

Jiří Lukavský

# **Barva a barvoslepost jako faktory ovlivňující výkon**

# Obsah

Úvod .....	3
Teorie barevného vnímání .....	3
Barevné vidění na úrovni sítnice .....	4
Barevné vidění na úrovni kůry .....	5
Barvoslepost .....	6
Druhy barvosleposti.....	7
Diagnostika barvosleposti.....	8
Co vlastně barvoslepí vidí?.....	9
Počítačová simulace barvosleposti .....	10
Výzkum efektivity červené barvy jako signálu .....	12
Použití barvy jako signálu .....	12
Vliv barvosleposti na výkon .....	14
Výzkumné otázky .....	14
Metoda .....	15
Prezentovaný materiál .....	16
Vzorek .....	17
Výsledky .....	18
Vliv barev .....	18
Vliv času .....	20
Závěr .....	21
Literatura .....	23

# Úvod

Tento výzkum byl součástí většího výzkumného projektu realizovaného na Kansas State University. Úkolem výzkumu bylo zjistit, jak ovlivňuje barvoslepost výkon operátora/pilota v leteckém průmyslu. Navrhovaným řešením, které se mělo otestovat byla varianta, kdy se červená barva bude v kokpitu používat pouze jako výstražný signál značící nebezpečí, které vyžaduje okamžitou reakci. Červená barva se nebude používat jako statický text, popis nebo podklad plochy displeje. Rovněž ostatní barvy by měly být používány opatrně a v souladu se standardy FAA (Federal Aviation Administration).

Tato práce se zaměřila na porovnání reakčních časů za různých barevných podmínek. Otázkou, kterou bylo potřeba ověřit, bylo, zda použití pouze červeného signálu nepřináší příliš malou informační hodnotu. Pro optimální výkon možná potřebuje být operátor varován předem. Dalším cílem práce bylo vytvořit normy, se kterými by se daly srovnávat další výkony prováděné při simulované barvosleposti.

Součástí této práce je teoretický úvod do problematiky barevného vidění, barvosleposti a jejího rozšíření v populaci. Zároveň bude stručně naznačen způsob, jak lze barvoslepost simulovat pro účely výzkumu, spolu s výhodami a nevýhodami tohoto přístupu. V druhé části bude čtenář seznámen s výsledky výzkumu, jak použití barev v leteckých displejích ovlivňuje reakční čas pilota.

## Teorie barevného vnímání

Člověk vnímá nejen tři základní barvy a jas, ale také vnímá barvy ve třech kontinuích – červená/zelená, modrá/žlutá, černá/bílá. Historicky vznikly dvě psychologické teorie, které zdůrazňovaly jeden z aspektů lidského vnímání barev (tři základní barvy vs. dvě barevná kontinua).

Young-Helmholtzova trichromatická teorie zdůrazňovala existenci tří druhů receptorů (čípků), jejichž podrážděním vzniká barevný vjem. Hlavní oporou této teorie je schopnost vysvětlit příčiny barvosleposti, jako dysfunkci jednoho či více druhů receptorů.

