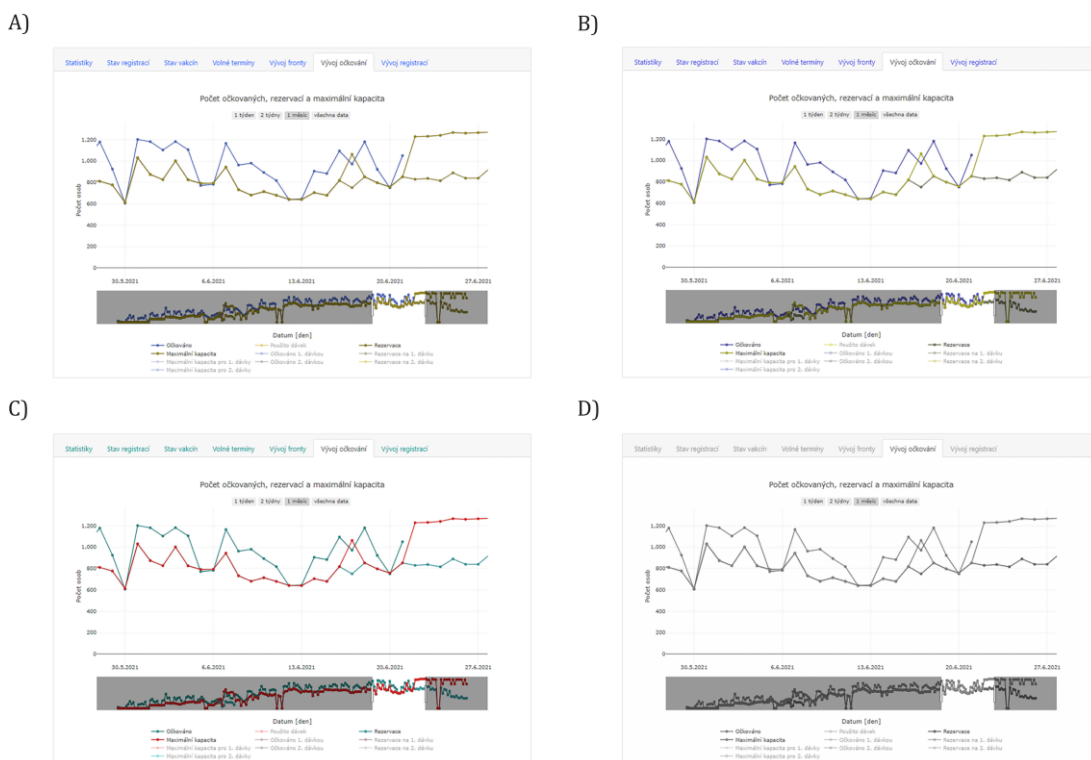
Pro optimalizaci webových stránek byla použita webová stránka pro COVID očkování [94], konkrétně informace pro Kraj: Praha; Očkovací místo Fakultní Thomayerova nemocnice. Dále pro různé kombinace barev u grafů byly použity informace z Kraj: Pardubický; Očkovací místo: MUDr. Radoslav Svoboda s.r.o. – Seč. Optimalizace barev webových stránek určených k informování občanů ohledně očkování byla zpracována pomocí vývojářských možností v prohlížeči Google Chrome a doplňku do prohlížeče s názvem Daltonize.

Vývojářské možnosti lze v prohlížeči Google Chrome zobrazit pomocí klávesy F12 nebo pravým tlačítkem myši a výběrem možnosti Prozkoumat. Optimalizace barev byla prováděna pomocí úpravy, nahrazení nebo přidáním CSS stylu, což je jazyk pro popis způsobu zobrazení elementů na webových stránkách. Následně byly prvky s nahrazenými barvami simulovány pomocí doplňku Daltonize. Prohlížeč Google Chrome byl jako primární vybrán z důvodu nabídky simulace všech typů poruch barevného vidění ve zmíněném doplňku. Grafika byla následně také zkontrolována v prohlížeči Mozilla Firefox pomocí doplňku s názvem Let's get color blind, pomocí softwarového simulátoru Color Oracle a simulací dostupných v grafických programech Adobe Photoshop a Adobe Illustrator.

Grafy byly upraveny pomocí programu Adobe Illustrator CS6. Byly optimalizovány jenom barvy, nikoliv různé typy čar a značek (např. kruhy, trojúhelníky, čtverce a další). Důvodem bylo to, že na webové stránce lze přímo v grafech zobrazit popisky přímo u křivek. Na obr. 38 je znázorněn původní vzhled grafů a na obr. 39 lze vidět, že tyto barevné kombinace jsou špatně odlišitelné při simulaci poruch deuteranopie a monochromazie. Grafy byly upravovány také v programu Adobe Photoshop CC 2019 kliknutím na položku Obraz > Přizpůsobení > Nahradit barvu.



Obrázek 38: Původní návrh grafů na webových stránkách COVID očkování, bez simulace



Obrázek 39: Původní návrh grafů, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle
A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie

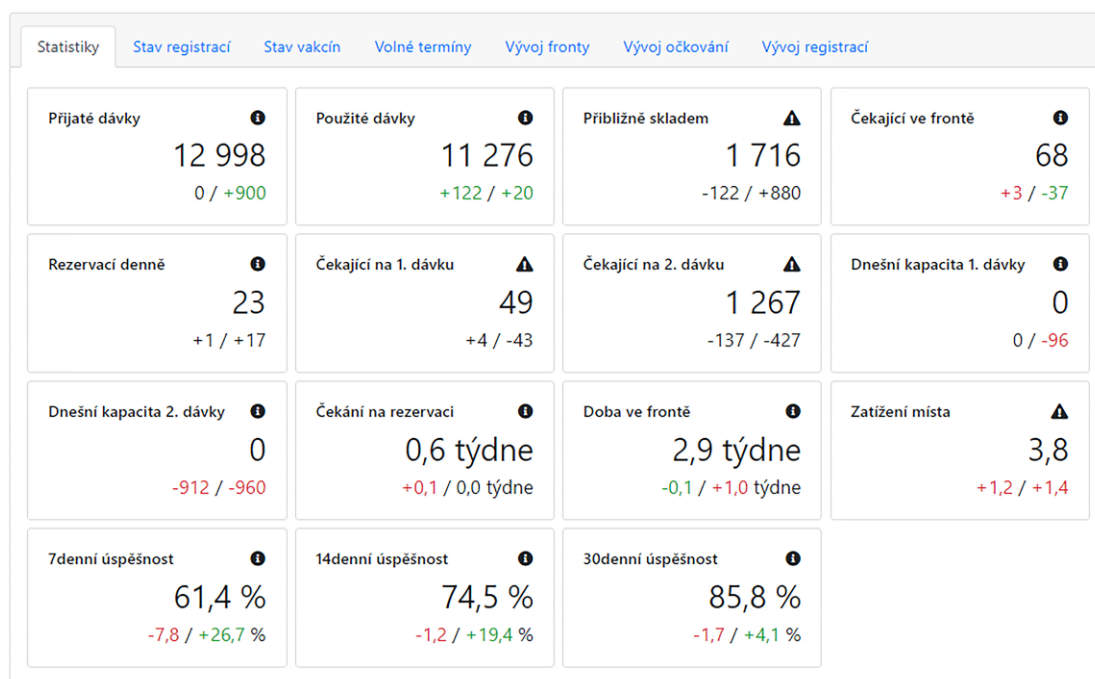
Problémem na těchto webových stránkách byla především červená a zelená kombinace elementů na stránce Stav registrací. Na obr. 40 je znázorněn původní vzhled webu a na obr. 41 lze vidět, že tato červeno-zelená kombinace zanikla při simulaci poruchy deuteranopie a barvy nelze od sebe odlišit. Rovněž na obr. 42 a na obr. 43 lze vidět tento samý problém. Dále také pozadí údaje kategorie, kterým nebyla za posledních 14 dní umožněna žádná rezervace, popsané pomocí CSS stylu *table-warning* bylo při simulacích špatně rozlišitelné od ostatních barevných elementů stránky. Navíc v poznámce pod tabulkou byla uvedena informace *Oranžově jsou vyznačeny kategorie, kterým nebyla za posledních 14 dní umožněna žádná rezervace*, což není vhodné. Dále byla problematická barva pozadí (background-color) lichých řádků v CSS definici *table-striped tbody tr:nth-of-type(odd)*, sloužící pro střídání barevného pozadí řádků, která při simulaci monochromazie spolu s pozadím barvy CSS stylu *table-warning* byla špatně odlišitelná.

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | 7denní úspěšnost |
|----------------|-------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 9 | 25 | 0,5 týdne | 0,4 týdne | 79 % |
| 0-17 | Pedagogický pracovník/ne... | 2 | 0 | bez dat | 19,7 týdne | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 20 | 57 | 0,6 týdne | 1,2 týdne | 82 % |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 10,0 týdne | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 19 | 51 | 0,5 týdne | 0,8 týdne | 83 % |
| 25-29 | Pedagogický pracovník/ne... | 1 | 0 | bez dat | 16,0 týdne | bez dat |
| 25-29 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 1 | 2 | 0,0 týdne | 0,1 týdne | 75 % |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník dle... | 3 | 28 | 0,0 týdne | 23,1 týdne | 100 % |
| 30-34 | Kritická infrastruktura | 0 | 0 | 0,0 týdne | bez dat | 100 % |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 28 | 41 | 0,3 týdne | 1,0 týdne | 73 % |
| 30-34 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 0 | 1,4 týdne | 0,5 týdne | 33 % |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 11 | 0,2 týdne | 22,1 týdne | 100 % |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 24 | 49 | 0,1 týdne | 2,0 týdne | 78 % |
| 35-39 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 0 | bez dat | 16,4 týdne | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 0 | 3 | 0,2 týdne | bez dat | 100 % |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník dle... | 3 | 7 | 11,2 týdne | 18,8 týdne | 100 % |
| 40-44 | Na základě dosaženého vě... | 18 | 48 | 0,4 týdne | 1,4 týdne | 76 % |
| 40-44 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 1 | 3 | 0,1 týdne | 0,4 týdne | 80 % |
| 40-44 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 0 | 0,0 týdne | 23,9 týdne | 100 % |
| 45-49 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 0,1 týdne | 0 % |

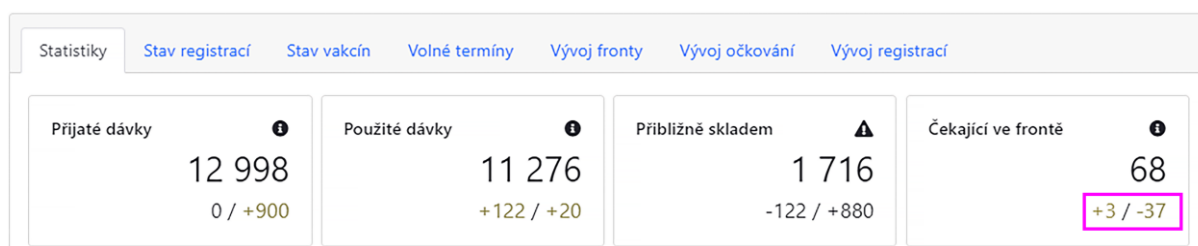
Obrázek 40: Původní návrh webové stránky COVID očkování, stránka Stav registrací

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | 7denní úspěšnost |
|----------------|-------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 9 | 25 | 0,5 týdne | 0,4 týdne | 79 % |
| 0-17 | Pedagogický pracovník/ne... | 2 | 0 | bez dat | 19,7 týdne | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 20 | 57 | 0,6 týdne | 1,2 týdne | 82 % |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 10,0 týdne | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 19 | 51 | 0,5 týdne | 0,8 týdne | 83 % |
| 25-29 | Pedagogický pracovník/ne... | 1 | 0 | bez dat | 16,0 týdne | bez dat |
| 25-29 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 1 | 2 | 0,0 týdne | 0,1 týdne | 75 % |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník dle... | 3 | 28 | 0,0 týdne | 23,1 týdne | 100 % |
| 30-34 | Kritická infrastruktura | 0 | 0 | 0,0 týdne | bez dat | 100 % |

Obrázek 41: Část webové stránky COVID očkování z obr. 40 se simulací deuteranopie pomocí doplňku Daltonize, kde se ztrácí červeno-zelená barevná informace



Obrázek 42: Původní návrh webové stránky COVID očkování, stránka Statistika








Obrázek 43: Část webové stránky COVID očkování z obr. 42 se simulací deuteranopie pomocí doplňku Daltonize, kde se ztrácí červeno-zelená barevná informace












6.3.1.1 Optimalizace webových stránek COVID očkování

Optimalizace barev tohoto webu byla zásadní především na stránkách Stav registrací, Statistiky a Volné termíny. Dále také na stránkách Vývoj fronty, Vývoj očkování a Vývoj registrací; tyto stránky zobrazují grafy. Souhrn navržené optimalizace barev webu, kde jsou uvedeny použité barvy spolu s jejich hexadecimálními hodnotami, je na obr. 44. Barvy byly navrženy také podle hierarchie orientace na stránce a byly seřazeny od nejtmaší (nejdůležitější informace) po nejsvětlejší (nejméně důležitá informace). Čtenář si téměř vždy na stránce všimne nejvýraznějšího barevného elementu.

Statistiky

text-success:  #28a745 →  #228B22
text-danger:  #dc3545 →  #a6a6a6
card-text:last-child:  #212529 →  #000000 + přidán "color:" s hodnotou #000000, jelikož barva #212529 je zděděná z "body"

Stav registrací

badge-success:  #28a745 →  #228B22
badge-danger:  #dc3545 →  #e2e2e2 + font #fff nahrazen za #000000
badge-warning:  #ffc107 →  #ecbe29
badge-light:  #f8f9fa →  #ffffff
table-striped tbody tr:nth-of-type(odd) (background-color):  #000000 → N.A.
table-bordered td, .table-bordered th:  #dee2e6 →  #9e9c9c



Světlá verze:

table-warning (background-color):  #ffeeba →  #cccccc
table-warning (border-color):  #ffdf7e →  #9a9898









Tmavá verze:

table-warning (background-color):  #ffeeba →  #8c8c8c
table-warning (border-color):  #ffdf7e →  #c0bfbf


Vývoj fronty (graf)

 #519d3e →  #009e73
 #f08536 →  #e69f00
 #3976af →  #000066

Vývoj očkování (graf)

 #519d3e →  #009e73
 #f08536 →  #e69f00
 #3976af →  #000066
 #c63a32 →  #ff00ff

Vývoj registrací (graf)

 #f08536 →  #e69f00
 #3976af →  #000066

Obrázek 44: Souhrn navržené optimalizace barev webových stránek COVID očkování

Na stránce Stav registrací byl nejdůležitější problém s červeno-zelenou barevnou kombinací. Tato barevná kombinace zaniká pro čtenáře trpící barevnou poruchou deuteranopie a mohla by být špatně čitelná i pro čtenáře trpící protanopií. Jak již bylo výše zmíněno, při optimalizaci byly barvy seřazeny od nejtmaší po nejsvětlejší. Proto na stránce Stav registrací jsou po optimalizaci nejdůležitější kladné informace – nejkratší doba čekání na rezervaci a doba ve frontě a nejvyšší 7denní úspěšnost; tyto informace jsou navrženy pomocí tmavě zelené barvy. Dále středně výrazné jsou informace, které nejsou nejlepší, ale také nejsou nejhorší – středně dlouhá doba čekání na rezervaci a doba ve frontě a střední 7denní úspěšnost; tyto informace jsou navrženy pomocí tmavší oranžové barvy. Nejméně výrazné jsou informace, které jsou nejméně výhodné – nejdelší doba čekání na rezervaci a doba ve frontě a nejnižší 7denní úspěšnost, a také informace bez dat; tyto informace jsou navrženy pomocí šedé, resp. bílé barvy.

Dále na stránce Stav registrací bylo při optimalizaci zrušeno střídání barevného pozadí řádků. Barva pozadí zvýrazněných řádků (CSS styl s názvem *table-warning*) byla změněna ze světle oranžové na šedou. Tyto barvy pozadí špatně fungovaly s barevnými elementy tabulky. Dále také v poznámce tabulky by nemělo být napsáno, že jsou oranžově vyznačeny kategorie, kterým nebyla za posledních 14 dní umožněna žádná rezervace. Tato poznámka se také objevuje na stránce Volné termíny. Lidé trpící poruchou barvocitu či barvoslepostí nemusí oranžovou barvu rozlišit a barevná informace je pro ně nejasná nebo zmizí. Proto byla pro CSS styl s názvem *table-warning* použita šedá barva, jelikož tuto barvu by měli rozlišit čtenáři trpící všemi typy poruch barevného vidění. Byly vytvořeny dvě varianty návrhu tabulky s využitím tmavší a světlejší šedé barvy použité pro CSS styl *table-warning*. Na obr. 45 lze vidět optimalizovaný návrh webových stránek bez simulace a na obr. 46 souhrn navržené optimalizace barev s jejich hexadecimálními hodnotami pro tyto verze. Na obr. 47 je znázorněno vyřešení problému; u optimalizované verze se neztratila barevná informace. Dále na obr. 48 a obr. 49 jsou znázorněny návrhy světlé a tmavé verze stránky Stav registrací, které zobrazují simulace těchto webových stránek pro všechny poruchy barvocitu.

Analogicky jako stránka Stav registrací je optimalizována stránka Očkovací místa v přehledu pro jednotlivé kraje a okresy.

A)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | 7denní úspěšnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 1,1 týden | 1,1 týden | 93% |
| 0-17 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 0 | bez dat | 5,6 týden | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 1,1 týden | 1,1 týden | 65% |
| 18-24 | Osoba s chronickým onem... | 2 | 0 | bez dat | 14,8 týden | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 10,1 týden | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 3,0 týden | 0% |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník dle... | 1 | 3 | 0,1 týden | 0,1 týden | 0% |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 7,4 týden | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 305 | 1 384 | 0,8 týden | 1,8 týden | 64% |
| 25-29 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 13 | 0,4 týden | 0,8 týden | 67% |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 6 | 1,1 týden | 1,7 týden | 67% |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 250 | 1 141 | 0,8 týden | 1,8 týden | 67% |
| 30-34 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 8 | 0,3 týden | 0,8 týden | 67% |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 5 | 0,2 týden | 0,8 týden | 100% |
| 35-39 | Kritická infrastruktura | 1 | 3 | bez dat | 9,7 týden | bez dat |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 187 | 811 | 0,6 týden | 1,3 týden | 65% |
| 35-39 | Nezdravotnickí pracovníci ... | 1 | 0 | bez dat | 8,3 týden | bez dat |
| 35-39 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 1 | bez dat | 14,1 týden | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 19 | 1,1 týden | 0,4 týden | 41% |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník dle... | 0 | 2 | 0,1 týden | bez dat | 100% |

B)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | 7denní úspěšnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 1,1 týden | 1,1 týden | 93% |
| 0-17 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 0 | bez dat | 5,6 týden | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 1,1 týden | 1,1 týden | 65% |
| 18-24 | Osoba s chronickým onem... | 2 | 0 | bez dat | 14,8 týden | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 10,1 týden | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 3,0 týden | 0% |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník dle... | 1 | 3 | 0,1 týden | 0,1 týden | 0% |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 7,4 týden | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 305 | 1 384 | 0,8 týden | 1,8 týden | 64% |
| 25-29 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 13 | 0,4 týden | 0,8 týden | 67% |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 6 | 1,1 týden | 1,7 týden | 67% |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 250 | 1 141 | 0,8 týden | 1,8 týden | 67% |
| 30-34 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 8 | 0,3 týden | 0,8 týden | 67% |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 5 | 0,2 týden | 0,8 týden | 100% |
| 35-39 | Kritická infrastruktura | 1 | 3 | bez dat | 9,7 týden | bez dat |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 187 | 811 | 0,6 týden | 1,3 týden | 65% |
| 35-39 | Nezdravotnickí pracovníci ... | 1 | 0 | bez dat | 8,3 týden | bez dat |
| 35-39 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 1 | bez dat | 14,1 týden | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 19 | 1,1 týden | 0,4 týden | 41% |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník dle... | 0 | 2 | 0,1 týden | bez dat | 100% |

Obrázek 45: Návrh dvou variant optimalizace webových stránek COVID očkování, stránka Stav registrací, bez simulace A) světlá verze, B) tmavá verze

badge-success: ■ #28a745 → ■ #228B22
 badge-danger: ■ #dc3545 → ■ #e2e2e2 + font #fff nahrazen za #000000
 badge-warning: ■ #ffc107 → ■ #ecbe29
 badge-light: □ #f8f9fa → □ #ffffff

table-striped tbody .table-striped tbody #000000 → N.A.
 tr:nth-of-type(odd) (background-color): #dee2e6 → #9e9c9c

Světlá verze:

table-warning (background-color): #ffeeba → #cccccc
 table-warning (border-color): #ffdf7e → #9a9898

Tmavá verze:

table-warning (background-color): #ffeeba → #8c8c8c
 table-warning (border-color): #ffdf7e → #c0bfbf

Obrázek 46: Souhrn navržené optimalizace barev webových stránek COVID očkování, stránka Stav registrací

A)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | 7denní úspěšnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 1,2 týdne | 1,4 týdne | 59 % |
| 0-17 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 0 | bez dat | 5,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 66 % |
| 18-24 | Osoba s chronickým onem... | 2 | 0 | bez dat | 14,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 10,1 týdne | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 3,0 týdne | 0 % |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník dle... | 1 | 3 | 0,3 týdne | 0,1 týdne | 0 % |

B)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | 7denní úspěšnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 1,2 týdne | 1,4 týdne | 59 % |
| 0-17 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 0 | bez dat | 5,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 66 % |
| 18-24 | Osoba s chronickým onem... | 2 | 0 | bez dat | 14,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 10,1 týdne | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 3,0 týdne | 0 % |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník dle... | 1 | 3 | 0,3 týdne | 0,1 týdne | 0 % |

Obrázek 47: Část optimalizované webové stránky COVID očkování z obr. 45 se simulací deuteranopie pomocí doplňku Daltonize, kde se neztratila barevná informace

A)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | 7denní úspěšnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 1,2 týdne | 1,4 týdne | 59 % |
| 0-17 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 0 | bez dat | 5,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 66 % |
| 18-24 | Osoba s chronickým onem... | 2 | 0 | bez dat | 14,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 10,1 týdne | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 3,0 týdne | 0 % |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník dle... | 1 | 3 | 0,3 týdne | 0,1 týdne | 0 % |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 7,4 týdne | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 305 | 1 384 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 25-29 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 13 | 0,4 týdne | 0,4 týdne | 41 % |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 6 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 10 % |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 250 | 1 141 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 30-34 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 8 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 10 % |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 5 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 100 % |
| 35-39 | Kritická infrastruktura | 1 | 3 | bez dat | 9,7 týdne | bez dat |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 187 | 811 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 35-39 | Nezdravotnickí pracovníci ... | 1 | 0 | bez dat | 8,3 týdne | bez dat |
| 35-39 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 1 | bez dat | 14,1 týdne | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 19 | 0,7 týdne | 0,4 týdne | 40 % |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník dle... | 0 | 2 | 0,1 týdne | bez dat | 100 % |

B)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | 7denní úspěšnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 1,2 týdne | 1,4 týdne | 59 % |
| 0-17 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 0 | bez dat | 5,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 66 % |
| 18-24 | Osoba s chronickým onem... | 2 | 0 | bez dat | 14,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 10,1 týdne | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 3,0 týdne | 0 % |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník dle... | 1 | 3 | 0,3 týdne | 0,1 týdne | 0 % |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 7,4 týdne | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 305 | 1 384 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 25-29 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 13 | 0,4 týdne | 0,4 týdne | 41 % |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 6 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 10 % |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 250 | 1 141 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 30-34 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 8 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 10 % |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 5 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 100 % |
| 35-39 | Kritická infrastruktura | 1 | 3 | bez dat | 9,7 týdne | bez dat |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 187 | 811 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 35-39 | Nezdravotnickí pracovníci ... | 1 | 0 | bez dat | 8,3 týdne | bez dat |
| 35-39 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 1 | bez dat | 14,1 týdne | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 19 | 0,7 týdne | 0,4 týdne | 40 % |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník dle... | 0 | 2 | 0,1 týdne | bez dat | 100 % |

C)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | 7denní úspěšnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 1,2 týdne | 1,4 týdne | 59 % |
| 0-17 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 0 | bez dat | 5,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 66 % |
| 18-24 | Osoba s chronickým onem... | 2 | 0 | bez dat | 14,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 10,1 týdne | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 3,0 týdne | 0 % |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník dle... | 1 | 3 | 0,3 týdne | 0,1 týdne | 0 % |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 7,4 týdne | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 305 | 1 384 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 25-29 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 13 | 0,4 týdne | 0,4 týdne | 41 % |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 6 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 10 % |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 250 | 1 141 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 30-34 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 8 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 10 % |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 5 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 100 % |
| 35-39 | Kritická infrastruktura | 1 | 3 | bez dat | 9,7 týdne | bez dat |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 187 | 811 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 35-39 | Nezdravotnickí pracovníci ... | 1 | 0 | bez dat | 8,3 týdne | bez dat |
| 35-39 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 1 | bez dat | 14,1 týdne | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 19 | 0,7 týdne | 0,4 týdne | 40 % |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník dle... | 0 | 2 | 0,1 týdne | bez dat | 100 % |

D)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | 7denní úspěšnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 1,2 týdne | 1,4 týdne | 59 % |
| 0-17 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 0 | bez dat | 5,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 66 % |
| 18-24 | Osoba s chronickým onem... | 2 | 0 | bez dat | 14,6 týdne | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 10,1 týdne | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 3,0 týdne | 0 % |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník dle... | 1 | 3 | 0,3 týdne | 0,1 týdne | 0 % |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 7,4 týdne | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 305 | 1 384 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 25-29 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 13 | 0,4 týdne | 0,4 týdne | 41 % |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 6 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 10 % |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 250 | 1 141 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 30-34 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 2 | 8 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 10 % |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník dle... | 2 | 5 | 0,1 týdne | 0,1 týdne | 100 % |
| 35-39 | Kritická infrastruktura | 1 | 3 | bez dat | 9,7 týdne | bez dat |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 187 | 811 | 1,3 týdne | 1,8 týdne | 65 % |
| 35-39 | Nezdravotnickí pracovníci ... | 1 | 0 | bez dat | 8,3 týdne | bez dat |
| 35-39 | Osoba s chronickým onem... | 1 | 1 | bez dat | 14,1 týdne | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanci Ministerstva ... | 4 | 19 | 0,7 týdne | 0,4 týdne | 40 % |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník dle... | 0 | 2 | 0,1 týdne | bez dat | 100 % |

Obrázek 48: Návrh optimalizace stránky Stav registrací ve světlé verzi, se simulací všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie

A)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | Základní úplnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 0-17 | Osoba s chronickým onemoc... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 18-24 | Osoba s chronickým onemoc... | 2 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 0,00000 | 0% |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník die... | 1 | 3 | 0,00000 | 0,00000 | 0% |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 305 | 1 384 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 25-29 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 4 | 13 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník die... | 2 | 6 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 250 | 1 141 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 2 | 8 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník die... | 2 | 5 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Kritická infrastruktura | 1 | 3 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 187 | 811 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Nezdravotnický pracovník ... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Osoba s chronickým onemoc... | 1 | 1 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 4 | 19 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník die... | 0 | 2 | 0,00000 | bez dat | 0,00 |

C)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | Základní úplnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 0-17 | Osoba s chronickým onemoc... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 18-24 | Osoba s chronickým onemoc... | 2 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 0,00000 | 0% |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník die... | 1 | 3 | 0,00000 | 0,00000 | 0% |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 305 | 1 384 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 25-29 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 4 | 13 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník die... | 2 | 6 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 250 | 1 141 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 2 | 8 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník die... | 2 | 5 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Kritická infrastruktura | 1 | 3 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 187 | 811 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Nezdravotnický pracovník ... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Osoba s chronickým onemoc... | 1 | 1 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 4 | 19 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník die... | 0 | 2 | 0,00000 | bez dat | 0,00 |

B)

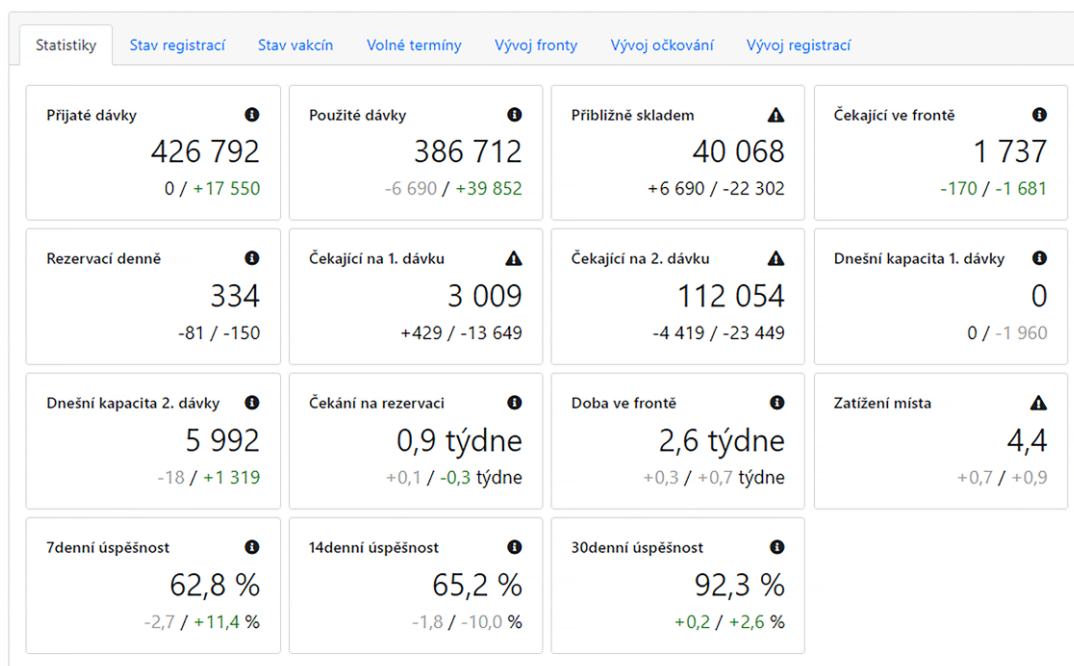
| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | Základní úplnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 0-17 | Osoba s chronickým onemoc... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 18-24 | Osoba s chronickým onemoc... | 2 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 0,00000 | 0% |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník die... | 1 | 3 | 0,00000 | 0,00000 | 0% |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 305 | 1 384 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 25-29 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 4 | 13 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník die... | 2 | 6 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 250 | 1 141 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 2 | 8 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník die... | 2 | 5 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Kritická infrastruktura | 1 | 3 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 187 | 811 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Nezdravotnický pracovník ... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Osoba s chronickým onemoc... | 1 | 1 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 4 | 19 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník die... | 0 | 2 | 0,00000 | bez dat | 0,00 |

D)

| Věková skupina | Prioritní skupina | Ve frontě | S termínem | Čekání na rezervaci | Doba ve frontě | Základní úplnost |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------------|------------------|
| 0-17 | Na základě dosaženého vě... | 174 | 804 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 0-17 | Osoba s chronickým onemoc... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Na základě dosaženého vě... | 286 | 1 678 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 18-24 | Osoba s chronickým onemoc... | 2 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Pracovník v sociálních služ... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 18-24 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 2 | 5 | bez dat | 0,00000 | 0% |
| 18-24 | Zdravotnický pracovník die... | 1 | 3 | 0,00000 | 0,00000 | 0% |
| 25-29 | Kritická infrastruktura | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 25-29 | Na základě dosaženého vě... | 305 | 1 384 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 25-29 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 4 | 13 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 25-29 | Zdravotnický pracovník die... | 2 | 6 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Na základě dosaženého vě... | 250 | 1 141 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 2 | 8 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 30-34 | Zdravotnický pracovník die... | 2 | 5 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Kritická infrastruktura | 1 | 3 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Na základě dosaženého vě... | 187 | 811 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Nezdravotnický pracovník ... | 1 | 0 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Osoba s chronickým onemoc... | 1 | 1 | bez dat | 0,00000 | bez dat |
| 35-39 | Zaměstnanec Ministerstva ... | 4 | 19 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00 |
| 35-39 | Zdravotnický pracovník die... | 0 | 2 | 0,00000 | bez dat | 0,00 |

Obrázek 49: Návrh optimalizace stránky Stav registrací v tmavé verzi, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie

Na stránce Statistika byl upraven jas a odstín zelené a černé barvy. Barvy byly špatně rozlišitelné také díky zvolenému fontu, který má příliš tenký duktus. Především byla změněna červená barva, která při simulaci deuteranopie byla špatně rozlišitelná se zelenou barvou. Tato červená barva byla nahrazena šedou barvou, aby byla zachována hierarchie orientace na stránce a barvy byly dobře barevně rozlišitelné. Na obr. 50 je znázorněna optimalizace této stránky spolu s hexadecimálními hodnotami původních a nově navržených barev a na obr. 51 je znázorněno vyřešení problému; u optimalizované verze se neztratila barevná informace.

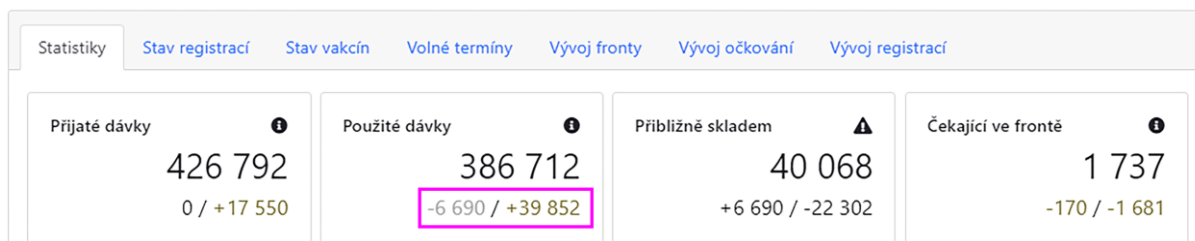


text-success: #28a745 → #228B22

text-danger: #dc3545 → #a6a6a6

card-text:last-child: #212529 → #000000 + přidán "color:" s hodnotou #000000, jelikož barva #212529 je zděděná z "body"

Obrázek 50: Návrh optimalizace webových stránek COVID očkování, stránka Statistika, bez simulace



Obrázek 51: Část optimalizované webové stránky COVID očkování z obr. 50 se simulací deuteranopie pomocí doplňku Daltonize, kde se neztratila barevná informace

Stránka Volné termíny byla nastavena už při optimalizaci stránky Stav registrací. Upravené CSS styly jsou použity i pro tuto stránku. Na obr. 52 lze vidět optimalizovaný návrh se světlou a tmavou verzí.

Jako poslední byly upravovány grafy ze stránek Vývoj fronty, Vývoj očkování a Vývoj registrací. Při optimalizaci byla snaha zachovat podobné barvy. Grafy byly zpracovány v programu Adobe Illustrator CS6. V grafech nebyly upravovány styly čar (přerušovaná, tečkovaná atd.), jelikož lze na webových stránkách popisky zobrazit přímo v grafech. Na obr. 53 jsou znázorněny optimalizované verze grafů. Seznam použitých původních a nových

barev s jejich hexadecimálními hodnotami a simulací pro všechny typy poruchy barvocitu jsou na obr. 54.

A)

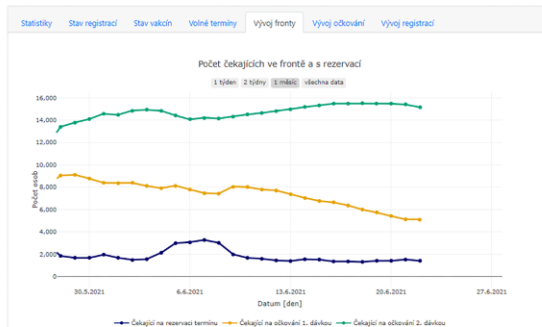
| Datum | Volné kapacity | Celková kapacita |
|-----------------|----------------|------------------|
| st 23. 06. 2021 | 0 | 178 |
| čt 24. 06. 2021 | 1 | 179 |
| pá 25. 06. 2021 | 0 | 178 |
| so 26. 06. 2021 | 0 | 177 |
| ne 27. 06. 2021 | 0 | 176 |
| po 28. 06. 2021 | 0 | 179 |
| út 29. 06. 2021 | 0 | 176 |
| st 30. 06. 2021 | 0 | 178 |
| čt 01. 07. 2021 | 0 | 188 |
| pá 02. 07. 2021 | 0 | 383 |
| so 03. 07. 2021 | 0 | 357 |
| ne 04. 07. 2021 | 0 | 354 |
| po 05. 07. 2021 | 0 | 0 |
| út 06. 07. 2021 | 0 | 0 |
| st 07. 07. 2021 | 0 | 363 |
| čt 08. 07. 2021 | 0 | 167 |
| pá 09. 07. 2021 | 0 | 359 |
| so 10. 07. 2021 | 0 | 355 |
| ne 11. 07. 2021 | 181 | 354 |
| po 12. 07. 2021 | 52 | 366 |

B)

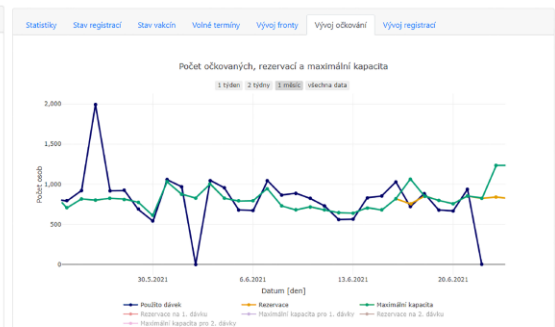
| Datum | Volné kapacity | Celková kapacita |
|-----------------|----------------|------------------|
| st 23. 06. 2021 | 0 | 178 |
| čt 24. 06. 2021 | 1 | 179 |
| pá 25. 06. 2021 | 0 | 178 |
| so 26. 06. 2021 | 0 | 177 |
| ne 27. 06. 2021 | 0 | 176 |
| po 28. 06. 2021 | 0 | 179 |
| út 29. 06. 2021 | 0 | 176 |
| st 30. 06. 2021 | 0 | 178 |
| čt 01. 07. 2021 | 0 | 188 |
| pá 02. 07. 2021 | 0 | 383 |
| so 03. 07. 2021 | 0 | 357 |
| ne 04. 07. 2021 | 0 | 354 |
| po 05. 07. 2021 | 0 | 0 |
| út 06. 07. 2021 | 0 | 0 |
| st 07. 07. 2021 | 0 | 363 |
| čt 08. 07. 2021 | 0 | 167 |
| pá 09. 07. 2021 | 0 | 359 |
| so 10. 07. 2021 | 0 | 355 |
| ne 11. 07. 2021 | 181 | 354 |
| po 12. 07. 2021 | 52 | 366 |

Obrázek 52: Návrh optimalizace webových stránek COVID očkování, stránka Volné termíny, bez simulace A) světlá verze, B) tmavá verze

A)



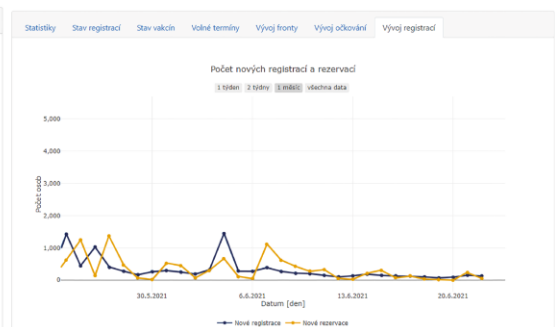
B)



C)



D)



Obrázek 53: Návrh optimalizace grafů na webových stránkách COVID očkování, bez simulace. Optimalizované návrhy jsou pro grafy na stránkách A) Vývoj fronty (Kraj: Praha, očkovací místo: Fakultní Thomayerova nemocnice), B) Vývoj očkování (Kraj: Praha, očkovací místo: Fakultní Thomayerova nemocnice), C) Vývoj očkování (Kraj: Pardubický, očkovací místo: MUDr. Radoslav Svoboda s.r.o. – Seč), D) Vývoj registrací (Kraj: Praha, očkovací místo: Fakultní Thomayerova nemocnice)

Původní návrh barev:

| | zelená #519d3e | oranžová #f08536 | modrá #3976af | červená #c63a32 |
|---------------|----------------|------------------|---------------|-----------------|
| bez poruchy | | | | |
| deuteranopie | | | | |
| protanopie | | | | |
| tritanopie | | | | |
| monochromazie | | | | |

Optimalizace návrhu barev:

| | zelená #009e73 | oranžová #e69f00 | modrá #000066 | purpurová #ff00ff |
|---------------|----------------|------------------|---------------|-------------------|
| bez poruchy | | | | |
| deuteranopie | | | | |
| protanopie | | | | |
| tritanopie | | | | |
| monochromazie | | | | |

Obrázek 54: Seznam původních a navržených barev použitých pro křivky v grafech na webových stránkách COVID očkování s jejich hexadecimálními hodnotami a simulacemi pro všechny typy poruchy barvocitu pomocí doplňku Daltonize

Grafy byly zpracovány také pomocí Adobe Photoshop CC 2019 a upravovány kliknutím na příkaz *Obraz > Přizpůsobení > Nahradit barvu*. Tento způsob nahrazení barev ovšem nebyl využíván. Důvodem byla malá kvalita výstřižku webové stránky. Program nedokázal nahradit barvu celé křivky (přímky) grafu, pouze z části, a nahrazení barev tedy neodpovídalo zadaným hodnotám. Web [95] uvádí, že tento nástroj maluje přes celou cílovou barvu náhradní výslednou barvou a při práci především s tmavými barvami a černou barvou pracuje neuspokojivě. Nefunguje v barevných režimech *Bitmapa*, *Indexované barvy* a *Vícekanálové*.

Kromě ukázek diskutovaných v této kapitole jsou všechny simulace webových stránek COVID očkování připojeny jako samostatná příloha, kterou lze načíst pomocí QR kódu.

6.3.2 Webové stránky Univerzity Pardubice, Univerzity Karlovy v Praze a Univerzity Palackého v Olomouci

V rámci této diplomové práce byly hodnoceny také webové stránky Univerzity Pardubice, Univerzity Karlovy v Praze a Univerzity Palackého v Olomouci. Stránky byly simulovány pomocí doplňků do prohlížeče Google Chrome s názvem Daltonize a do prohlížeče Mozilla Firefox s názvem Let's get color blind. Na analyzovaných stránkách byl sice barevný posun, ale všechny zůstávají čitelné.

Problém v rozlišitelnosti barev by mohl nastat u log jednotlivých fakult Univerzity Pardubice. Čtenáři, kteří mají barevnou poruchu deuteranopii a protanopii, by mohli mít s rozlišováním největší problém. Na obr. 55 jsou znázorněny loga jednotlivých fakult a na obr. 56 jejich simulace pro jednotlivé poruchy barvocitu.



Obrázek 55: Loga Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult



Obrázek 56: Loga Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult se simulacemi všech poruch barevného vidění simulovaných v doplňku do prohlížeče Google Chrome s názvem Daltonize A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie

6.3.3 Mapy areálu Ski centra Říčky v Orlických horách

Mapy areálu Ski centra Říčky v Orlických horách [96, 97] byly nejdříve kontrolovány s ohledem na poruchy barevného vidění pomocí simulátorů poruch barevného vidění, stejně jako webové stránky COVID očkování. Pomocí simulátorů byly zjištěny problémy s barevnými kombinacemi na obou mapách. Problémy také spočívaly ve zvolených tloušťkách tratí a velikostích ikon na mapách. Na mapách je také zvolena velmi složitá textura pozadí (např. pozadí lesů) a není jasné, co je na mapě důležité; tratě tímto způsobem na mapě zanikají.

Optimalizace barev map areálu Ski centra Říčky v Orlických horách byla prováděna v programu Adobe Illustrator CS6. Simulace barev byla prováděna přímo v programu pomocí možnosti Kontrolního náhledu barev na obrazovce pro protanopii nebo deuteranopii. Dále byl

použit simulátor Color Oracle z důvodu možnosti simulace všech typů defektu barevného vidění, protože se doporučuje pro kontrolu návrhu barev map, viz kapitola 4.1.1.3 Color Oracle.

Optimalizovány byly mapy pro letní a zimní sezónu.