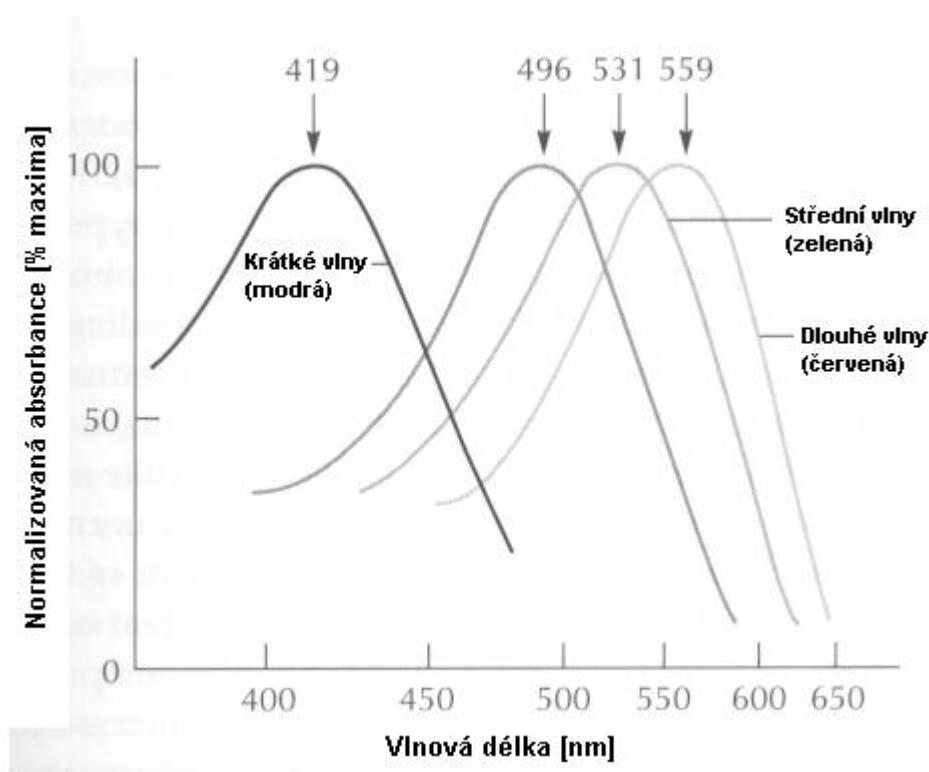
Herringova teorie byla založena na fenomenologickém pozorování, že některé barvy nemohou být vnímány současně. Za základní barvy byly považovány červená, žlutá, zelená a modrá. Tyto barvy lze kombinovat, např. do červenožluté nebo modrozelené, ale některých kombinací nelze dosáhnout – žádná barva nemůže být vnímána jako červenozeleňá nebo žlutomodrá. Tato teorie nabízela vysvětlení pro existenci komplementárních paobrazů.

Neuropsychologické výzkumy ukazují, že lidské barevné vnímání implementuje na různých úrovních oba dva popsané systémy.

## Barevné vidění na úrovni sítnice

Člověk je schopen vnímat světelné vlny v rozsahu 380-780 nm. Světlo v tomto rozsahu na základě svého vjemu popisujeme jako barevné spektrum.

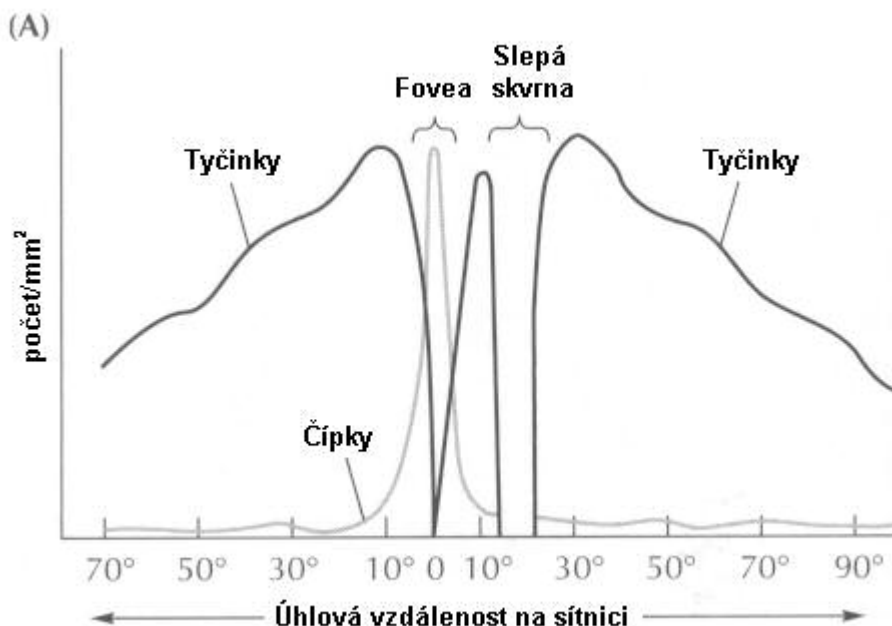
Světelnými receptory jsou specializované nervové buňky – tyčinky a čípky, které jsou uloženy ve vnější vrstvě sítnice. Tyčinky jsou citlivé na jas světla a člověk na ně spoléhá zejména v šeru. Existují tři druhy čípků, které se liší obsaženým pigmentem a které jsou specializované na vnímání světla tří různých vlnových délek (viz Obrázek 1). Právě absence nebo defekt ve struktuře těchto pigmentů způsobuje barvoslepost.



**Obrázek 1.** Citlivost jednotlivých receptorů na světlo různé vlnové délky.

Světlo, které dopadá na sítnici je směsí vln z viditelného rozsahu. Vlny jednotlivých vlnových délek mohou být v této směsi zastoupeny různou měrou. Pokud dvě různé směsi světelných vln stimulují receptory všech tří typů stejnou měrou, výsledným vjemem je stejná barva. Takovým barvám, které jsou vnímány stejně, i když se z fyzikálního hlediska liší, se říká metamerní.

Tyčinky a čípky nejsou na sítnici rozloženy rovnoměrně. V centru nejostřejšího vidění jsou takřka výhradně čípky, jejich počet v periferních částech zorného pole klesá, zde naopak převládají tyčinky (viz Obrázek 2).



**Obrázek 2.** Hustota tyčinek a čípků v různých částech sítnice.

Informace z receptorů jsou zpracovány a integrovány již na úrovni sítnice. Stavba a funkce jednotlivých vrstev sítnice není pro naše účely zajímavá. Podstatná je poslední vrstva – vrstva gangliových buněk. Tyto buňky integrují signály z určité plochy sítnice (tzv. receptive fields) a jejich signály vedou do korové oblasti V1 týlního laloku.

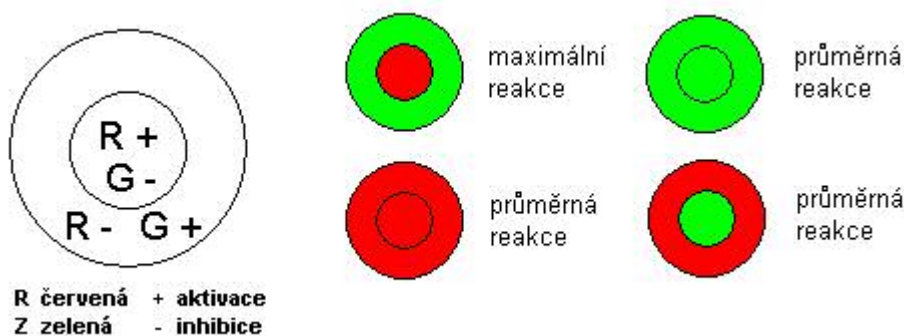
## Barevné vidění na úrovni kůry

Již na úrovni gangliových buněk dochází k důležitému rozdělení na gangliové buňky typu M a typu P. Signály o jasů zprostředkované tyčinkami jsou zpracovávány odděleně v magnocellulárním systému (odtud typ M), informace o barvě získané čípkami zpracovává parvocellulární systém (typ P). Oba systémy se liší nejen druhem vstupních informací, ale jsou také specializované na jiné úlohy.

Magnocellulární systém je evolučně starší (podle Koukolík, 2000). Tento systém podává celkové informace o organizaci scény. Také má lepší časové rozlišení a proto citlivě zachycuje pohyb. Parvocellulární systém není tak citlivý na kontrast a pomaleji rozlišuje

v čase, jeho výhodou je rozlišování barev. Tím pomáhá při rozlišování tvaru a identifikaci předmětů.

Buňky parvocellulárního systému často zpracovávají informace o barvě komplexněji – s ohledem na barvu v okolních receptorových polích. Tyto specializované buňky se nazývají „double-opponent“, protože reagují na kontrast dvou doplňkových barev.



**Obrázek 3.** Ukázka reakce double-opponent buňky parvocellulárního systému na různé barvy ve vlastním receptorovém poli a jeho okolí.

Tyto buňky reagují buď na kontrast červené/zelené nebo modré/žluté. Z obrázku 1. je patrné, že informace o zelené, červené a modré odpovídají vlnovým délkám, na které jsou citlivé jednotlivé druhy čípků. Informace o žluté barvě jsou souhrnem signálů z čípků, které reagují na červenou a zelenou. „Double-opponent“ buňky reagují na signál (např. červená) z vlastního receptorového pole excitací a jsou inhibovány komplementárním barvovým signálem (zelená) z receptorovým polí v okolí. Nejvýrazněji reagují tyto buňky na kontrast – červená v zelené způsobí maximální excitaci, a zelená v červené maximální inhibici. Existují i podobné buňky, které reagují na kontrast jasu (černá v bílé).