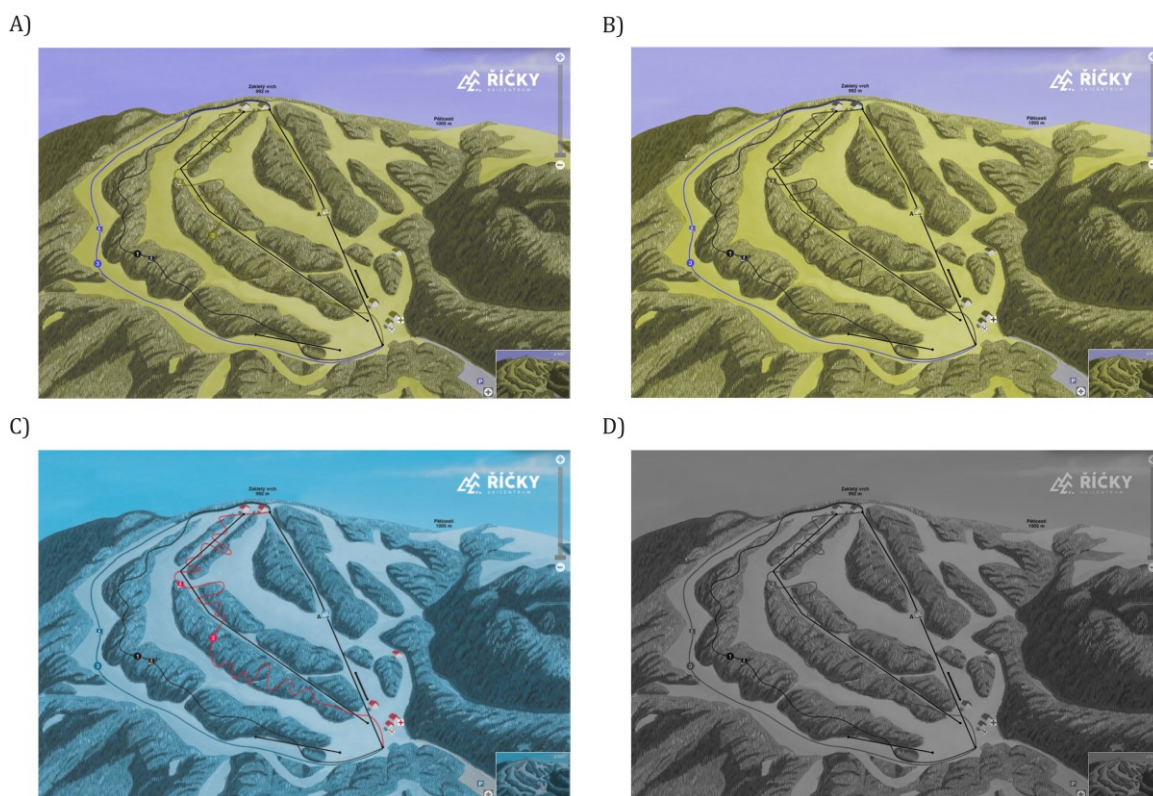
V původní verzi mapy pro letní sezónu jsou použity následující barvy:

- Pozadí: zelená a modrá.
- Tratě sjezdovek, lanovek, vleků a bike parků: modrá, černá a červená.
- Ikony: různě barevně kombinované.

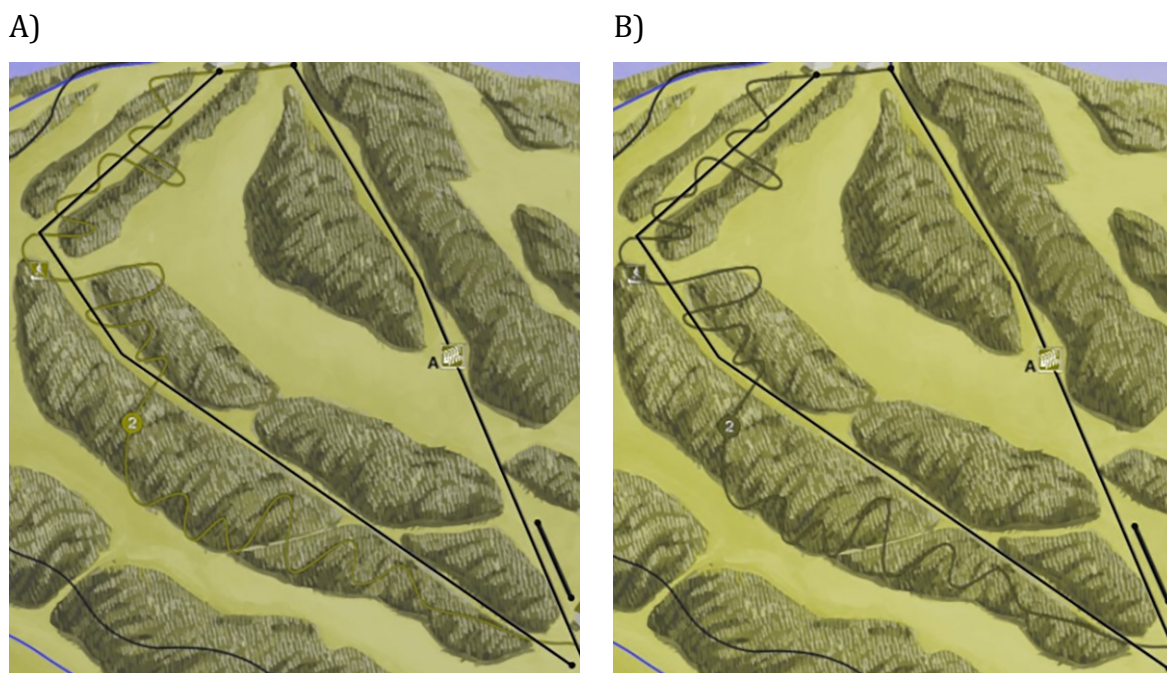
V této mapě pro letní sezónu je problémová především červeno-černá a červeno-zelená kombinace. Tyto barevné kombinace není vhodné používat, jelikož barevná kombinace může snadno zaniknout, především pro lidi s protanopií a deuteranopií. V některých případech je totiž červená barva problémová, protože může vypadat podobně jako tmavě zelená nebo téměř jako černá (především pro pozorovatele s protanopií). V této mapě červená trať bike parku při simulaci deuteranopie a protanopie téměř mizí. Je to proto, že červený objekt na zeleném pozadí je pro člověka s poruchou barvocitu či barvoslepostí většinou špatně čitelný. Kombinace červené a černé tratě v tomto případě lze rozlišit, protože červená trať při simulaci vypadá jako tmavě zelená. Na obr. 57 lze vidět původní návrh mapy a obr. 58 zobrazuje simulace této mapy pro všechny poruchy barevného vidění. Simulace byly provedeny pomocí simulátoru Color Oracle. Obrázek 59 znázorňuje ztrátu červeno-zelené kombinace při simulaci poruchy deuteranopie a protanopie; barevná kombinace pozadí lesa a tratě se téměř ztrácí.



Obrázek 57: Mapa areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, bez simulace [96]



Obrázek 58: Mapa areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie



Obrázek 59: Část mapy areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu z obr. 58 se simulací A) deuteranopie a B) protanopie pomocí simulátoru Color Oracle, kde se ztrácí červeno-zelená barevná informace

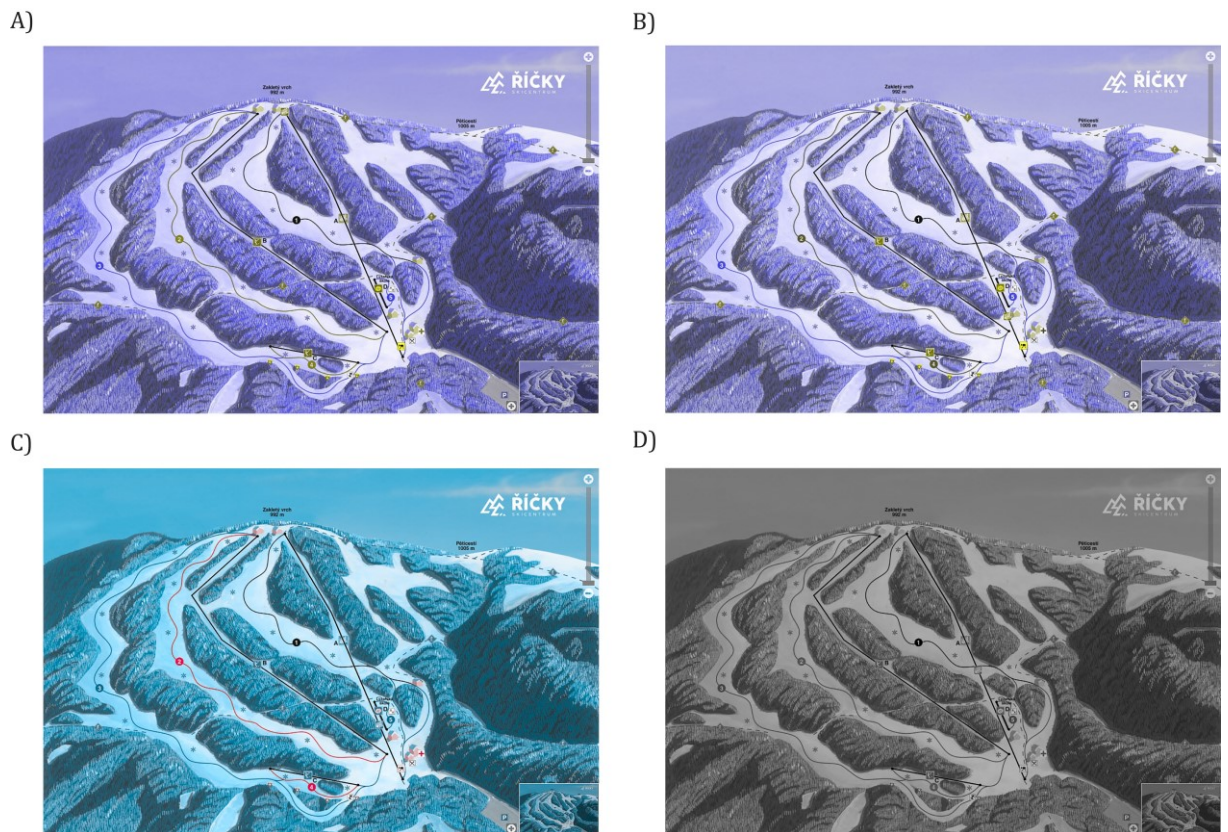
V původní verzi mapy pro zimní sezónu jsou použity následující barvy:

- Pozadí: modrá, bílá.
- Tratě sjezdovek, lanovek a vleků: modrá, černá, červená a zelená.
- Ikony: různě barevně kombinované.

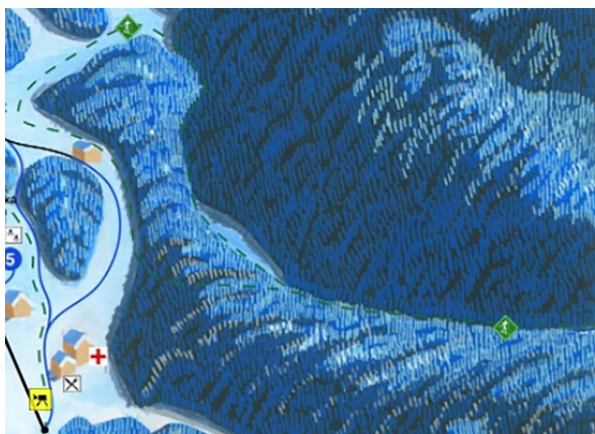
Tato mapa pro zimní sezónu je méně problematická než mapa předchozí. Důvodem jsou použité barvy. Modrá barva spolu s kombinacemi ostatních barev je lépe čitelná a rozlišitelná než červeno-zelená kombinace v předchozí mapě. Nenachází se zde také žádná modro-žlutá kombinace, která by mohla dělat problém lidem trpícím tritanopií. Dalším důvodem je to, že tratě jsou vyznačeny na téměř bílém pozadí, takže je v grafice mnohem větší kontrast a tratě lépe vyniknou. Nejhůře je rozlišitelná trať navržená pomocí zelené přerušované čáry. Tato zelená trať v některých místech zaniká i při zobrazení bez simulace, tj. pro čtenáře s normálním barevným viděním. Na obr. 60 lze vidět původní návrh mapy a obr. 61 zobrazuje simulace této mapy pro všechny poruchy barvocitu. Obrázek 62 znázorňuje ztrátu přerušované zelené tratě na modrém pozadí.



Obrázek 60: Mapa areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro zimní sezónu, bez simulace [97]



Obrázek 61: Mapa areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro zimní sezónu, se simulací všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie



Obrázek 62: Část mapy areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro zimní sezónu z obr. 60 bez simulace, kde se ztrácí přerušovaná zelená trať i pro pozorovatele s normálním barevným viděním














Problémem na obou mapách je také velmi malá tloušťka linek vyznačujících tratě sjezdovek, lanovek, vleků a bike parků. V některých barevných kombinacích se linky tratí téměř ztrácí a v některých případech jsou dokonce špatně rozlišitelné i pro čtenáře, kteří nemají žádnou poruchu barvocitu.

6.3.3.1 Optimalizace map areálu Ski centra Říčky v Orlických horách

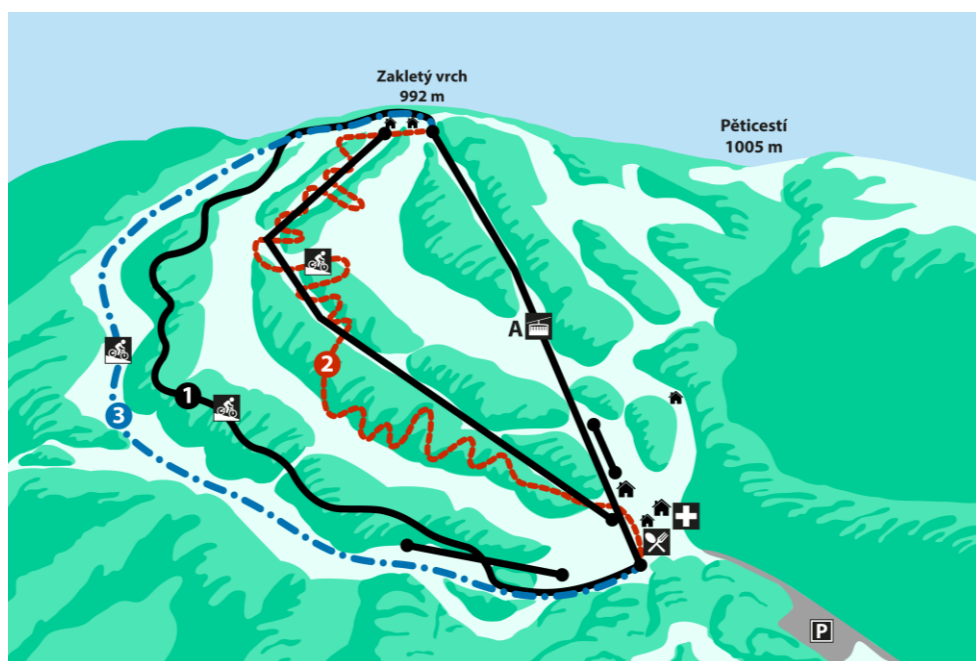
Optimalizovány byly mapy pro letní a zimní sezónu. Obě mapy byly zjednodušeny a překresleny do vektorové grafiky v programu Adobe Illustrator CS6. Na mapách byly také překresleny ikony, které byly poupraveny, zvětšeny a zvoleny jinak barevně z důvodu, aby se v mapách dalo lépe orientovat a byly jednoznačnější. Sjezdovky, lanovky, vleků a bike parky areálu byly upraveny změnou tloušťky a konce tahu. Byly také nastaveny různé typy čar pro snadnější rozlišení. Byl také zvýšen kontrast, jelikož v původní verzi letní mapy byl pro monochromazii nízký.

V optimalizované verzi obou map byly použity stejné základní barvy jako v původní verzi. Grafika pozadí mapy byla zjednodušena, aby na mapě nebylo tolik grafických prvků (např. složitá textura) a vynikly především vyznačené tratě. Návrh grafiky byl upraven změnou jasu a odstínu barev. Základní barvy byly zachovány, protože na názvy barev tratí jsou návštěvníci s normálním barevným viděním zvyklí. Dále byla upravena tloušťka linek u tratí sjezdovek, lanovek, vleků a bike parků. Byly navrženy také různé typy čar jako přerušované, tečkované a čerchované. Snadnější byla optimalizace barev pro zimní sezónu z důvodu většího kontrastu mezi pozadím a tratí v původní verzi.

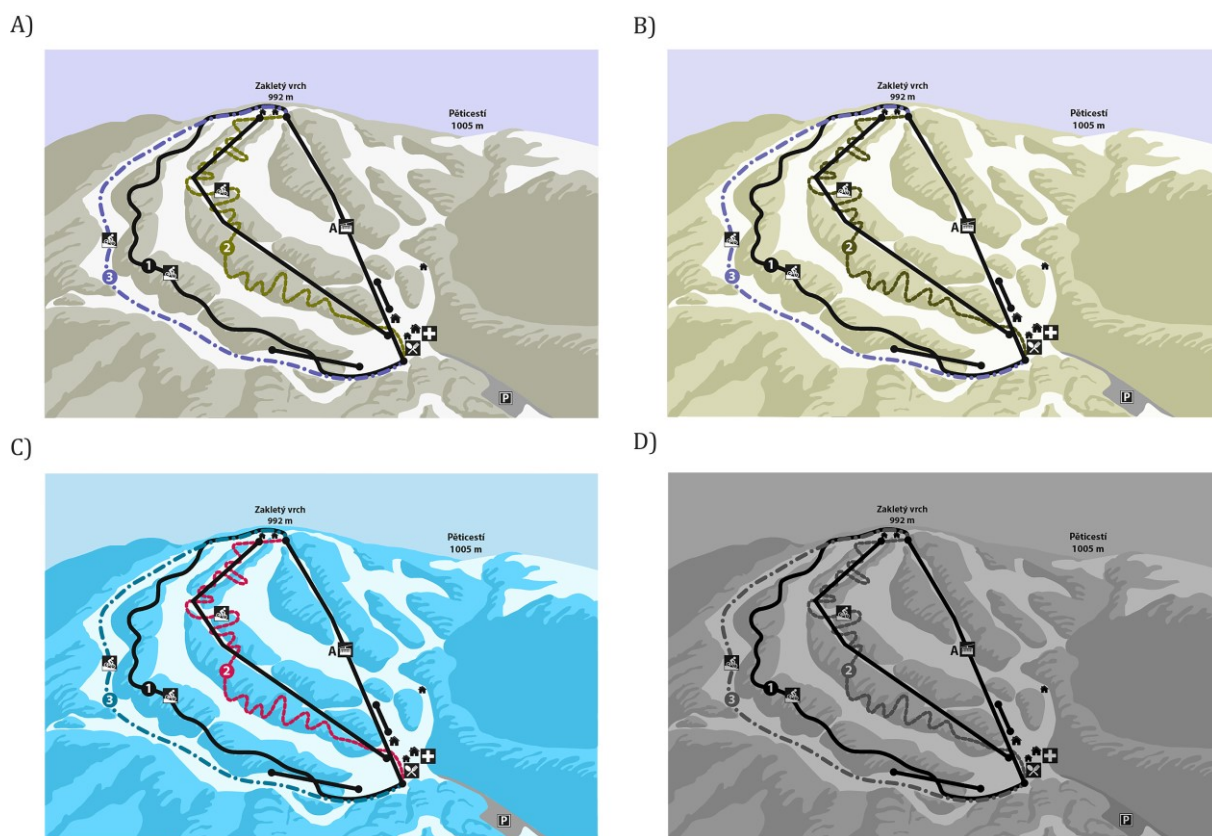
U optimalizovaného návrhu barev mapy pro letní sezónu byla změněna čistě červená barva tratě za oranžovočervenou. Dále byla zelená barva pozadí nahrazena za modrozelenou barvu. Důvodem bylo, že lidé s protanopií a deuteranopií rozpoznají tyto barvy snadněji. Použité barvy s jejich hexadecimálními hodnotami jsou na obr. 63. Ikony byly navrženy v černo-bílé kombinaci. V barevné kombinaci byly navrženy jen čísla tratí. Optimalizovaná verze mapy je na obr. 64 a její simulace pro jednotlivé poruchy barevného vidění na obr. 65.

| Pozadí | Tratě | Ikony | Písmo |
|--|---|--|---|
|  #00cb95 |  #000000 |  #000000 |  #1d1d1b |
|  #4be4b4 |  #0071b1 |  #0071b1 | |
|  #e5fff7 |  #cb2800 |  #cb2800 | |
|  #a0a0a0 | |  #1d1d1b | |
|  #bae0f6 | | | |

Obrázek 63: Seznam použitých barev s jejich hexadecimálními hodnotami pro optimalizovanou verzi mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu

















Obrázek 64: Optimalizovaná verze mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, bez simulace



Obrázek 65: Optimalizovaná verze mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie

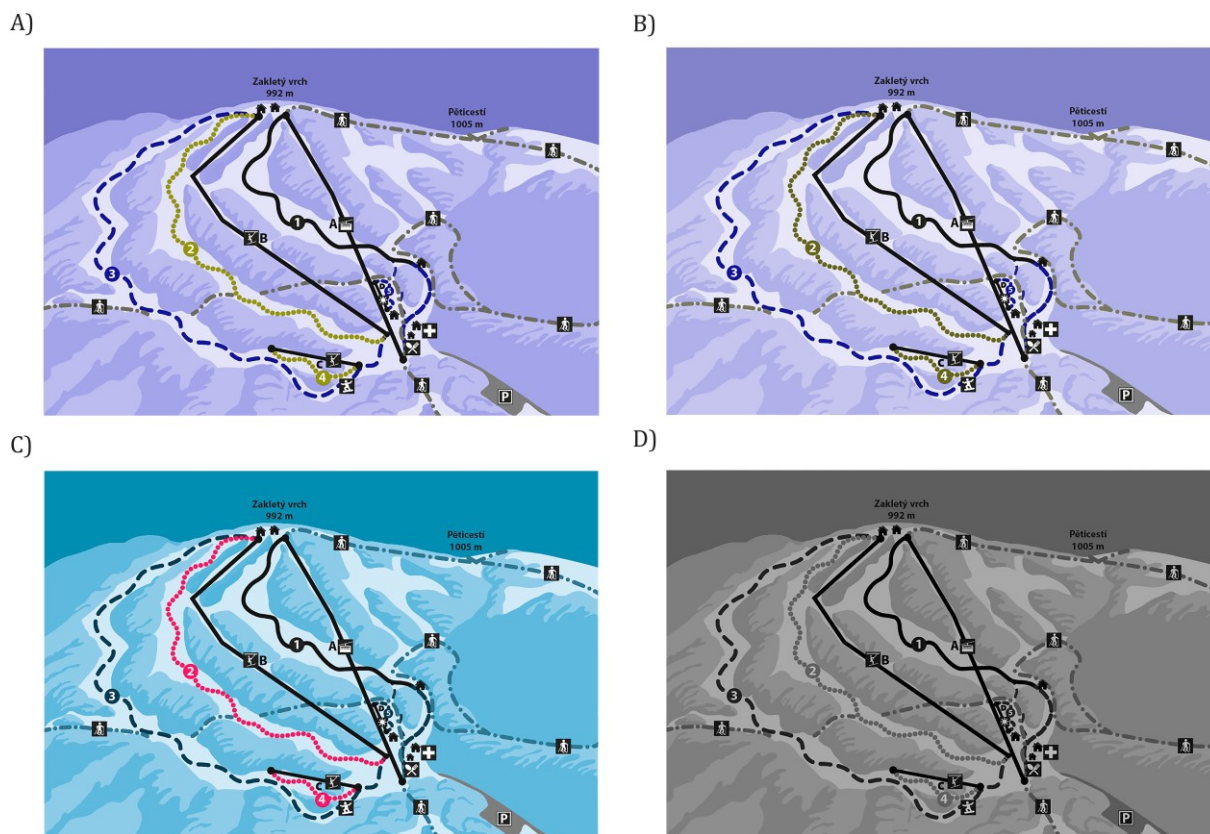
U optimalizovaného návrhu barev mapy pro zimní sezónu je použito více odstínů modré barvy, a to jak pro pozadí, tak pro tratě. Bylo nutné, aby mezi jednotlivými modrými barvami byl dostatečný kontrast, a tedy byly dostatečně odlišné v odstínu a jasu. Použité barvy s jejich hexadecimálními hodnotami jsou na obr. 66. Ikony, stejně jako u optimalizované verze pro letní sezónu, byly navrženy v černo-bílé kombinaci a v barevné kombinaci byly navrženy jen čísla tratí. Optimalizovaná verze mapy je na obr. 67 a simulace všech poruch barevného vidění na obr. 68.

| Pozadí | Tratě | Ikony | Písmo |
|---|---|--|---|
|  #60b7e9 |  #000000 |  #000000 |  #1d1d1b |
|  #8dcbef |  #000098 |  #000098 | |
|  #d1eaf9 |  #ff3200 |  #ff3200 | |
|  #7e7e7e |  #007f5d |  #1d1d1b | |
|  #1989ca | | | |

Obrázek 66: Seznam použitých barev s jejich hexadecimálními hodnotami pro optimalizovanou verzi mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu



Obrázek 67: Optimalizovaná verze mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro zimní sezónu, bez simulace



Obrázek 68: Optimalizovaná verze mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro zimní sezónu, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie

6.3.4 Orientační plán: Univerzita Pardubice – kampus Polabiny

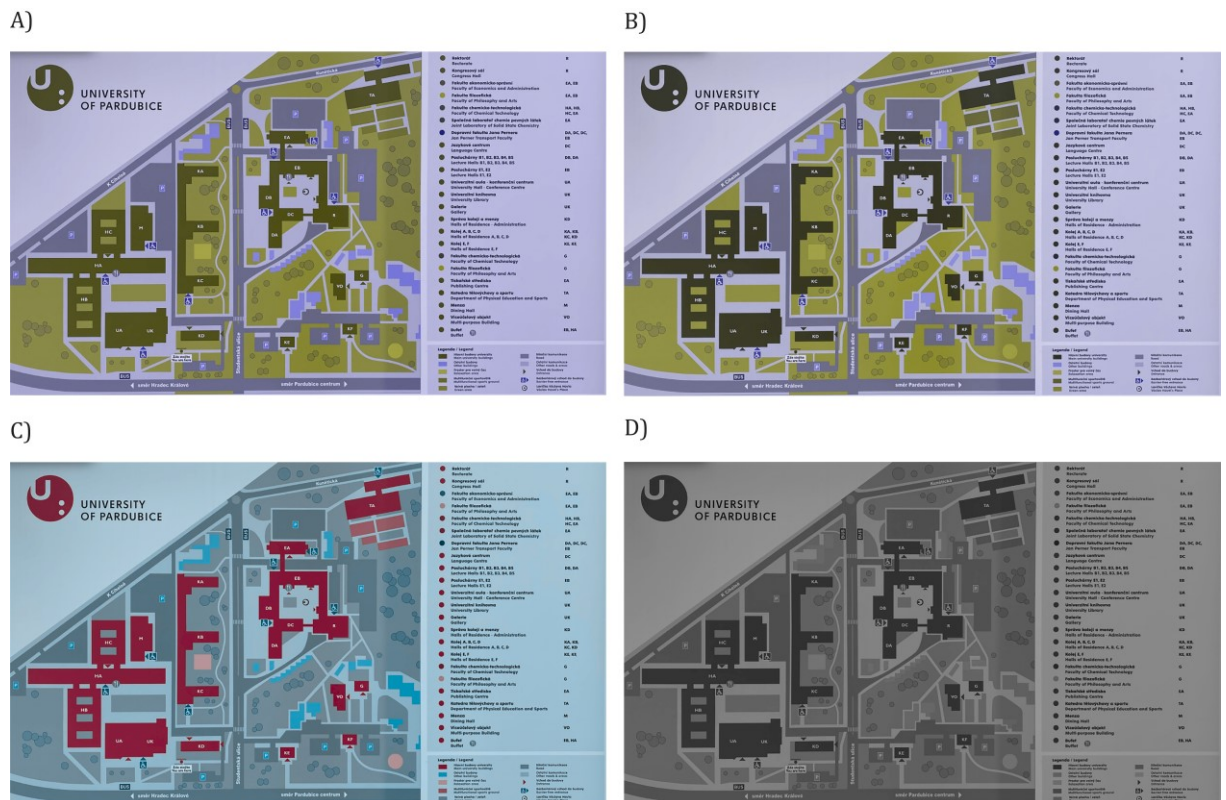
Informační tabule s názvem Orientační plán: Univerzita Pardubice – kampus Polabiny, který se nachází u Univerzitní knihovny, byla rovněž nejdříve kontrolována s ohledem na poruchy barevného vidění pomocí simulátorů poruch barevného vidění. Kontrolován byl pomocí simulátorů – Kontrolního náhledu barev v programu Adobe Photoshop a dále pomocí simulátoru Color Oracle. Tyto simulátory nezjistily žádné problémy s barevnými kombinacemi, ani žádné jiné problematické prvky, které by ovlivňovali čitelnost orientačního plánu. Nicméně z důvodu červeno-zelené kombinace byl vybrán pro hodnocení pozorovateli, kteří mají poruchu barevného vidění.

I přesto, že je na tomto plánu použita červeno-zelená kombinace, tak je čitelnost dobrá. Simulátory neukázaly, že by na plánu zanikaly prvky některé z barev. Mezi červenou a zelenou barvou je dostatečný kontrast, takže jsou barvy od sebe odlišitelné. Celkově jsou na mapě navrženy kombinace barev, které mají dostatečný kontrast, a jsou rozlišitelné v jasu a odstínu. Proto vždy nelze tvrdit, že červeno-zelená barevná kombinace je při poruše barevného vidění

nečitelná, především pro čtenáře trpící protanopií a deuteranopií. Popisky mapy jsou uvedeny přímo v mapě, což usnadňuje orientaci a předchází nejasnostem. Z tohoto důvodu nebyla navržena žádná optimalizace barev. Ukázka orientačního plánu bez simulace poruch je na obr. 69 a ukázka se simulacemi poruch barevného vidění na obr. 70.



Obrázek 69: Pohled na Orientační plán: Univerzita Pardubice – kampus Polabiny u Univerzitní knihovny, bez simulace



Obrázek 70: Orientační plán: Univerzita Pardubice – kampus Polabiny, se simulacemi všech poruch barevného vidění v simulátoru Color Oracle A) deuteranopie, B) protanopie, C) tritanopie, D) monochromazie

6.4 Výsledky, vyhodnocení a diskuze

Na základě získaného skóre při testování barvocitu pomocí Farnsworth–Munsellova 100 hue testu byl zvolen výběr skupiny pozorovatelů, jejichž Total Error Score (TES) bylo větší než 100. TES větší než 100 znamená, že má pozorovatel poruchu barvocitu. Jako kontrolní vzorek byli zvoleni pozorovatelé, kteří měli dobré výsledky TES, tudíž mají dobrý barvocit.

Na základě přípravy grafických dat pomocí univerzálního designu respondenti posuzovali grafiku, přičemž v ukázkách byla zahrnuta původní i optimalizovaná verze. Byla posuzována rychlost orientace na webových stránkách či mapách. Podklady k testování respondentů lze načíst jako samostatná příloha pomocí QR kódu.

6.4.1 Test barvocitu pomocí Farnsworth–Munsellova 100 hue testu

Celkově se testu barvocitu v rámci této diplomové práce zúčastnilo 35 osob (19 mužů, 16 žen). Věkové rozmezí pozorovatelů bylo 20–63 let. Průměrná doba testu byla 11 minut (nejkratší 5 minut, nejdelší 16 minut). TES bylo v rozmezí 0–176.

Nejčastější hodnota TES při hodnocení výsledků byla 4. Informace o testovaných osobách a výsledky testů jsou uvedeny v příloze A a B.

Ze získaných dat Farnsworth-Munsellova 100 hue testu, zadaných do hlavní stránky softwaru, byli pozorovatelé rozřazeni na základě hodnoty TES do tří tříd – Superior Color Discrimination (TES = 0–16), Average Color Discrimination (TES = 16–100) a Low Color Discrimination (TES = 100 a výše). Čím více chyb pozorovatel udělal a čím byly zásadnější, tím bylo skóre vyšší (např. pozorovatel s jednou malou chybou měl skóre 4). Třída Superior Color Discrimination vyznačuje pozorovatele s vynikajícím skóre a tedy vynikajícím barevným viděním bez poruchy; podle [98] se vyskytuje v populaci okolo 16 %. Třída Average Color Discrimination vyznačuje pozorovatele s průměrnými výsledky; podle [98] se vyskytuje v populaci okolo 68 %. Třída Low Color Discrimination je pro tuto práci zásadní, vyznačuje pozorovatele s podprůměrnými výsledky, a tedy poruchou barvocitu; podle [98] se vyskytuje u 16 % populace. V této práci se výsledky většiny respondentů řadily do skupiny Superior Color Discrimination, ve které se vyskytovalo 22 osob (11 mužů a 11 žen ve věkovém rozmezí 20–63 let), což lze předpokládat, jelikož testované osoby byly především z Katedry polygrafie a fotofyziky, Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice.

Celkově nejvíce problematická byla modro-zelená oblast, což lze vidět v příloze B. Tato oblast dělala problém i respondentům, kteří spadali do skupiny Superior Color Discrimination a měli velmi nízké skóre.

Třída Low Color Discrimination byla zjištěna u 3 osob, a to mužského pohlaví ve věkovém rozmezí 24–26 let. Tito pozorovatelé byli důležití pro další experimentální část. Je nutno podotknout, že ani jeden pozorovatel z třídy Low Color Discrimination neměl brýle ani jinou poruchu očí, kromě poruchy barvocitu či barvosleposti. Informace a získané výsledky pozorovatelů s poruchou barevného vidění jsou shrnuty v tab. 4. Na obr. 71 a 72 jsou znázorněny referenční výsledky pro jednotlivé poruchy barvocitu, které byly uvedeny v programu Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring.

Na obr. 73 lze vidět získané hodnoty respondentů z hlavní stránky View/Arrange; čím větší číslo je uvedeno nad barevným terčikem, tím je barevná oblast pro respondenta problematictější. Podle obr. 74 lze vidět, že v pravé části kruhu u respondenta A nejsou chyby tolik výrazné, ale i přes to lze tvrdit, že tento respondent trpí barevnou poruchou zvanou deuteranopie. Dále lze podle obrázku usoudit, že respondenti B i C trpí barevnou poruchou zvanou protanopie. U respondenta B je to zvýrazněno i zhoršeným rozeznáváním červené.

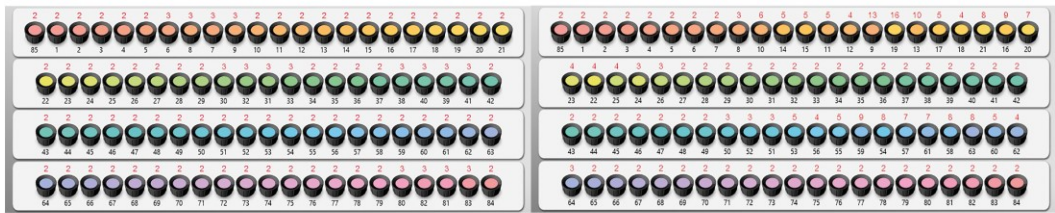
Respondent D nebyl testován pomocí Farnsworth-Munsellova 100 hue testu v této práci, jelikož byl testován už v minulosti a věděl, že trpí barevnou poruchou zvanou deuteranopie.

Tabulka 4: Informace o respondentech spadajících do třídy Low Color Discrimination a jejich výsledky

| Testovaná osoba | Pohlaví | Věk | Brýle | Čas [min] | Total Error Score (TES) |
|-----------------|---------|-----|-------|-----------|-------------------------|
| A | muž | 26 | ne | 12 | 136 |
| B | muž | 25 | ne | 16 | 176 |
| C | muž | 24 | ne | 14 | 112 |

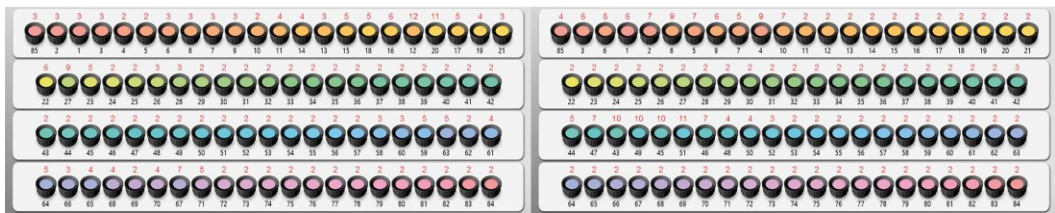
A)

B)



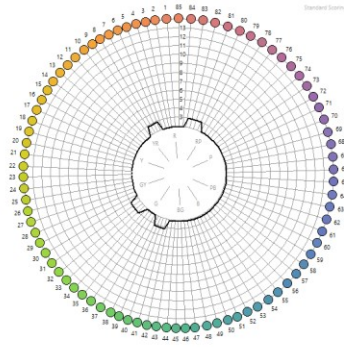
C)

D)

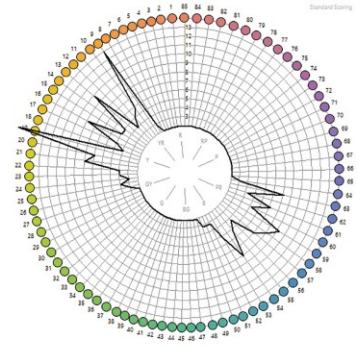


Obrázek 71: Referenční hodnoty z hlavní stránky View/Arrange softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring. Reference jsou pro testované osoby s A) normálním barevným viděním, B) poruchou deuteranopie, C) poruchou protanopie, D) poruchou tritanopie

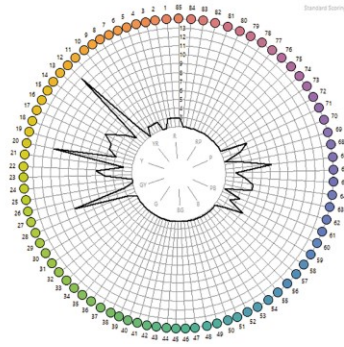
A)



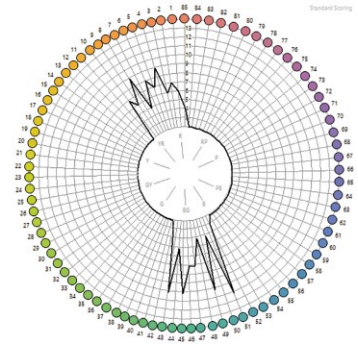
B)



C)

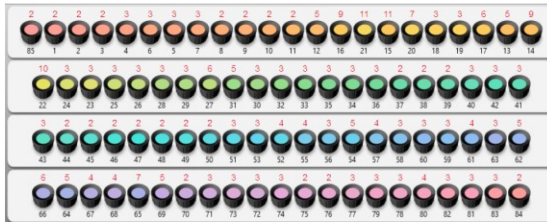


D)

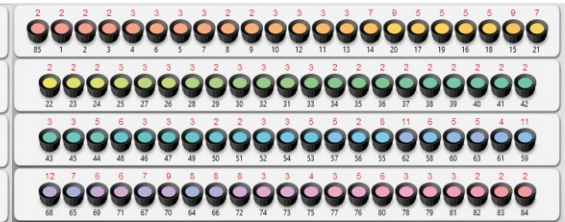


Obrázek 72: Referenční hodnoty ze stránky Analysis softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring, v polárních souřadnicích. Reference jsou pro testované osoby s A) normálním barevným viděním, B) poruchou deuteranopie, C) poruchou protanopie, D) poruchou tritanopie

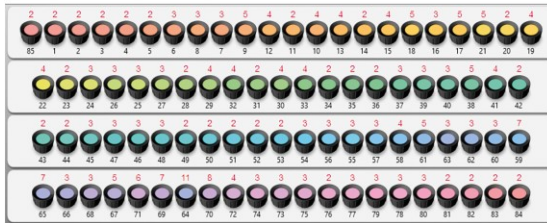
A)



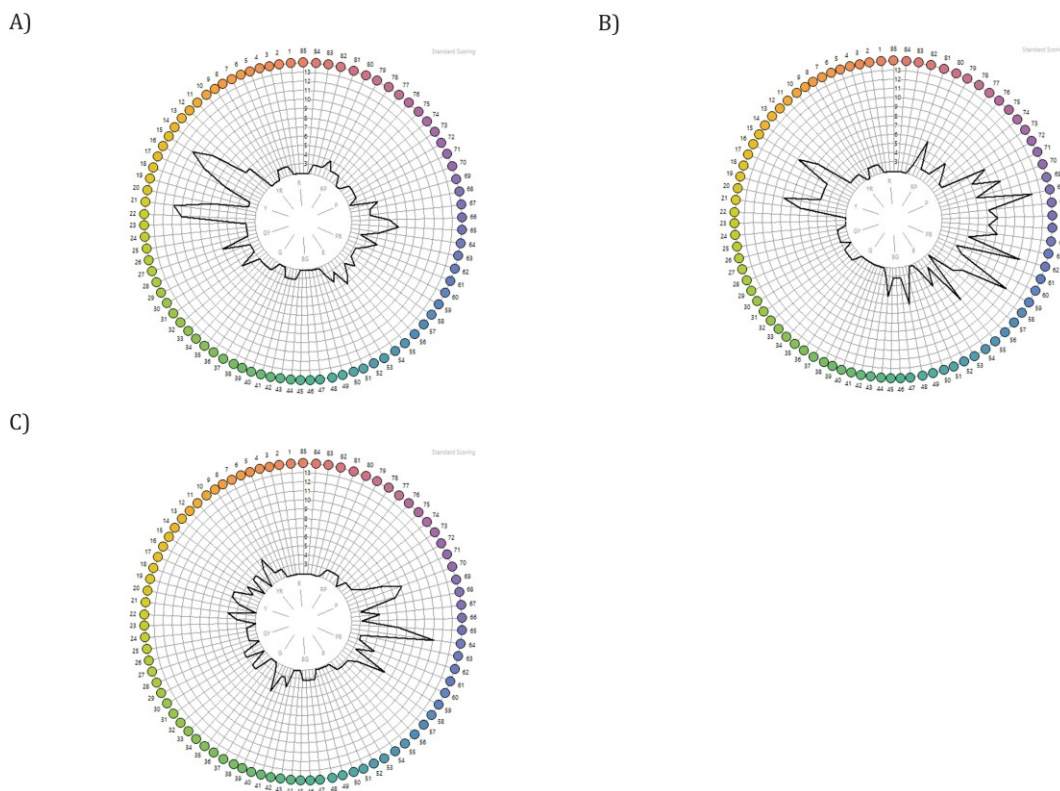
B)



C)



Obrázek 73: Získané hodnoty respondentů z hlavní stránky View/Arrange softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring. Respondenti A), B) a C) patří do kategorie Low Color Discrimination



Obrázek 74: Získané hodnoty respondentů ze stránky Analysis softwaru Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Scoring, v polárních souřadnicích. Respondenti A), B) a C) patří do kategorie Low Color Discrimination.

6.4.2 Vyhodnocení webových stránek COVID očkování

Respondentům s poruchou i bez poruchy barevného vidění byly ukázány ukázky z webové stránky COVID očkování. U stránek Stav registrací a Statistiky v původních i optimalizovaných verzích měli respondenti za úkol najít krátké čekací doby na rezervaci, dlouhé čekací doby ve frontě a středně dlouhé čekací doby na rezervaci. U tohoto úkolu bylo hodnoceno, zdali se orientují na stránkách *snadno* či *složitě*. Následně u optimalizované verze stránky Stav registrací nejdříve zvolili, jestli se jim lépe čte a orientuje ve *světlé* nebo *tmavé* verzi stránky. Podle toho, zda si respondenti zvolili světlou či tmavou verzi, hodnotili barevnost a čitelnost grafiky optimalizovaných verzí stránek Stav registrací a Statistiky oproti původním verzím. U hodnotící škály pro barevnost měli možnosti výběru *špatná / přijatelná / dobrá* a pro čitelnost grafiky optimalizace oproti původní verzi možnosti výběru *špatná / stejná / přijatelná / lepší*. U původní verze webové stránky Statistiky se navíc hodnotila ještě tloušťka písma dle hodnotící škály *špatně rozliší / dobře rozliší*. Dále byly hodnoceny uvedené grafy na těchto webových stránkách, a to konkrétně Vývoj fronty, Vývoj očkování a Vývoj registrací. Byla posouzena barevnost původní verze, podle hodnotící škály

špatná / přijatelná / dobrá a následně čitelnost grafiky optimalizované verze oproti původnímu návrhu, podle hodnotící škály *špatná / stejná / lepší*. Průběžně byly psány poznámky v případě, že respondenti měli ještě jiný komentář k posuzované grafice.

U stránky Stav registrací v původním návrhu respondenti s poruchou barevného vidění, a to konkrétně respondenti B, C a D uvedli, že se na stránce orientují *snadno*, ale orientují se spíše podle čísel než barevných kombinací. Respondent A uvedl, že se na stránce orientuje *složitě* a nerozliší červeno-zelenou kombinaci; naopak uvedl, že nejméně výraznější byla pro něj oranžová barva. V případě optimalizace u otázky, jestli upřednostňují světlou či tmavou verzi byla odpověď nerozhodně; respondenti A a B uvedli, že jim spíše vyhovuje *světlejší* verze, respondentům C a D byla příjemnější na čtení a orientaci *tmavá* verze. Po výběru světlejší či tmavší verze optimalizované verze všichni respondenti s poruchou barevného vidění uvedli, že se na stránce orientují snadněji a barevnost jim vyhovuje. Respondent A uvedl poznámku, že rozliší vše dobře, akorát by nejspíše oranžovou barvu vyměnil za zelenou, protože mu přijde výraznější. U webové stránky Statistika byl původní návrh hodnocen spíše negativně. Respondenti s poruchou barevného vidění měli problém od sebe rozlišit barevné číslice v kombinaci se zvoleným tenkým písmem. Po optimalizaci tuto stránku hodnotili v posouzení barevnosti spíše pozitivně, kromě respondenta B. Čitelnost grafiky optimalizace oproti původní verzi hodnotili spíše jako *lepší*. Dále byly hodnoceny grafy u původní a optimalizované verze. U původní verze byl nejlépe hodnocen první graf na stránce Vývoj fronty, kdy v odpovědích jako důvod respondenti uvedli, že se křivky nepřekrývají přes sebe a barevnost je díky tomu nijak neovlivňuje. Dalším kladně hodnoceným grafem byl poslední graf na stránce Vývoj registrací. Ostatní grafy byly hodnoceny spíše jako problémové. Respondent A nerozlišil druhý graf na stránce Vývoj registrací; jako důvod uvedl, že nerozliší zelenou a červenou křivku od sebe. Respondent C uvedl, že největší problém mu dělá třetí graf na stránce Vývoj očkování. Respondent D uvedl, že nejhůře rozliší grafy s oranžově-modrou kombinací. Po optimalizaci všichni respondenti uvedli, že čitelnost grafiky oproti optimalizaci je *lepší* a barevnost hodnotili také kladněji. Respondentům s poruchou barevného vidění vyhovoval lepší výběr odstínů barev. Výsledky jsou prezentovány na obr. 78 a obr. 79.