## Barvoslepost

Barvoslepost (daltonismus) je poruchou barevného vnímání. Většinou se nejedná o 100% barvoslepost, tedy naprostou neschopnost rozeznat barvy. Tito lidé některé barvy nedokáží rozeznat (vidí je „stejně“), jiné barvy dokáží rozlišovat bez problémů. Tato porucha je v populaci velmi rozšířená, nejčastěji jí trpí muži (Tabulka 1).

	běloši	asiaté	ostatní
muži	8,0%	5,0%	3,0%
ženy	0,5%	0,5%	0,5%

**Tabulka 1.** Rozšíření barvosleposti v závislosti na rase a pohlaví (Hurvich, 1981).

Barvoslepost je většinou genetická porucha, způsobená vadou na chromozómu X. Proto postihuje častěji muže, kteří mají jen jeden chromozóm X a tak nemohou vadu kompenzovat genetickou informací z druhého chromozómu X, jako tomu je u žen – přenašeček. U žen dochází k poruše pouze v případě defektu u obou chromozómů X.

Porucha se také může vyvinout během života, pokud je člověk vystaven působení toxických látek. Testování zaměstnanců, kteří s nebezpečnými látkami pracují, ukázalo zhoršení schopnosti rozlišovat mezi žlutou a modrou, které se postupně rozšiřuje i v poškození rozlišování zelené a červené. Mezi rizikové látky patří styren, karbon disulfid, n-hexan, PCE a další rozpouštědla a hnojiva používaná v průmyslu (dle Rutchik, 2002). Některá antibiotika, barbituráty nebo léky proti tuberkulóze mají podobný efekt.

Barvoslepost může být průvodním jevem některých chronických onemocnění, např. Alzheimerovy choroby, diabetu, leukémie, onemocnění jater, roztroušené sklerózy nebo Parkinsonovy choroby.

Jednou získaná barvoslepost je chronická a neexistuje pro ní léčba. Jedinou možností je navrhovat předměty denní potřeby a běžné signály tak, aby barva nebyla jediným a klíčovým zdrojem informace. Toho se dosahuje redundancí signálu, kdy je stejná informace nesena nejen barvou, ale i třeba tvarem (ikony) nebo polohou (světla na semaforu).

## Druhy barvosleposti

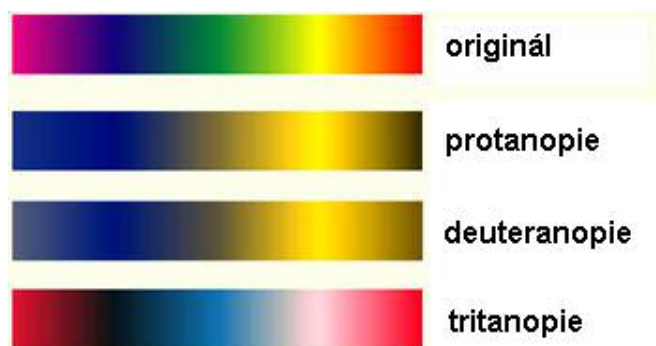
Příčinou barvosleposti je absence nebo defekt pigmentu čípků na sítnici oka. Podle schopnosti rozlišovat barvy se lidé rozlišují do několika skupin. Trichromaté (norma) tvoří většinu populace. Lidé kteří, jsou úplně barvoslepi, se nazývají monochromaté nebo také achromaté. Tato porucha je velmi vzácná, vyskytuje se jen u 0,003% mužů-bělochů. Většina lidí s poruchou vnímání barev jsou dichromaté nebo anomální trichromaté.

Dichromatům chybí v čípcích oka jeden z fotopigmentů. Podle druhu chybějícího pigmentu se tato porucha dělí na protanopii, deuteranopii a tritanopii. Anomální trichromaté mají všechny tři fotopigmenty, ale jeden z nich je vadný. Zde se rozlišují dva druhy poruchy – protanomální a deuteranomální. Četnost jednotlivých poruch je uvedena v Tabulce 2.

protanopie	chybí „červený“ pigment	1,0%
deuteranopie	chybí „zelený“ pigment	1,1%
tritanopie	chybí „modrý“ pigment	0,001%
protanomální	anomální „červený“ pigment	1,0%
deuteranomální	anomální „zelený“ pigment	4,9%

**Tabulka 2.** Četnost jednotlivých druhů barvosleposti u mužů-bělochů (Hurvich, 1981).

Popsané druhy barvosleposti se liší v tom, které barvy jsou vnímány odlišně. Určitou představu si lze udělat podle Obrázku 4, který znázorňuje, jak absence jednotlivých fotopigmentů ovlivňuje barevné vnímání.