Respondentům s normálním barvocitem se u původního návrhu stránky Stav registrací orientovalo *snadno*, až na pár výjimek. Někteří uvedli, že se orientují podle barevnosti, další podle čísel. U optimalizovaného webu si zvolili spíše *světlejší* verzi. Při změně barevnosti u optimalizované verze stránky Stav registrací se někteří museli chvíli zamyslet, ale jejich orientace na stránce se nezhoršila; všichni respondenti s normálním barevným viděním se

orientovali *snadno*. Čitelnost grafiky optimalizace oproti původní verzi hodnotili všichni jako přijatelnou. U posouzení barevnosti byly zaznamenány odpovědi *přijatelná* nebo *dobrá*; pouze jeden respondent uvedl, že je pro něj špatná. Celkově tuto optimalizaci komentovali tak, že je nahrazení červené za šedou nijak neomezuje; nebo je pro ně lepší původní červená z důvodu, že ji mají lépe vžitou a je to pro ně alarmující barva, nicméně se na stránce vyznačí. Dále hodnotili původní verzi stránky Statistiky, kde posoudili barevnost jako *dobrou* nebo *přijatelnou*. Tloušťku písma všichni hodnotili, že ji rozliší dobře; pár respondentů by volilo o trochu tlustější písmo. Většinou jim dělalo problém zorientovat se v samotných datech. U optimalizované verze barevnost hodnotili jako přijatelnou nebo dobrou; dva respondenti s normálním barevným viděním uvedli, že je pro ně barevnost špatná. Čitelnost grafiky optimalizace oproti původní verzi hodnotili jako *stejnou* či *přijatelnou*; pouze jedna odpověď byla uvedena jako *špatná*. Následovalo hodnocení grafů pro původní verzi. Barevnost původní verze respondenti hodnotili jako *přijatelnou* či *dobrou*. Stejně jako u odpovědí respondentů s poruchou barvocitu hodnotili i respondenti s dobrým barvocitem první graf jako nejlepší. U dalších grafů uváděli, že jim vadí zvolené barevné kombinace nebo zvolený typ grafu. U optimalizované verze grafů hodnotili čitelnost grafiky oproti původní verzi jako *stejnou*, *přijatelnou* nebo *lepší*. Barevnost všichni tyto respondenti uvedli jako dobrou. Na obr. 78 a obr. 79 lze vidět jednotlivé odpovědi respondentů.

6.4.3 Vyhodnocení log jednotlivých fakult Univerzity Pardubice

Dále byl respondentům s poruchou barevného vidění ukázán návrh loga Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult. V této části byla hodnocena rozlišitelnost jednotlivých log na základě jejich barevnosti. Respondenti s poruchou barevného vidění měli určit, zdali jsou pro ně loga rozlišitelná, podle hodnotící škály *ano / ne*. Pokud jejich odpověď byla, že některá loga od sebe nerozliší, uvedli konkrétní loga fakult.

Při hodnocení barevnosti loga Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult uvedli všichni respondenti, kromě respondenta D, že mají problém rozlišit některá loga. Respondent A uvedl, že špatně rozliší logo fakulty chemicko-technologické od loga fakulty ekonomicko-správní. Respondent B uvedl, že nerozliší logo fakulty zdravotnických studií od fakulty elektrotechniky a informatiky. Dále špatně rozlišil fakultu filozofickou od fakulty ekonomicko-správní. Respondent C uvedl, že je pro něj také problematické logo fakulty filozofické od fakulty ekonomicko-správní a logo fakulty zdravotnických studií od fakulty elektrotechniky a informatiky.

Jelikož zde nebyla optimalizována žádná verze grafiky, tak v této části nebyli dotazováni žádní respondenti s dobrým barvocitem.

6.4.4 Vyhodnocení mapy Ski centra Říčky v Orlických horách

Respondentům s poruchou i bez poruchy barvocitu byly ukázány návrhy grafiky map Ski centra Říčky v Orlických horách. Ukázky map byly pro letní a zimní sezónu. Nejdříve byla hodnocena barevnost map pro letní sezónu v původní i optimalizované verzi. Barevnost byla respondenty hodnocena podle hodnotící škály *špatná / přijatelná / dobrá*. Dále v původním návrhu této mapy byly hodnoceny tloušťky linek tratí a velikost objektů na mapě podle hodnotící škály *špatně rozliší / dobře rozliší*. Dále respondenti měli uvést, jaký prvek na mapě jim dělá největší problém (např. trať, která jim nejvíce splývá s pozadím a je nejméně čitelná). Následně byly hodnoceny optimalizované verze mapy rovněž v barevnosti, tloušťce linek tratí a velikost objektů na mapě. Dále také jestli je čitelnost navržené grafiky *špatná / stejná / přijatelná / lepší*. Pokud bylo uvedeno, že čitelnost grafiky optimalizace oproti původní verzi je horší, tak byl uveden konkrétní problémový prvek. Následně byly hodnoceny ukázky map původní a optimalizované verze pro zimní sezónu, kterou respondenti hodnotili podle stejných otázek, které zodpovídali u ukázek map pro letní sezónu.

Barevnost původní verze mapy pro letní sezónu hodnotili respondenti s poruchou barevného vidění *přijatelně* nebo *špatně*. Tloušťky linek tratí hodnotili všichni respondenti, kromě respondenta D, jako *špatně rozlišitelné*. Respondenti B i C uvedli, že velikost objektů *dobře rozliší* a respondenti A, D naopak *špatně rozliší*. Nejhůře byla hodnocena červená trať, která respondentům s poruchou barevného vidění splývala s pozadím. Dále byla hodnocena jako nejhůře rozlišitelná černá trať. Po optimalizaci hodnotili všichni respondenti s defektem barvocitu barevnost jako *dobrou* a velikost objektů *dobře rozlišitelnou*. Čitelnost grafiky optimalizace oproti původní verzi hodnotili všichni jako *lepší*. Všem vyhovovala zvolená barevnost a větší tloušťka tratí spolu s většími objekty. Dále při hodnocení zimní mapy a jejího původního návrhu téměř všichni respondenti s poruchou barvocitu hodnotili barevnost a velikost objektů jako *špatnou*; pouze respondent D uvedl, že je pro něj barevnost *přijatelná*. Nejhůře barevně rozeznatelná trať byla hodnocena přerušovaná zelená, která byla na mapě pro tyto respondenty celkově *špatně rozlišitelná* a v některých částech mapy si tratě všimli až po upozornění, že se v těchto místech nachází. Další nejhůře barevně rozlišitelná byla hodnocena modrá trať. Opět respondenti uvedli, že by pro ně byla vhodnější větší velikost objektů a tloušťka tratí. Respondent A uvedl, že barevnost rozliší na základě toho, že jsou u tratí

uvedeny ikonky s čísly. Po optimalizaci mapy opět všichni uvedli, že barevnost je *dobrá*, velikost ikoněk *dobře rozlišitelná* a čitelnost grafiky optimalizace oproti původní verzi je *lepší*. Výsledky odpovědí lze nalézt na obr. 78 a obr. 79.

Barevnost původní verze mapy pro letní sezónu hodnotili respondenti s dobrým barvocitem jako *přijatelnou* či *dobrou*. Tloušťka linek tratí byla těmito respondenty hodnocena ve větší míře jako *dobře rozlišitelná*. Velikost objektů byla respondenty s dobrým barvocitem hodnocena napůl jako *špatně* a *dobře rozlišitelná*. Nejhůře barevně byla těmito respondenty hodnocena červená a černá trať. Někteří respondenti uvedli, že tloušťku linek tratí rozeznají, ale o trochu by tloušťku zvětšili; to samé u velikosti objektů. Některým respondentům také vadili jiné tloušťky tratí. Následně byla hodnocena optimalizovaná verze mapy pro letní sezónu. Tuto optimalizovanou mapu hodnotili všichni respondenti kladně. Barevnost hodnotili téměř všichni respondenti jako *dobrou*; pouze jedna odpověď byla uvedena jako *přijatelná*. Odpověď na velikost objektů byla zaznamenána u všech jako *dobře rozlišitelná*. Celkově čitelnost grafiky optimalizace oproti původní verzi uvedli téměř všichni respondenti jako *lepší*; pouze jedna odpověď byla uvedena jako *přijatelná*. Barevnost původní verze mapy pro zimní sezónu hodnotili respondenti s dobrým barvocitem spíše jako *přijatelnou*; pro dva respondenty byla barevnost *špatná*. Většina respondentů s dobrým barvocitem uvedli velikost objektů jako *špatně rozlišitelnou*. Jako nejhůře barevně rozeznatelné tratě byly hodnoceny modrá a přerušovaně zelená trať. Zelené přerušované tratě v pravé části mapy, si dokonce i všichni respondenti s dobrým barvocitem všimli, až když na ni byli upozorněni. Někteří respondenti také uvedli, že se na mapě klade větší důraz ikon budov než tratím. Dále byla optimalizovaná verze mapy pro zimní sezónu hodnocena také velice kladně. Barevnost hodnotili téměř všichni respondenti jako *dobrou*; pouze jeden respondent jako *přijatelnou*. Velikost objektů po optimalizaci všichni respondenti uvedli, že *rozliší dobře*. Čitelnost grafiky optimalizace oproti původní verzi hodnotili všichni respondenti jako *lepší* a uvedli, že rozeznají prvky, které předtím vůbec neviděli nebo špatně rozeznali. Výsledky odpovědí jsou prezentovány na obr. 78 a obr. 79.

6.4.5 Vyhodnocení orientačního plánu: Univerzity Pardubice – kampus Polabiny

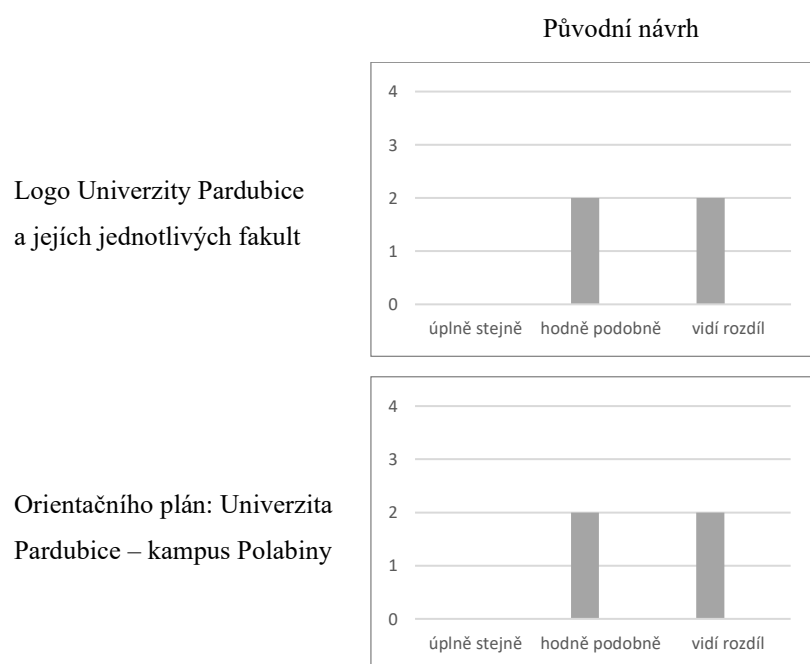
Dále byla hodnocena informační cedule s orientačním plánem Univerzity Pardubice, konkrétně kampusu v Polabinách, která se nachází u Univerzitní knihovny Pardubice. Tuto informační ceduli hodnotili pouze respondenti s poruchou barevného vidění, jelikož nebyla optimalizována a grafické prvky na mapě (barevnost, tloušťka linek a ikonky) byly hodnoceny

na mapě Ski centrum Říčky v Orlických horách. Tento návrh grafiky byl vybrán z důvodu červeno-zelené barevné kombinace, která patří mezi nejvíce problematické. Návrh byl hodnocen i přes to, že pomocí simulátorů nebyla vyhodnocena problematická čitelnost barev a grafických prvků. Respondenti s defektem barevného vidění hodnotili barevnost orientačního plánu podle hodnotící škály *špatná / přijatelná / dobrá*.

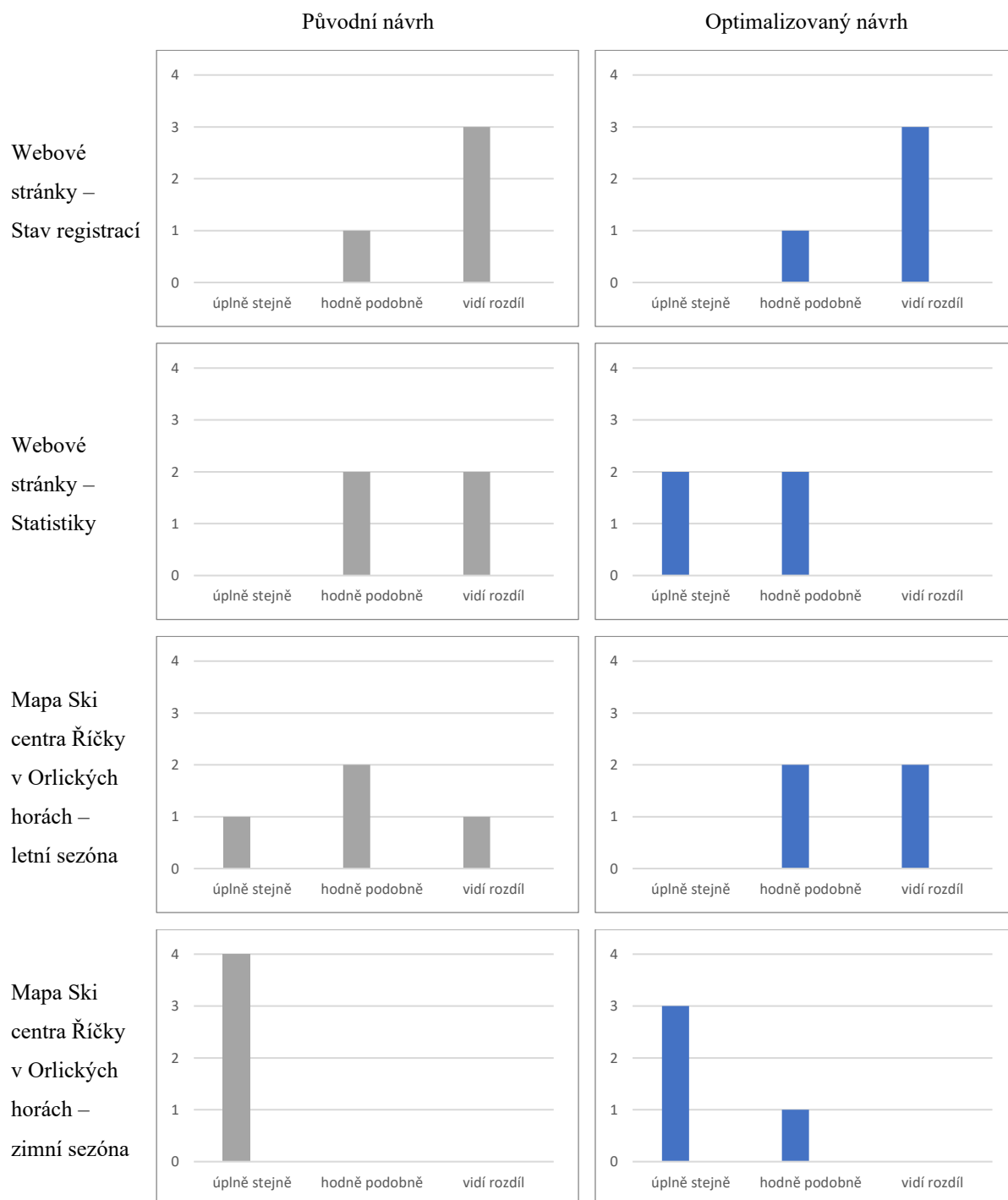
Barevnost vyhodnotili všichni respondenti jako *dobrou*. Z toho lze usoudit, že tato červeno-zelená kombinace není problematická.

6.4.6 Vyhodnocení simulace používaných simulátorů

Na základě výsledků z Farnsworth–Munsellova 100 hue testu byl respondentům s nízkou rozlišovací schopností (třída Low Color Discrimination) přiřazen typ poruchy barvocitu a dle toho byl vybrán určitý typ simulace grafiky pomocí zvoleného simulátoru. Při porovnání simulací hodnotili grafická data původního a optimalizovaného návrhu, zdali grafiku bez simulátoru a se simulátorem vnímají *úplně stejně / hodně podobně / vidí rozdíl*. Pokud uvedli, že simulaci vnímají *hodně podobně* či *vidí rozdíl*, tak upřesnili, v čem konkrétní rozdíl spočívá (např. simulaci obrázku oproti obrázku bez simulace vidí *tmavší / světlejší*); konkrétní odpovědi jsou uvedeny v tab. 5. Pokud vnímali daný rozdíl v něčem jiném, uvedli konkrétní odpověď'. Celkové výsledky vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace jsou prezentovány na obr. 75 a obr 76.



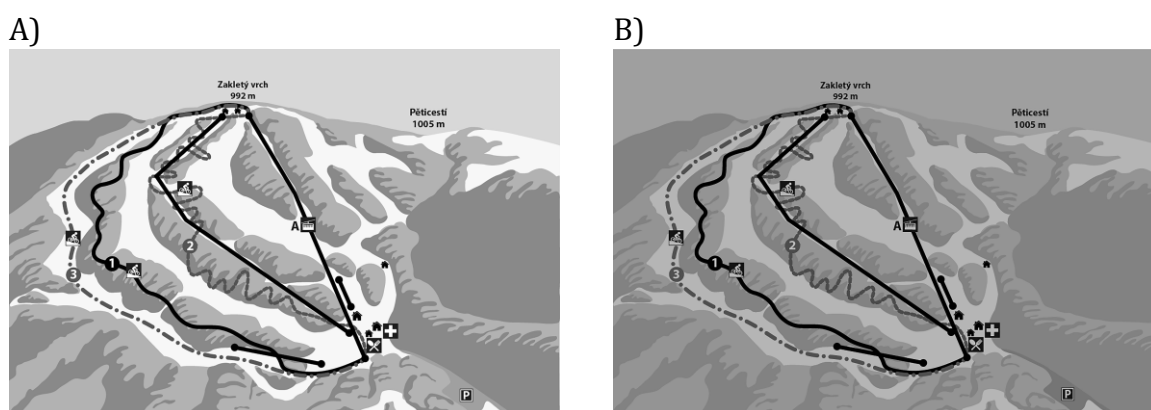
Obrázek 75: Hodnocení vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace respondenty s poruchou barevného vidění. Na ose y je počet respondentů, kteří zvolili danou odpověď a na ose x je vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace



Obrázek 76: Hodnocení vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace respondenty s poruchou barevného vidění. Na ose y je počet respondentů, kteří zvolili danou odpověď a na ose x je vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace.

Na základě práce s jednotlivými simulátory lze konstatovat, že fungují spolehlivě při přípravě grafických dat pomocí univerzálního designu. Při porovnání simulací defektů barevného vidění ze simulátoru Color Oracle, doplňku do prohlížeče Google Chrome s názvem Daltonize, nebo kontrolního náhledu barev v programech Adobe Illustrator CS6 a Adobe

Photoshop CC 2019 je sice možné, že v některých případech může dojít k menšímu barevnému posunu při zobrazení simulací; z vyhodnocených výsledků lze konstatovat, že tento barevný posun ovšem nijak neovlivňuje přípravu grafických dat. Například na obr. 56 zobrazující logo Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult a obr. 58 zobrazující mapu areálu Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, obojí se simulací barevné poruchy monochromazie, lze vidět, že simulátor Color Oracle aplikuje filtr přes celou stránku. U simulace barevné poruchy monochromazie dochází k příliš velkému ztmavnutí obrázku a při nedostatečném jasu monitoru během přípravy grafických dat tento filtr může způsobit problémy. Využitím kontrolního náhledu a simulace černobílého vidění v programech Adobe Photoshop a Adobe Illustrator k tomuto problému nedochází. Porovnání rozdílu simulace barevné poruchy monochromazie pomocí těchto simulátorů lze vidět na obr. 77. Dále lze zpozorovat, např. na obr. 70, že simulátor Color Oracle vytvořil v levých horních rozích obrázků černé skvrny.



Obrázek 77: Porovnání optimalizované verze mapy Ski centra Říčky v Orlických horách pro letní sezónu, se simulacemi monochromazie v simulátorech A) Kontrolní náhled barev v programu Adobe Illustrator, B) Color Oracle

Tabulka 5: Přehled odpovědí respondentů s poruchou barevného vidění při uvedení odpovědi, že vidí rozdíl v simulaci obrázku oproti obrázku bez simulace

| Původní návrh webových stránek COVID očkování – Stav registrací | | | | |
|---|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Respondent A | Respondent B | Respondent C | Respondent D |
| Vnímá to | Hodně podobně | Vidí rozdíl | Vidí rozdíl | Vidí rozdíl |
| V čem vidí rozdíl | Simulace je světlejší | Jiná barevnost | Simulace je tmavší | Simulace je světlejší |
| Optimalizovaný návrh webových stránek COVID očkování – Stav registrací | | | | |
| | Respondent A | Respondent B | Respondent C | Respondent D |
| Vnímá to | Hodně podobně | Vidí rozdíl | Vidí rozdíl | Vidí rozdíl |
| V čem vidí rozdíl | Simulace je světlejší | Jinak barevně | Simulace je světlejší | Simulace je tmavší |
| Původní návrh webových stránek COVID očkování – Statistiky | | | | |
| | Respondent A | Respondent B | Respondent C | Respondent D |
| Vnímá to | Hodně podobně | Hodně podobně | Vidí rozdíl | Vidí rozdíl |
| V čem vidí rozdíl | Simulace je světlejší | Simulace je tmavší | Simulace je světlejší | Simulace je světlejší |
| Optimalizovaný návrh webových stránek COVID očkování – Statistiky | | | | |
| | Respondent A | Respondent B | Respondent C | Respondent D |
| Vnímá to | Úplně stejně | Hodně podobně | Hodně podobně | Úplně stejně |
| V čem vidí rozdíl | | Simulace je tmavší | Simulace je tmavší | |
| Loga Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult | | | | |
| | Respondent A | Respondent B | Respondent C | Respondent D |
| Vnímá to | Vidí rozdíl | Hodně podobně | Hodně podobně | Vidí rozdíl |
| V čem vidí rozdíl | Jiná barevnost | Simulace je tmavší | Simulace je světlejší | Simulace je světlejší |
| Původní návrh mapy Ski centra Říčky v Orlických horách – letní sezóna | | | | |
| | Respondent A | Respondent B | Respondent C | Respondent D |
| Vnímá to | Hodně podobně | Hodně podobně | Úplně stejně | Vidí rozdíl |
| V čem vidí rozdíl | Jiná barevnost | Simulace je tmavší | | Simulace je tmavší |
| Původní návrh mapy Ski centra Říčky v Orlických horách – zimní sezóna | | | | |
| | Respondent A | Respondent B | Respondent C | Respondent D |
| Vnímá to | Úplně stejně | Úplně stejně | Úplně stejně | Úplně stejně |
| V čem vidí rozdíl | | | | |

Tabulka 5: Přehled odpovědí respondentů s poruchou barevného vidění při uvedení odpovědi, že vidí rozdíl v simulaci obrázku oproti obrázku bez simulace – pokračování

| Optimalizovaný návrh mapy Ski centra Říčky v Orlických horách – letní sezóna | | | | |
|---|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | Respondent A | Respondent B | Respondent C | Respondent D |
| Vnímá to | Vidí rozdíl | Hodně podobně | Hodně podobně | Vidí rozdíl |
| V čem vidí rozdíl | Jiná barevnost | Simulace je tmavší | Simulace je světlejší | Jiná barevnost |
| Optimalizovaný návrh mapy Ski centra Říčky v Orlických horách – zimní sezóna | | | | |
| | Respondent A | Respondent B | Respondent C | Respondent D |
| Vnímá to | Hodně podobně | Úplně stejně | Úplně stejně | Úplně stejně |
| V čem vidí rozdíl | Simulace je světlejší | | | |

6.5 Celkové shrnutí

Shrnutím získaných poznatků bylo zjištěno, že pro respondenty s poruchou barevného vidění je přínosné, aby grafik používal při přípravě grafických dat univerzální design a simulátory poruch barevného vidění.

U optimalizace webových stránek, a to konkrétně Stav registrací, respondenti s poruchou barevného vidění konstatovali, že je pro ně změna barevných kombinací, a to především nahrazení červeno-zelené kombinace za šedo-zelenou přínosná. V tomto případě se nemusí orientovat pouze podle čísel. Respondentům s dobrým barevným viděním náhrada této kombinace barev příliš nevadila na základě toho, že by se hůře orientovali na stránce. Pouze uvedli, že červenou barvu mají spojenou jako alarmující barvu a vyhovuje jim více než šedá barva; červenou barvu zaregistrují dříve než barvu šedou. Na webové stránce Statistiky byl především problém v tloušťce písma a v celkovém zpracování dat na stránce, které všichni respondenti vnímali jako nepřehledné. Respondenti s dobrým barvocitem uváděli, že tenké písmo se zvolenou barevnou kombinací je nijak neovlivňuje. Pro respondenty tloušťka písma s barevnou kombinací představovala problém; nedokázali od sebe rozlišit barvy. Po optimalizaci a změně barev se sice orientovali lépe, ale i přesto uváděli, že by zvolili tlustší písmo. Především respondenti s poruchou barevného vidění uvítali optimalizaci u grafů. Zvolené odstíny barev jim přišli mnohem lepší a celkově čitelnost optimalizované verze oproti původní verzi zhodnotili jako lepší variantu. Respondenti s normálním barevným viděním se orientovali dobře v obou verzích.

Při vyhodnocování log Univerzity Pardubice a jejích jednotlivých fakult respondenti s poruchou barevného vidění uvedli, že jim některé zvolené barvy fakult nevyhovují a nerozliší některé fakulty od sebe. Mezi nejvíce problematické patřily fakulta ekonomicko-správní, fakulta elektrotechniky a informatiky, fakulta zdravotnických studií a fakulta filozofická.

Pokud je třeba zhodnotit optimalizovanou verzi map Ski centra Říčky v Orlických horách, a to pro letní i zimní sezónu, tak obě optimalizace byly hodnoceny velmi kladně. Respondenti s poruchou barevného vidění i respondenti bez poruchy barevného vidění zhodnotili optimalizované verze map jako povedené. Respondentům vyhovovaly zvolené barevné kombinace, tloušťky tratí i velikosti ikon. Tato optimalizace je podobná jako u návrhu jízdnic rádu tokijského metra, který je zmíněn v kapitole 5.1.6 Informační tabule v teoretické části této práce. Mapy byla celkově upraveny, aby byly lépe čitelné pro oba typy pozorovatelů. Do optimalizace by mohla být ještě zahrnuta verze s jednotlivými popisky tratí a ikon uvedených přímo v mapě.

Dále bylo zjištěno, že orientační plán, i přesto, že je navržen v červeno-zelené barevné kombinaci, tak je pro respondenty s poruchou barevného vidění čitelný. Návrh má dostatečný kontrast mezi barvami a popisky jsou zobrazeny přímo na mapě.

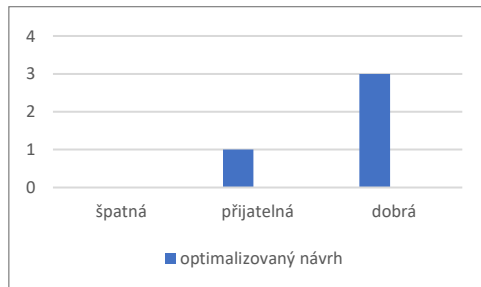
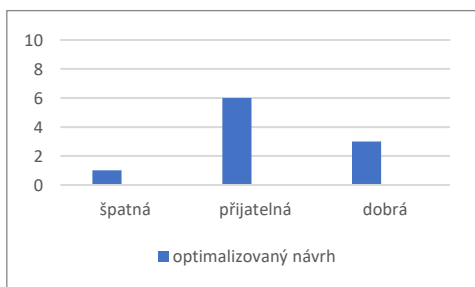
Používání simulátorů barevných poruch při navrhování grafických dat lze vyhodnotit jako efektivní. Respondenti s poruchou barevného vidění vnímali rozdíly mezi obrázky se simulacemi a bez simulací spíše v kontrastu než v barevnosti.

Barevnost

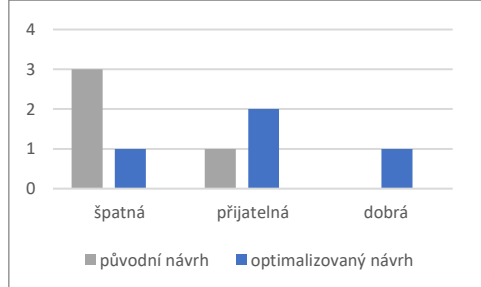
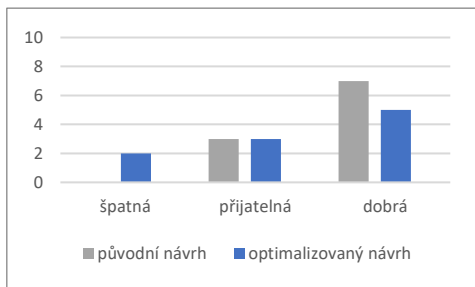
Bez poruchy barevného vidění

S poruchou barevného vidění

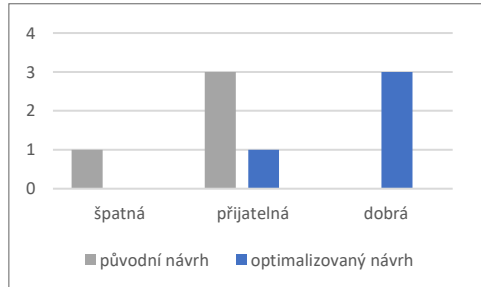
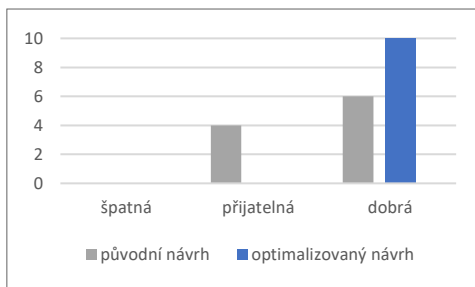
Webové stránky
– Stav registrací



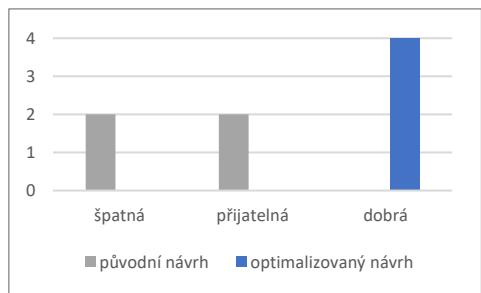
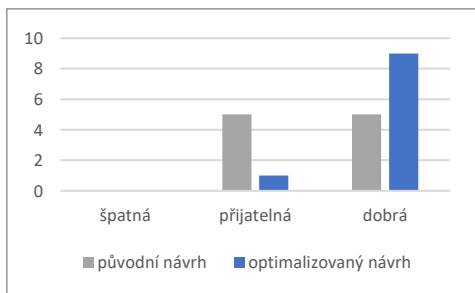
Webové stránky
– Statistiky



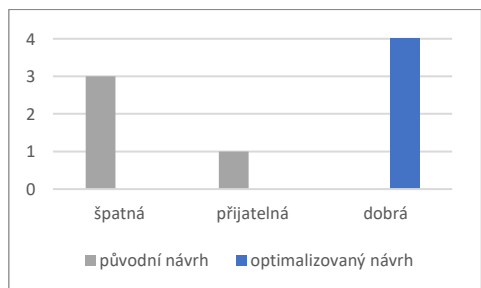
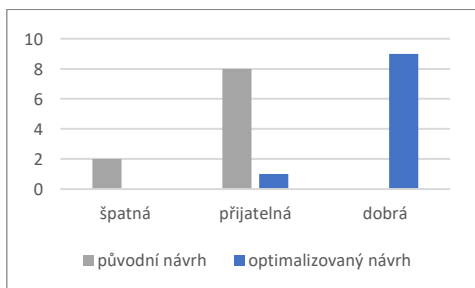
Webové stránky
– Grafy



Mapa Ski centra
Říčky
v Orlických
horách – letní
sezóna



Mapa Ski centra
Říčky
v Orlických
horách – zimní
sezóna



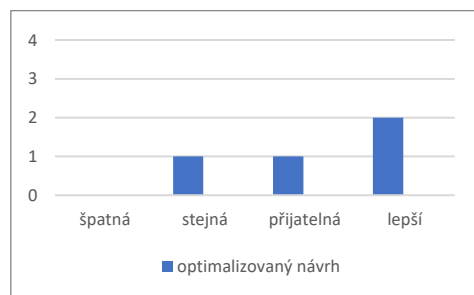
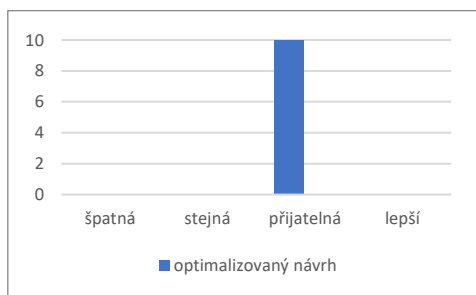
Obrázek 78: Hodnocení barevnosti původní a optimalizované verze respondenty s poruchou barevného vidění a respondenty bez poruchy barevného vidění. Na ose y je počet respondentů, kteří zvolili danou odpověď a na ose x je vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace

Čitelnost

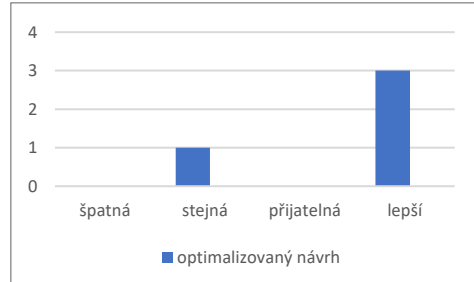
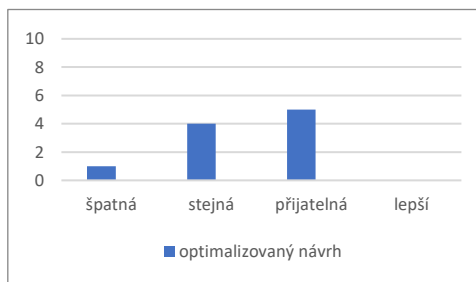
Bez poruchy barevného vidění

S poruchou barevného vidění

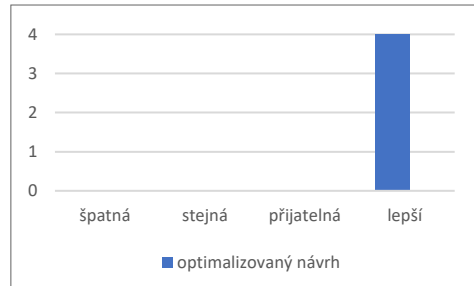
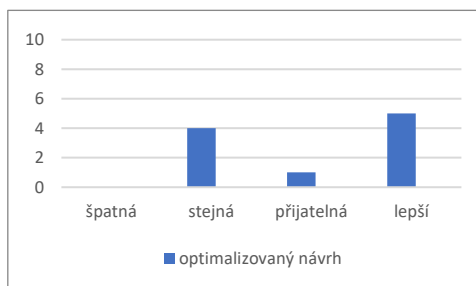
Webové stránky
– Stav registrací



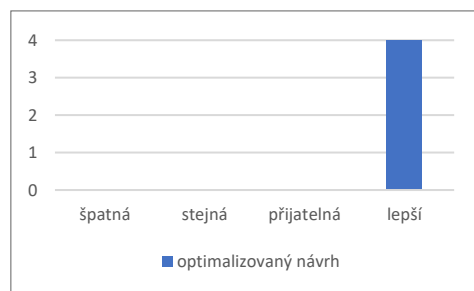
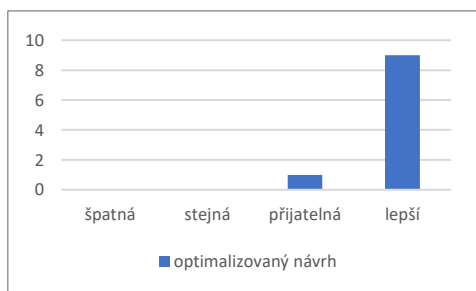
Webové stránky
– Statistiky



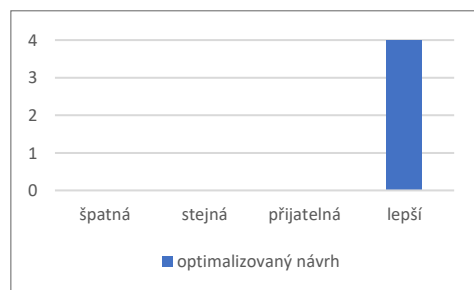
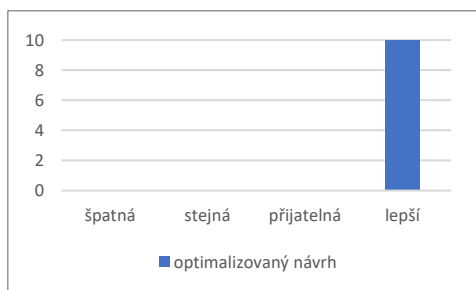
Webové stránky
– Grafy



Mapa Ski centra
Říčky v
Orlických
horách – letní
sezóna



Mapa Ski centra
Říčky v
Orlických
horách – zimní
sezóna



Obrázek 79: Hodnocení čitelnosti optimalizované verze oproti původní verzi respondenty s poruchou barevného vidění a respondenty bez poruchy barevného vidění. Na ose y je počet respondentů, kteří zvolili danou odpověď a na ose x je vnímání obrázku se simulací oproti obrázku bez simulace

7 Závěr

Cílem této práce bylo optimalizovat grafická data, která jsou vhodná pro pozorovatele s poruchou barvocitu, ale zároveň jsou stále vhodná i pro pozorovatele, kteří mají normální barevné vidění. Na základě získaných poznatků byla analyzována a optimalizována grafická data, která jsou nejvíce problematická, tj. webové stránky, obrázky, grafy, mapy a informační cedule.

Bylo zjištěno, že při přípravě grafických dat záleží na zvolené barevné kombinaci, tloušťce prvků, použití různých symbolů, různých typů čar, a zobrazení štítků v grafických návrzích. U barev záleží na kontrastu, jasu a odstínu barev. Dále je důležité používat při přípravě grafických dat také různé simulátory (softwarové, webové nástroje na simulaci barev, atd.), aby návrhář zjistil, jak člověk trpící určitou poruchou barevného vidění vnímá konkrétní barvy a jestli je čitelnost grafiky dostačující. Při vypuštění barevné informace by grafika měla být stále čitelná a rozlišitelná. Je nutné vybrat barvy a prvky tak, aby jejich informace v černobílé verzi nezanikly.

V rámci experimentu bylo zjištěno a mezi hlavní závěry v této práci patří, že je důležité používat výše zmíněné postupy při navrhování grafických dat, jelikož se tato porucha nedá vyléčit a mezi pozorovateli se vždy najde někdo s touto poruchou. Pokud se výše zmíněné postupy dodrží, tak jsou navržená grafická data vhodná pro pozorovatele s poruchou barevného vidění, ale také pro pozorovatele bez poruchy barevného vidění. Nezáleží jenom na zvolených barevných kombinacích, ale také na typografii, tloušťkách prvků a písem atd. Bylo také ukázáno, že červeno-zelená barevná kombinace nemusí nutně znamenat problém pro pozorovatele s poruchou barevného vidění. Při správně zvoleném barevném kontrastu, použití různých prvků a popisků přímo v grafice není zvolená barevná kombinace problematická. U pozorovatelů s normálním barvocitem pak záleží na zvyklostech používání barevných kombinací, a to především u červeno-zelené kombinace; zelená je vnímána jako pozitivní barva, naopak červená jako alarmující a při nahrazení červené barvy např. za šedou nemusí být účel grafiky očividný na první pohled.

Bylo zde také ukázáno, jak fungují používané simulátory a jak moc spolehlivě převádí barvy grafických dat.

Nevýhodou této práce může být malý počet respondentů trpící poruchou barevného vidění. Z tohoto důvodu nelze stanovit žádné univerzálně platné závěry, které platí pro všechny.

8 Použitá literatura

- [1] Derefeldt G., Swartling T., Berggrund U., Bodrogi P. Cognitive color. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*. 2004, 29(1), 7-19.
DOI: <https://doi.org/10.1002/col.10209>.
- [2] Fairchild MD. Color appearance models. 3rd Edition, John Wiley & Sons. 2013.
DOI:10.1002/9781118653128.
- [3] Kaplanová M. a kol. Moderní polygrafie, 3. vyd. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2012. ISBN 978-80-254-4230-2.
- [4] Andersová M. Pozámkové aberace lidského oka. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. 2010, Brno.
- [5] Webvision: Introduction by Helga Kolb [online]. Helga Kolb [cit. 2021-01-16].
Dostupné z: <https://webvision.med.utah.edu/book/part-i-foundations/introduction/>.
- [6] Autrata R., Vančurová J. Nauka o zraku. 1. vyd., 2002, Brno, 226 s. Učebnice pro LF. ISBN 80-7013-362-7.
- [7] Nagyová E. Komparace korekce refrakčních vad brýlovou a kontaktní čočkou z hlediska brýlové a geometrické optiky. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. 2014, Brno.
- [8] WEBVISION: GROSS ANATOMY OF THE EYE BY HELGA KOLB [online]. Helga Kolb [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://webvision.med.utah.edu/book/part-i-foundations/gross-anatomy-of-the-eye/>.
- [9] WikiSkripta: Sítnice [online]. WikiSkripta [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/S%C3%ADtnice>.
- [10] Slovník cizích slov: tapetum lucidum [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.infoz.cz/tapetum-lucidum/>.

- [11] Frane A. A Call for Considering Color Vision Deficiency When Creating Graphics for Psychology Reports. *Journal of General Psychology*. 2015, 142(3), 194-211. DOI: 10.1080/00221309.2015.1063475.
- [12] Daltonism: Daltonism [online]. Daltonism. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <http://www.daltonism.org.uk/>.
- [13] Medicína, nemoci, studium na 1. LF UK: Fovea centralis [online]. MUDr. Jiří Štefánek [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.stefajir.cz/?q=fovea-centralis>.
- [14] Hendrickson A. Organization of the Adult Primate Fovea. *Macular Degeneration*. Springer, 2005, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-26977-0_1.
- [15] Taylor J., Xu Y. Representation of Color, Form, and their Conjunction across the Human Ventral Visual Pathway. *bioRxiv*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.08.28.272815>.
- [16] Bannert M. M., Bartels A. Human V4 activity patterns predict behavioral performance in imagery of object color. *Journal of Neuroscience*. 2018, 38(15), 3657-3668. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2307-17.2018>.
- [17] Hunt D., Dulai K. S., Bowmaker, J. K., Mollon J. The chemistry of John Dalton's color blindness. *Science*. 1995, 267. 984-8. DOI: 10.1126/science.7863342.
- [18] Tanuwidjaja E., Huynh D., Koa K., Nguyen C., Shao C, Torbett P., Emmenegger C., Weibel N. Chroma: a wearable augmented-reality solution for color blindness. *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*. 2014. p. 799-810.
- [19] Cole B. L. Assessment of inherited colour vision defects in clinical practice. *Clinical and Experimental Optometry*. 2007, vol. 90 (3), pp. 157-75. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2007.00135.x>.
- [20] Divilek M. Řešení problémů barvosleposti pomocí počítače. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra informatiky. 2011, Ostrava.
- [21] Remmer MH., Rastogi N., Ranka MP., Ceisler EJ. Achromatopsia: a review. *Curr Opin Ophthalmol*. 2015, 26(5): 333-40. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000189.

- [22] Rigden Ch. 'The Eye of the Beholder'-Designing for Colour-Blind Users. *British Telecommunications Engineering*. 1999, 17: 291-295.
- [23] Keene D. R. A review of color blindness for microscopists: Guidelines and tools for accommodating and coping with color vision deficiency. *Microscopy and Microanalysis*. 2015, 21.2: 279-289. DOI: 10.1017/S1431927615000173.
- [24] Colour Blind Awareness: Colour Blindness [online]. [cit. 2020-12-25]. Dostupné z: <http://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/>.
- [25] Barrier-free presentation: Color Universal Design (CUD) - How to make figures and presentations that are friendly to Colorblind people [online]. Masataka Okabe, Kei Ito [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://jfly.uni-koeln.de/color/index.html#checker>.
- [26] Colour Blind Awareness: Causes of Colour Blindness [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/causes-of-colour-blindness/>.
- [27] Colour Blind Awareness: Treatment [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/treatment/>.
- [28] Colour Blind Awareness: Inherited Colour Vision Deficiency [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/inherited-colour-vision-deficiency/>.
- [29] Mráziková E. Porovnání metod vyšetření barvocitu. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. 2011, Brno.
- [30] Pavlíková L. Přístroje a testy pro vyšetření barvocitu, metodika, vyhodnocení vyšetření. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. 2016, Brno.
- [31] WIKIMEDIA COMMONS: File: CIE1931xy gamut comparison.svg [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIE1931xy_gamut_comparison.svg.
- [32] Colour Blind Awareness: Diagnosis [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/diagnosis/>.
- [33] Colblindor: Ishihara's Test for Colour Deficiency: 38 Plates Edition [online]. Colblindor [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: <https://www.color-blindness.com/ishiharas-test-for-colour-deficiency-38-plates-edition/>.
- [34] Birch J. Diagnosis of Defective Colour Vision. *Oxford: Butterworth-Heinemann*. 1998.