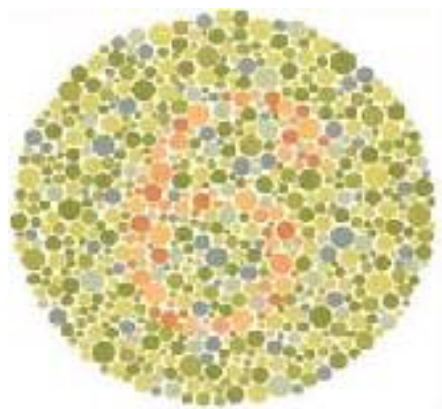
**Obrázek 4.** Odlišné vnímání barev u jednotlivých poruch barevného vnímání (Okabe a Ito, 2002)

## Diagnostika barvosleposti

Nejpoužívanějším testem barvosleposti jsou Ishiharovy tabulky. Kromě tohoto původního testu vzniklo mnoho dalších testů na stejném principu. V tomto testu jsou probandovi postupně předkládány obrázky složené z mnoha barevných koleček různých velikostí (Obrázek 5.). Kolečka mají různou barvu a některá z nich tvoří v obrázku figuru



(číslo nebo písmeno). Úkolem probanda je tuto figuru rozpoznat. Existují i varianty nezávislé na vzdělání a kultuře, kde je figurou cesta vedoucí napříč obrázkem.



**Obrázek 5.** Ukázka Ishiharova testu.

Od barvosleposti způsobené defektem nebo absencí fotopigmentu lze odlišit cerebrální achromatopsii. Pacienti s cerebrální achromatopsií si nedokáží barvu představit, při tom ale není jejich schopnost rozlišovat mezi barvami postižena (nebo ne tak závažně postižena). Svět kolem sebe popisují jako černobílý. Cerebrální achromatopsie bývá způsobena poškozením gyru fusiformis a často bývá doprovázena i dalšími symptomy jako je prosopagnozie, alexie nebo vizuální agnozie.

## Co vlastně barvoslepí vidí?

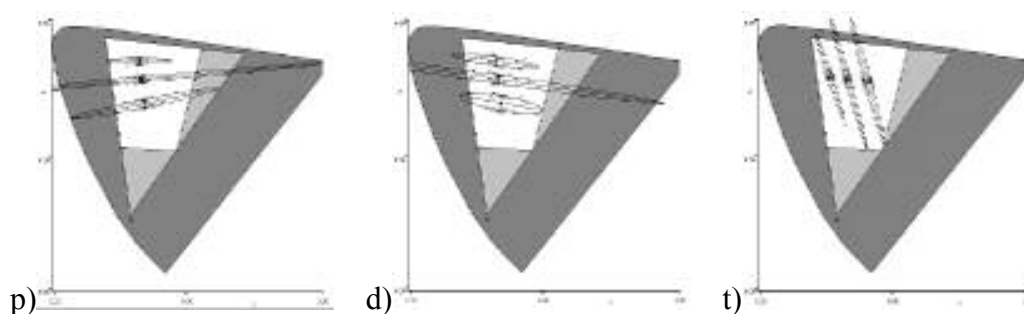
Na Obrázku 4. bylo znázorněno světelné spektrum tak, jak jej vidí barvoslepí lidé. Jak to ale můžeme vědět? Vždyť nám to žádný barvoslepý člověk nemůže nakreslit. Při rekonstrukci takových obrazů se používají dvě základní metody – 1) co barvoslepí nevidí, a 2) co vidí místo toho?

První metoda již vlastně byla popsána. Vychází ze stejného principu jako Ishiharovy tabule. Při tomto optometrickém výzkumu jsou barvoslepým prezentovány barvy a jsou požádáni, aby určili, zda se jedná o tutéž barvu nebo o dvě různé barvy. Lze najít nějakou zákonitost? Nejdříve je potřeba najít vhodný formát, ve kterém barvu můžeme barvu vhodně numericky vyjádřit.

Barvu je možné vyjádřit v různých formátech (například Sobota a Milián, 1996). Dobře známým formátem je například RGB, ve kterém se specifikují barvy pro počítačový monitor. V tomto formátu se barvy vyjadřují jasně třemi barevnými složkami – červené, zelené a modré. Jiné formáty používají odlišné referenční barvy (např. CMY používá fialovou, žlutou

a tyrkysovou). Další skupina formátů (HSB) namísto barevných složek vyjadřuje odstín (hue), sytost (saturation) a jas (brightness). Dalším standardem je kódování CIE, které umožňuje barvy stejného jasu vyjádřit na ploše. Po obvodu plochy jsou barvy spektra o maximální sytosti, uprostřed plochy leží bílý bod. Na spojnici bílého bodu a libovolného bodu na obvodu leží barvy stejného odstínu, které se liší sytostí (tj. podílem šedé).