- [35] Hardy L. H., Rand G., Rittler M. C. H–R–R Polychromatic Plates. *Journal of the Optical Society of America*. 1954, Vol. 44, Issue 7, pp. 509-523.
DOI: <https://doi.org/10.1364/JOSA.44.000509>.
- [36] Bailey J., Neitz M., Tait D., Neitz J. Evaluation of an updated HRR color vision test. *Visual neuroscience*. 2004, 21(3), 431-436. DOI:10.1017/S0952523804213463.
- [37] Farnsworth D. The Farnsworth–Munsell 100–Hue Test for the examination of Color Discrimination, Manual. Munsell Color [online]. *Macbeth, Division of Kollmorgen Instruments Corp. New Windsor*. 1957, New York [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/manuals_and_userguides/f/fm100_instructions_en.pdf.
- [38] X-Rite: The X-Rite Color Challenge and Hue Test [online]. X-Rite [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://www.xrite.com/hue-test>.
- [39] Colblindor: Farnsworth-Munsell 100 Hue Color Vision Test [online]. Colblindor [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.color-blindness.com/farnsworth-munsell-100-hue-color-vision-test/>.
- [40] Adobe: Adobe Flash Player EOL General Information Page [online]. Adobe [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.adobe.com/products/flashplayer/end-of-life.html>.
- [41] Google Chrome Help: Flash Player is no longer available [online]. Google [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://support.google.com/chrome/answer/6258784>.
- [42] Colblindor: Color Blindness Tests [online]. Colblindor [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.color-blindness.com/color-blindness-tests/>.
- [43] Colblindor: Ishihara 38 Plates CVD Test [online]. Colblindor [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.color-blindness.com/ishihara-38-plates-cvd-test/>.
- [44] Google Play: Color Blind Check [online]. Google [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ch.colblindor.colorblindcheck>.
- [45] Color Blind Check: COLOR BLIND CHECK – A NEW KIND OF COLOR VISION DEFICIENCY TEST [online]. ThemeIsle [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://colorblindcheck.com/>.

- [46] EIZO: UniColor Pro – About Unicolor Pro [online]. EIZO INC [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: https://www.eizo.com/products/coloredge/unicolor_pro/.
- [47] Color Universal Design Organization (CUDO), EIZO NANA O CORPORATION. Color Universal Design Handbook [online]. 2006, 1 st Edition [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: https://www.eizoglobal.com/products/coloredge/unicolor_pro/handbook.pdf.
- [48] Landini G., Perryer D. More on color blindness. *Nature Methods* 8, 2011, 891. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmeth.1737>.
- [49] Jenny B., Kelso N. V. Mapping: Methods & Tips: Color Design for the Color Vision Impaired. *Cartographic Perspectives*, 2007, (58), 61-67. DOI: <https://doi.org/10.14714/CP58.270>.
- [50] Vischeck: About Vischeck [online]. [cit. 2020-12-25]. Dostupné z: <http://www.vischeck.com/vischeck/>.
- [51] Vischeck: Information & Links [online]. [cit. 2020-12-25]. Dostupné z: <http://www.vischeck.com/info/>.
- [52] Ruminski J., Wtorek J., Ruminska J., Kaczmarek M., Bujnowski A., Kocejko T., Polinski A. Color transformation methods for dichromats. *3rd International Conference on Human System Interaction, Rzeszow*. 2010, pp. 634-64. DOI: 10.1109/HSI.2010.5514503.
- [53] Vischeck: Try Vischeck on Your Image Files [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <http://www.vischeck.com/vischeck/vischeckImage.php>.
- [54] Vischeck: Try Vischeck on a Webpage [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <http://www.vischeck.com/vischeck/vischeckURL.php>.
- [55] Vischeck: VischeckJ - Run Vischeck Anywhere [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.vischeck.com/downloads/vischeckJ.php>.
- [56] Spalding J. A. B. Colour blind artists: do the Vischeck transformations work?. *Clinical and Experimental Optometry*. 2010, 93.3: 188-188. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2010.00477.x>.
- [57] Cole B, Harris R. Colour blindness does not preclude fame as an artist: celebrated Australian artist Clifton Pugh was a protanope. *Clin Exp Optom*. 2009; 92: 421–428.
- [58] Ruminski J, Bajorek M., Ruminska J., Wtorek J., Bujnowski A. Computerized color processing for dichromats. *Human–Computer Systems Interaction: Backgrounds and Applications 2*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 453-470.

- [59] Adobe: Adobe Photoshop Accessibility [online]. Adobe [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <https://www.adobe.com/accessibility/products/photoshop.html>.
- [60] Adobe: Kontrolní náhled barev [online]. Adobe [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://helpx.adobe.com/cz/photoshop/using/proofing-colors.html>.
- [61] Color Oracle: Design for the Color Impaired [online]. Jenny B. [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <https://colororacle.org/index.html>.
- [62] Color Oracle – Usage: Design for the Color Impaired [online]. Jenny B. [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://colororacle.org/usage.html>.
- [63] Fiji [online]. HTML5 UP [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://imagej.net/software/fiji/>.
- [64] Internetový obchod chrome: Daltonize [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://chrome.google.com/webstore/detail/daltonize/obcnmdgpkjakeffkcejnonpdlainhphpg>.
- [65] Firefox Browser ADD-ONS: Let's get color blind [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://addons.mozilla.org/cs/firefox/addon/let-s-get-color-blind/>.
- [66] Vaadin: Chrometric [online]. Vaadin Ltd [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <https://vaadin.com/directory/component/chrometric>.
- [67] Kalmeijer M. F. M.: The Theory of Universal Design: Color Vision Deficiency. Thesis (M.F.A.). Savannah College of Art and Design, Department of Graphic Design. 2013.
- [68] Light A., Bartlein P.J. The end of the rainbow? Color schemes for improved data graphics [online]. *EOS*, 2004, Vol. 85, No. 40, 5, pp. 385 a 391. Dostupné z: <http://geog.uoregon.edu/datagraphics/EOS/index.htm>.
- [69] Kerkmann F., Lewandowski D. Accessibility of web search engines: Towards a deeper understanding of barriers for people with disabilities. *Library Review*. 2012, Vol. 61 No. 8/9, pp. 608-621. DOI: <https://doi.org/10.1108/00242531211292105>.
- [70] Wong B. Points of view: Color blindness. *Nature methods*. 2011, 8.6: 441-442. DOI: 10.1038/nmeth.1618.
- [71] Vischeck: Color blind image correction [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupný z: <http://www.vischeck.com/daltonize/>.
- [72] Šujanová A. Problematika barevnosti map z hlediska uživatelských skupin. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav. 2017, Brno.

- [73] Brilliant Maps: 7 Tube Maps Only The Colour Blind Will Truly Appreciate [online]. [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: <https://brilliantmaps.com/colour-blind-tube-map/>.
- [74] Ichihara Y. G., Okabe M., Iga K., Tanaka Y., Musha K., Ito, K. Color universal design: the selection of four easily distinguishable colors for all color vision types. *Color Imaging XIII: Processing, Hardcopy, and Applications. International Society for Optics and Photonics*, 2008, p. 680700. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.765420>.
- [75] W3C: Introduction to Web Accessibility [online]. Shawn Lawton Henry [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-intro/cs>.
- [76] Larsson D. Tearing down the walls hindering colorblind developers. Bachelor Degree Project. Linnaeus University, Faculty of Technology, Department of computer science and media technology (CM). 2019.
- [77] COMPUTERWORLD: India to overtake U.S. on number of developers by 2017 [online]. Patrick Thibodeau [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://www.computerworld.com/article/2483690/india-to-overtake-u-s--on-number-of-developers-by-2017.html>.
- [78] Oppenheim C., Selby, K. Access to information on the World Wide Web for blind and visually impaired people. *Aslib Proceedings*. 1999, Vol. 51 No. 10, pp. 335-345. DOI: <https://doi.org/10.1108/EUM0000000006993>.
- [79] Ruth-Janneck D. An integrative accessibility engineering approach using multidimensional classifications of barriers in the web. *Proceedings of the International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility*. 2011, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 10, 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1145/1969289.1969303>.
- [80] Berger A., Caspers T., Croll J., Hofmann J., Kubicek H., Peter U., Ruth-Janneck D., Trump T. Web 2.0/barrierefrei. Eine Studie zur Nutzung von Web 2.0 Anwendungen durch Menschen mit Behinderung [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: www.digitale-chancen.de/transfer/downloads/MD967.pdf.
- [81] Comeaux D., Schmetzke, A. Web accessibility trends in university libraries and library schools. *Library Hi Tech*. 2007, Vol. 25 No. 4, pp. 457-77.

- [82] Schmetzke A., Comeaux D. Accessibility trends among academic library and library schoolswebsites in the USA and Canada. *Journal of Access Services*. 2009. Vol. 6 Nos 1/2, pp. 137-52.
- [83] Conway V. Website accessibility in western Australian public libraries. *The Australian Library Journal*. 2011, Vol. 6 No. 2, pp. 103-12.
- [84] W3C: Evaluating Web Accessibility Overview [online]. Shawn Lawton Henry [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://www.w3.org/WAI/test-evaluate/>.
- [85] W3C: Involving Users in Evaluating Web Accessibility [online]. Shawn Lawton Henry [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://www.w3.org/WAI/test-evaluate/involving-users/>.
- [86] Working with image palettes [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: http://help.corel.com/paintshop-pro/v20/main/en/documentation/index.html#page/Corel_PaintShop_Pro/Working_with_image_palettes.html.
- [87] Iaccarino G., Malandrino D., Del Percio M., Scarano V. Efficient edge-services for colorblind users. *Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web*. 2006, p. 919-920. DOI: <https://doi.org/10.1145/1135777.1135944>.
- [88] W3Schools: HTML Tutorial [online]. Refsnes Data [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://www.w3schools.com/html/>.
- [89] Bouloukakis G., Basdekis I., Stephanidis C. myWebAccess: A platform for repairing, enhancing and re-distributing Web Services accessible to people with disability. *IADIS International Conference, Interfaces and Human Computer Interaction*. 2013, DOI: 10.13140/2.1.3262.8169.
- [90] W3C: Extensible Markup Language (XML). [online]. W3C [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://www.w3.org/XML/>.
- [91] OSRAM: LED ColorCalculator [online]. OSRAM SYLVANIA Inc [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: https://www.osram.us/cb/tools-and-resources/applications/led-colorcalculator/index.jsp?fbclid=IwAR1-7Z_DsLYj-Oz8nexANI2E6oDnYCYalN-3ahNjeu6r66-AnbGovO2Q0QI.
- [92] X-Rite, PANTONE: Farnsworth Munsell 100 Hue Test [online]. X-Rite [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://www.xrite.com/categories/visual-assessment-tools/fm-100-hue-test>.
- [93] W3Schools: HTML Color Groups [online]. Refsnes Data [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://www.w3schools.com/colors/colors_groups.asp.

- [94] COVID očkování: COVID-19 data o očkování [online]. OpenDataLab [cit. 2021-10-10]. Dostupné z: <https://ockovani.opendatalab.cz/>.
- [95] Adobe: Nahrazení barev objektů [online]. Adobe [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://helpx.adobe.com/cz/photoshop/using/replace-colors.html>.
- [96] ŘÍČKY SKICENTRUM: MAPA AREÁLU [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://skiricky.cz/mapa-arealu/>.
- [97] Ski centrum Říčky v Orlických horách [online]. [cit. 2021-09-10]. Dostupné z: <https://intmap.holidayinfo.cz/webmap.php?dc=v7tm5mpsjkvrvtv0i&mapname=ricky&bgcolor=FFFFFF>.
- [98] Munsell COLOR: What Does My Score on the Farnsworth Munsell 100 Hue Test Mean? [online]. X-Rite [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://munsell.com/faqs/what-does-score-farnsworth-munsell-100-hue-test-mean/>.

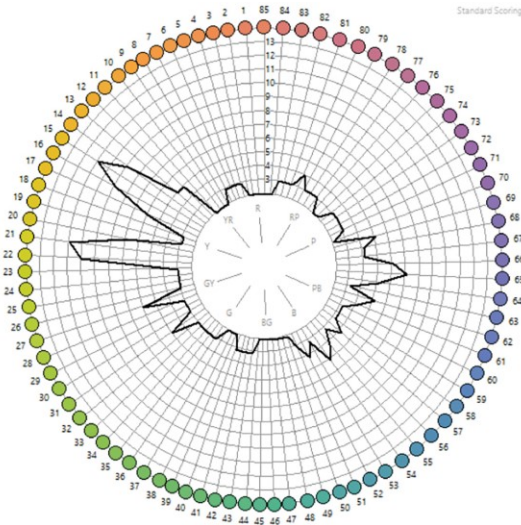
Přílohy

Příloha A: Informace a výsledky testovaných osob pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu

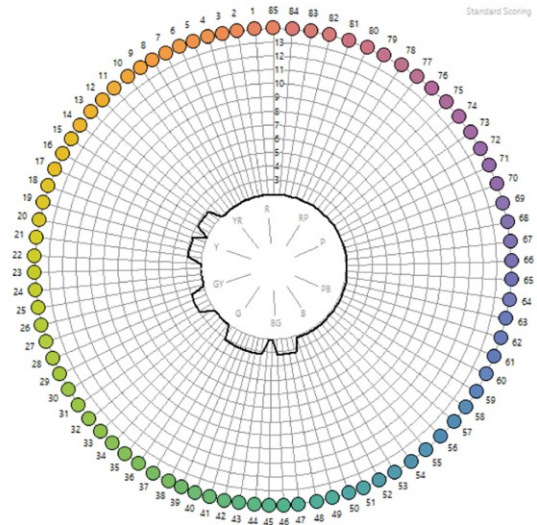
| Testovaná osoba | Pohlaví | Věk | Brýle | Čas [min] | Total Error Score (TES) |
|-----------------|---------|-----|-------|-----------|-------------------------|
| 1 | muž | 26 | ne | 12 | 136 |
| 2 | muž | 23 | ano | 13 | 24 |
| 3 | žena | 21 | ne | 14 | 4 |
| 4 | muž | 22 | ne | 8 | 4 |
| 5 | žena | 21 | ne | 9 | 0 |
| 6 | žena | 24 | ne | 7 | 24 |
| 7 | žena | 22 | ne | 9 | 8 |
| 8 | muž | 25 | ne | 16 | 8 |
| 9 | muž | 25 | ne | 16 | 176 |
| 10 | muž | 24 | ne | 14 | 112 |
| 11 | žena | 24 | ne | 13 | 4 |
| 12 | žena | 24 | ne | 9 | 4 |
| 13 | muž | 44 | ne | 12 | 8 |
| 14 | muž | 50 | ne | 11 | 4 |
| 15 | žena | 57 | ano | 12 | 36 |
| 16 | muž | 21 | ne | 11 | 44 |
| 17 | žena | 54 | ne | 12 | 36 |
| 18 | žena | 47 | ne | 10 | 56 |
| 19 | muž | 63 | ne | 10 | 12 |
| 20 | muž | 45 | ano | 9 | 8 |
| 21 | žena | 49 | ne | 8 | 12 |
| 22 | muž | 45 | ne | 12 | 4 |
| 23 | žena | 22 | ne | 9 | 8 |
| 24 | muž | 35 | ne | 7 | 60 |
| 25 | žena | 21 | ne | 13 | 8 |
| 26 | žena | 45 | ne | 12 | 0 |
| 27 | žena | 21 | ne | 7 | 0 |
| 28 | muž | 22 | ne | 15 | 12 |
| 29 | muž | 45 | ne | 10 | 76 |
| 30 | žena | 20 | ne | 14 | 16 |
| 31 | muž | 27 | ne | 12 | 4 |
| 32 | žena | 47 | ne | 5 | 60 |
| 33 | muž | 24 | ne | 8 | 20 |
| 34 | muž | 28 | ne | 15 | 8 |
| 35 | muž | 26 | ne | 11 | 12 |

Příloha B: Výsledky testovaných pozorovatelů pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu, zobrazených v polárních souřadnicích

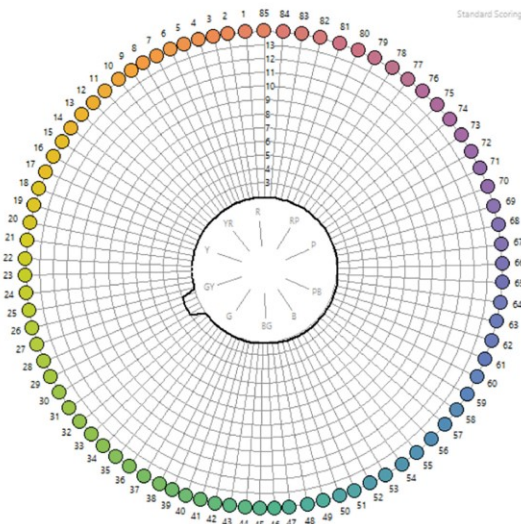
1



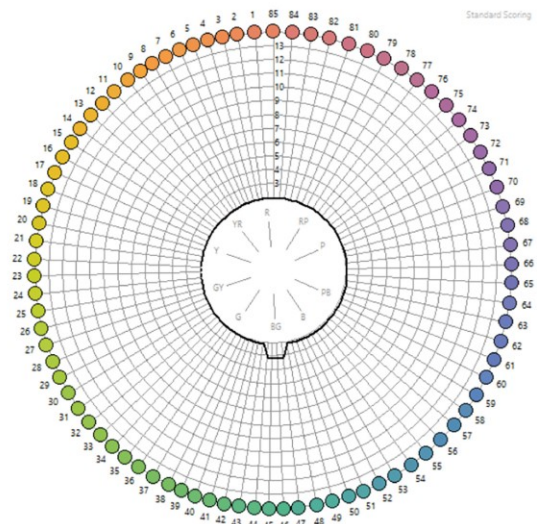
2



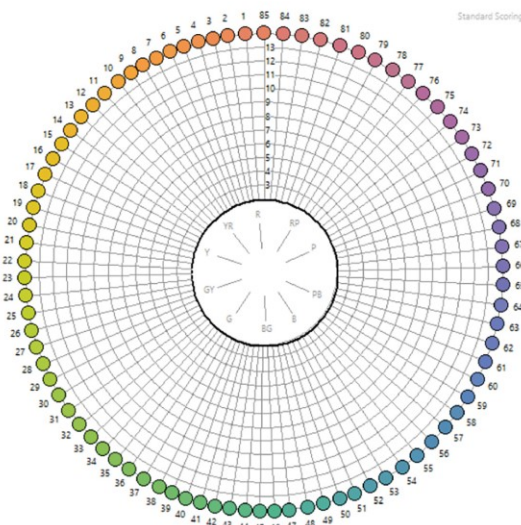
3



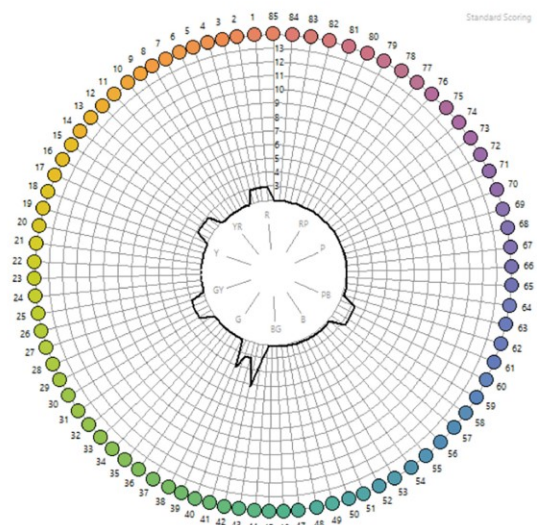
4



5

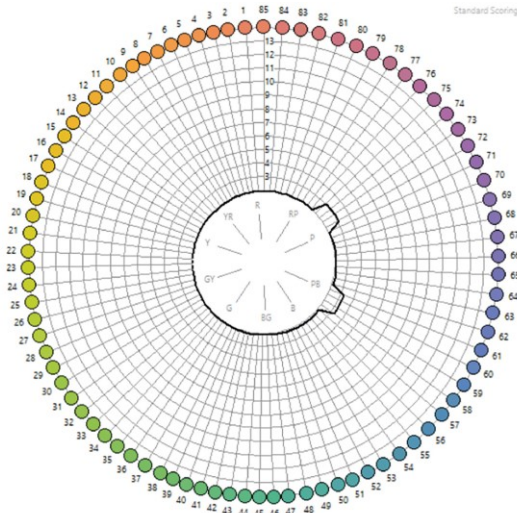


6

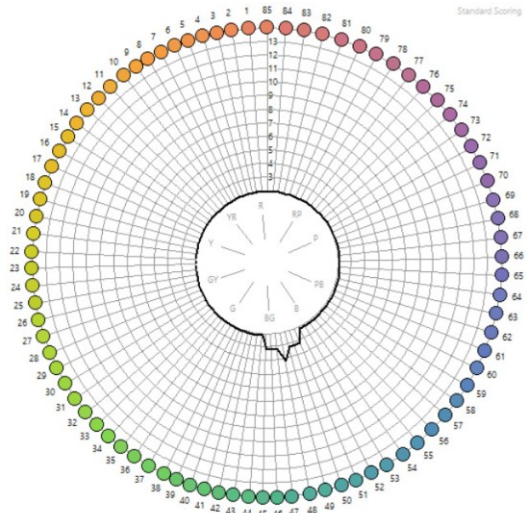


Příloha B: Výsledky testovaných pozorovatelů pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu, zobrazených v polárních souřadnicích – pokračování

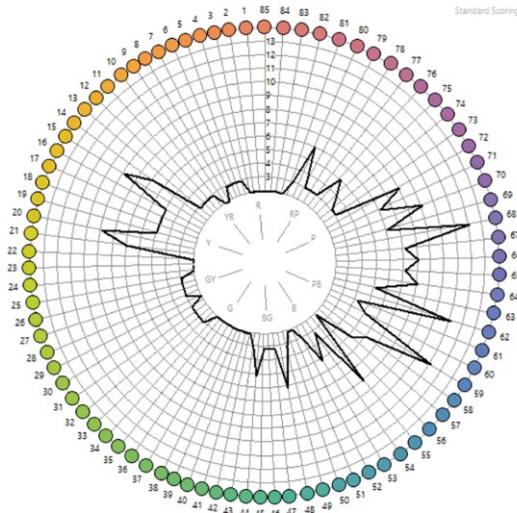
7



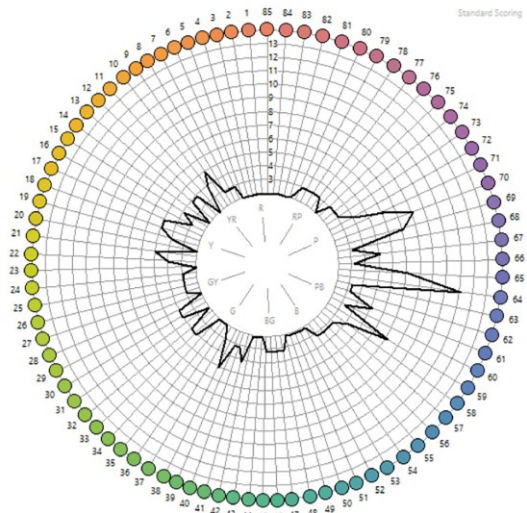
8



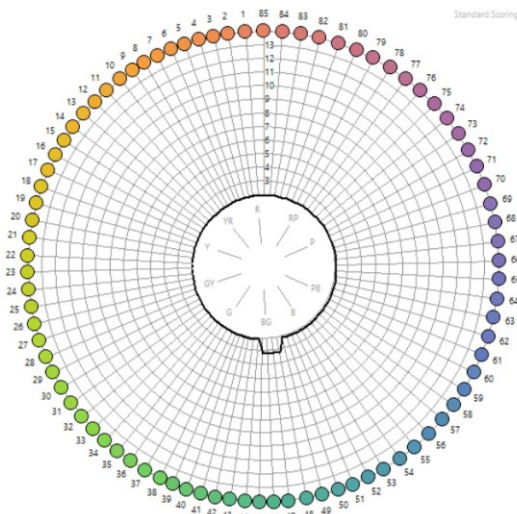
9



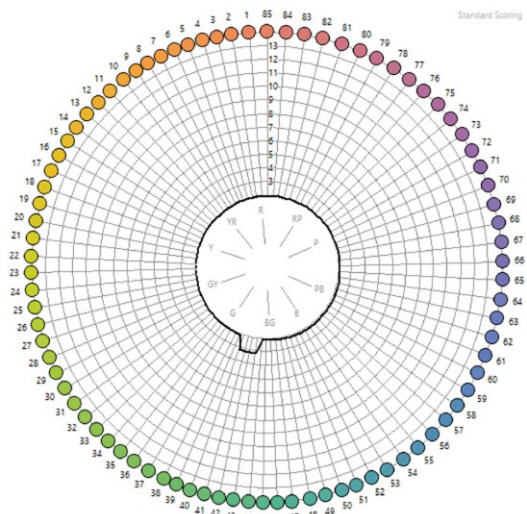
10



11

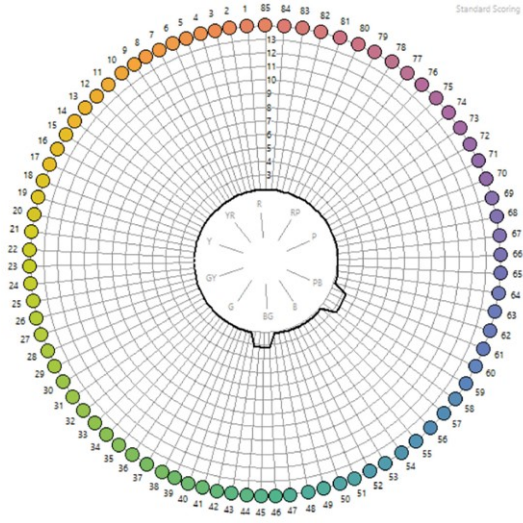


12

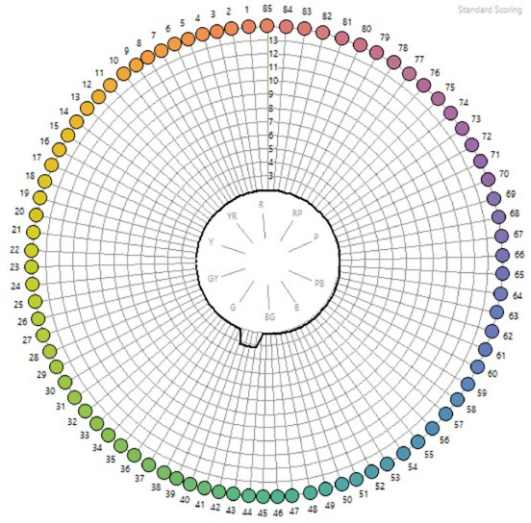


Příloha B: Výsledky testovaných pozorovatelů pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu, zobrazených v polárních souřadnicích – pokračování

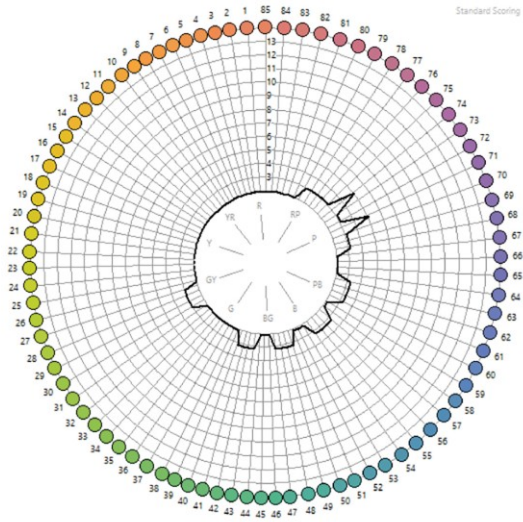
13



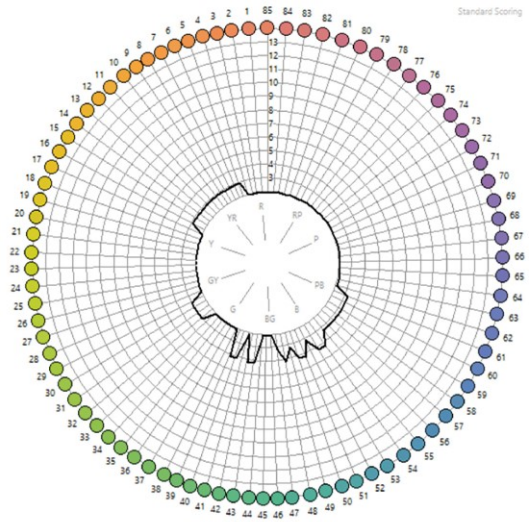
14



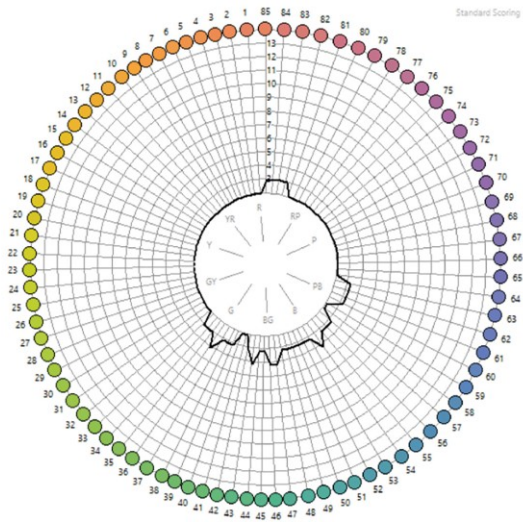
15



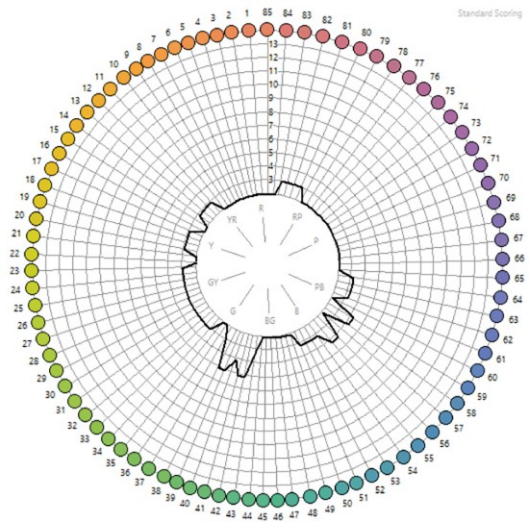
16



17

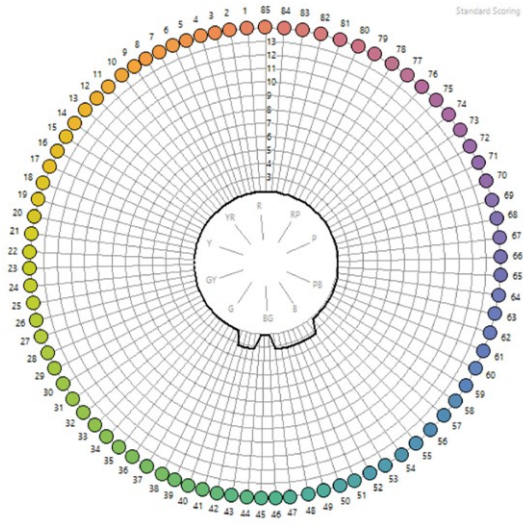


18

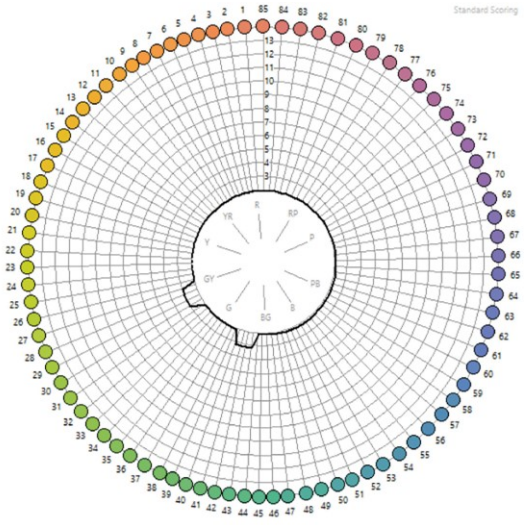


Příloha B: Výsledky testovaných pozorovatelů pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu, zobrazených v polárních souřadnicích – pokračování

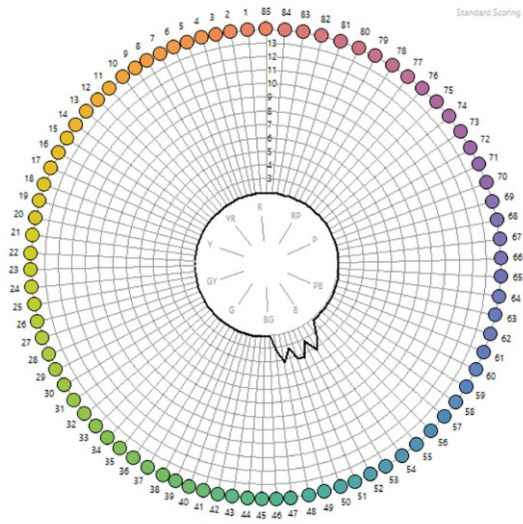
19



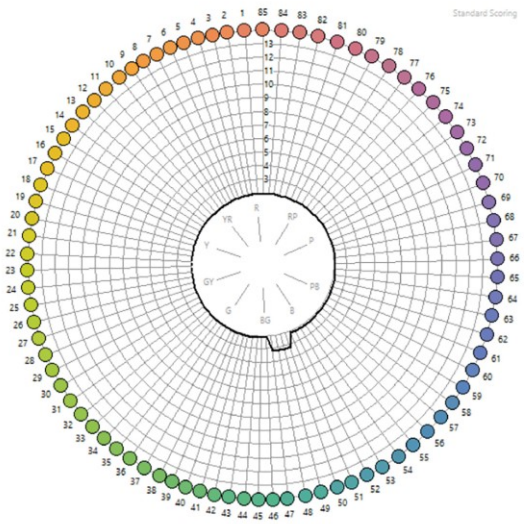
20



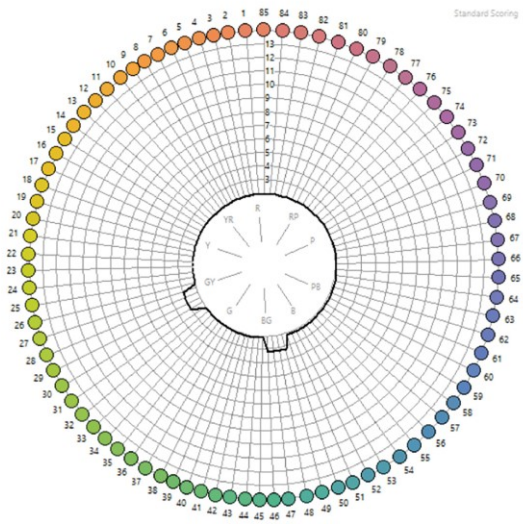
21



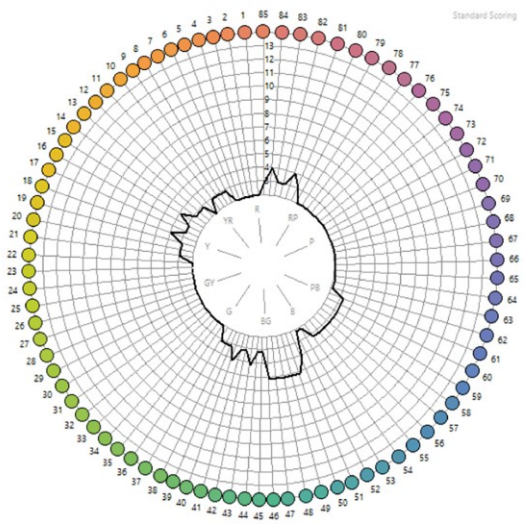
22



23

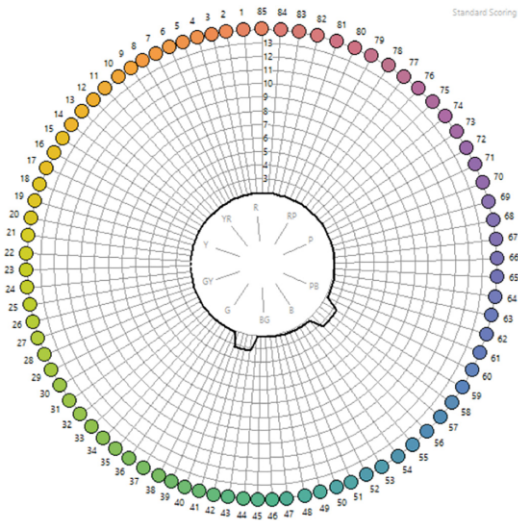


24

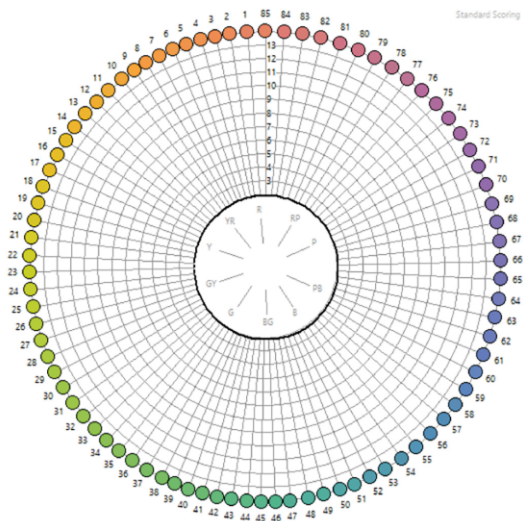


Příloha B: Výsledky testovaných pozorovatelů pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu, zobrazených v polárních souřadnicích – pokračování

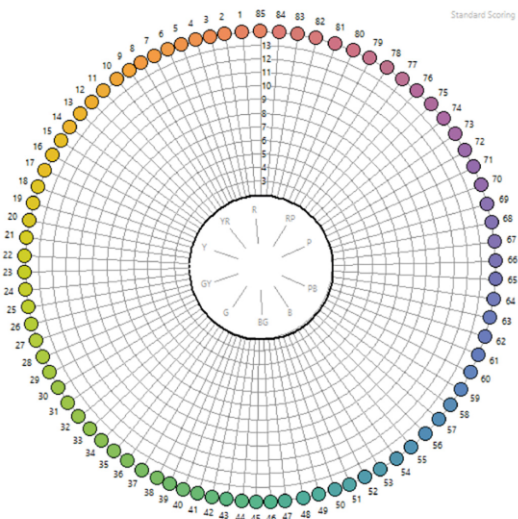
25



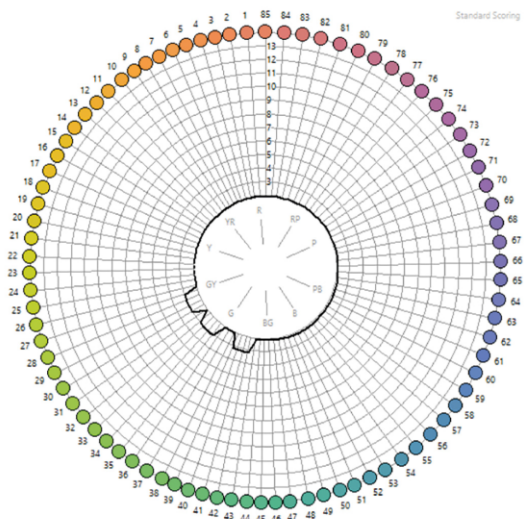
26



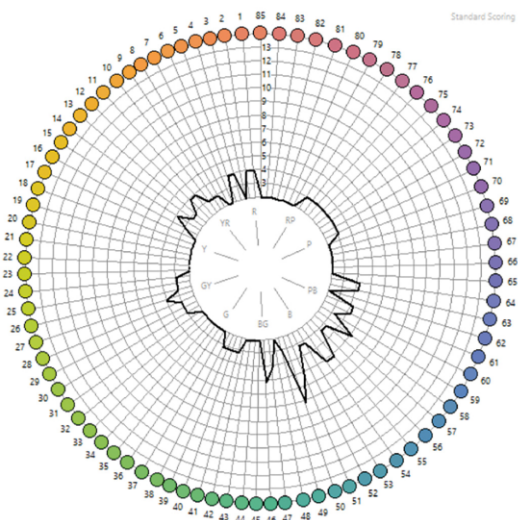
27



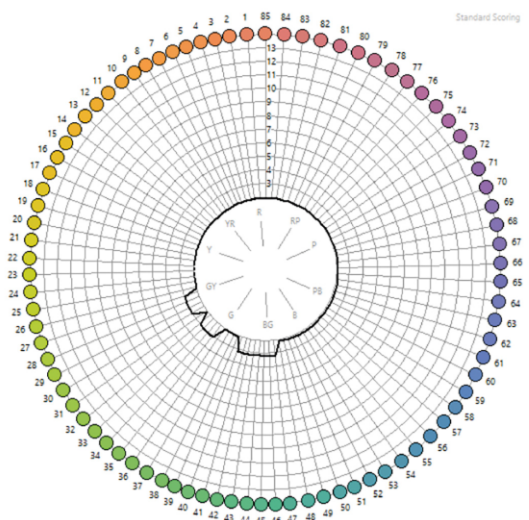
28



29

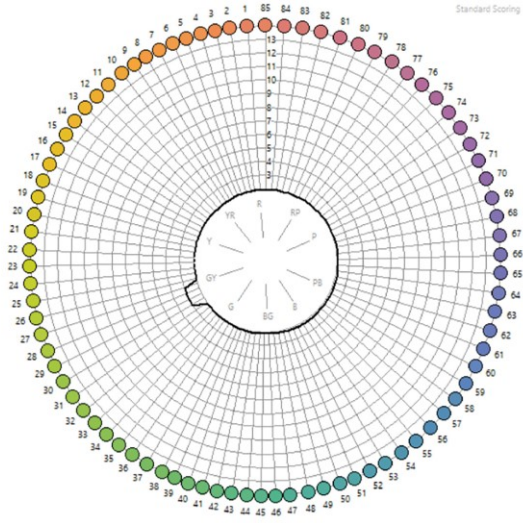


30

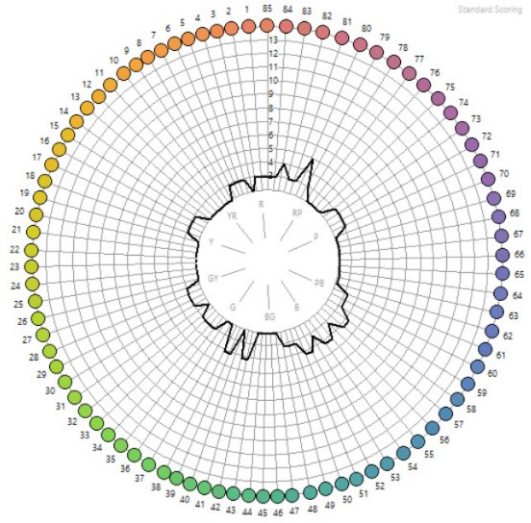


Příloha B: Výsledky testovaných pozorovatelů pomocí Farnsworth–Munsellova 100 Hue testu, zobrazených v polárních souřadnicích – pokračování

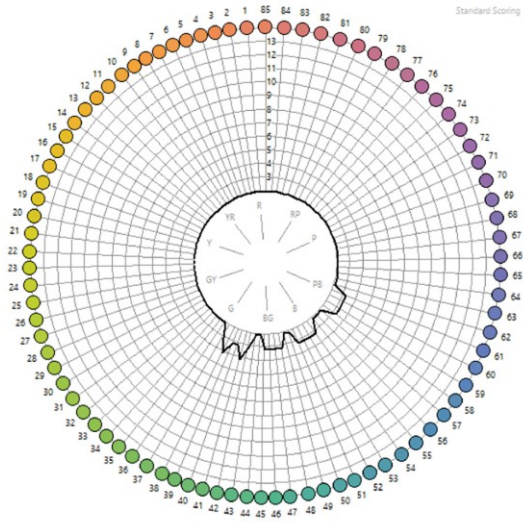
31



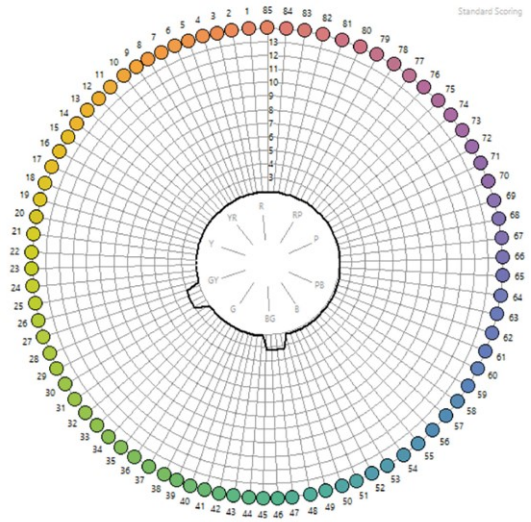
32



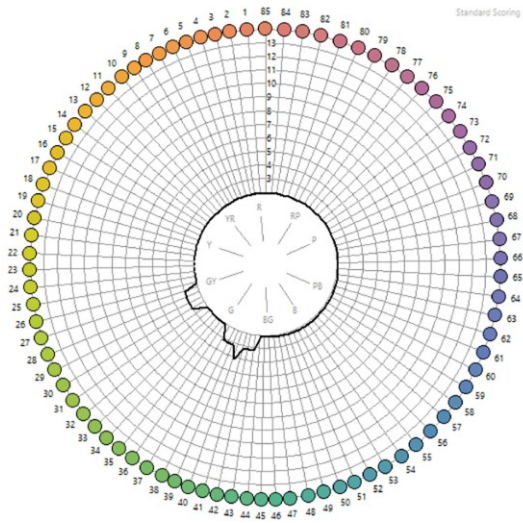
33



34



35



Samostatnou přílohu se všemi simulacemi webových stránek COVID očkování a materiály použité na hodnocení grafických dat respondenty lze načíst pomocí níže uvedeného QR kódu.