Tento formát je obzvlášť vhodný, protože optometrické studie prokázaly, že barvy, které si barvoslepí lidé pletou tvoří v tomto diagramu úsečky resp. přímky (viz Obrázek 6.). O úsečky se jedná v případě, že porucha není příliš vážná. Těmto přímkám se říká konfúzní přímky (confusion lines) a mají zajímavou vlastnost, že se sbíhají v určitém centru. Toto centrum (confuion centre) je pro každý druh poruchy jiné. Byly změřeny parametry těchto center a na jejich základě můžeme předpovídat, které barvy budou vnímány jako podobné u jednotlivých druhů poruch barevného vidění. Tak tedy lze předpovědět, co barvoslepí nevidí.



**Obrázek 6.** Konfúzní přímky u protanopie (p), deuteranopie (d) a tritanopie (t), podle Mollon a Regan (2000).

Druhou klíčovou metodou je výzkum na lidech, kteří mají porušení barevné vidění jen na jednom oku. Díky existenci těchto lidí si můžeme udělat představu, co skutečně barvoslepí lidé vidí. Každou barvu, která leží na konfúzní přímce, vidí barvoslepí lidé jako jednu konkrétní barvu. Když najdeme tyto body pro každou konfúzní přímku (tyto body tvoří také zhruba přímku), můžeme vytvořit počítačovou simulaci barvoslepého vidění.

## Počítačová simulace barvosleposti

V rámci této výzkumné studie byl podobný simulátor sestaven. Optometrická data a základní principy byly získány z internetového fóra společnosti Microsoft (Lilley, 1993). Cílem bylo tento simulátor použít pro studium výkonu normálních probandů za podmínek simulované barvosleposti.

Je otázkou, jak moc je počítačová simulace barvosleposti validní. Nejprve je nutné si uvědomit, k čemu bude tato simulace použita.

Pokud je použita při výzkumu přesnosti vnímání a percepční zátěže, je její použití legitimní. Algoritmus simulace byl vytvořen právě tak, aby odpovídal obtížím, jak barvoslepí lidé vidí testové barvy. I kdybychom neměli informace o tom, jak barvoslepí skutečně dané barvy vidí, můžeme říct, že při vnímání dvou barev A a B mají stejné obtíže jako zdravý člověk při vnímání simulovaných odstínů barev A' a B'.

Bylo by svůdné tuto metodu používat i např. u projektivních metod, jako je Lüscherův test. Zde ale nacházíme jeden důležitý problém. I když by bylo zajímavé zjistit, jaké barvoslepí lidé přiřazují barvy, použití simulátoru je zrádné. Barvoslepý člověk, který má tuto poruchu vrozenou, nemá žádnou referenci, jak vypadá „normální“ červená nebo jiná barva. Vnímá jednotlivé barvy v kontextu barev svého světa. Normální člověk, který vidí barvy na simulátoru barvosleposti, ví, jak vypadá jeho červená. Zná barvy, které v simulaci barvoslepečného Lüscherova testu ani zdaleka nenajde.

Pro úlohy, které jsou pro to vhodné, ale simulace přináší významné výhody. Pro testování designu přístrojů nebo komerčního designu dokumentů a počítačových aplikací není potřeba shánět vzorek lidí, kterých je v populaci jen několik procent. Navíc by musel být každý proband vyšetřen, jakým druhem barvosleposti trpí a jak závažný je jeho deficit. Finanční i časové náklady i na jednoduchý výzkum by byly neúnosně vysoké. Zde může být počítačová simulace barvosleposti řešením. Pro získání náhledu do vidění barvoslepečného člověka je možné použít internetovou stránku [www.vischeck.com](http://www.vischeck.com), kde běží on-line simulátor, kterým je možné prohlédnout si internetové stránky tak, jak je vidí barvoslepí lidé.

## Výzkum efektivity červené barvy jako signálu

Tento výzkum byl zaměřen studium efektivity používání červené barvy jako výstražného signálu na leteckých displejích. Hlavním cílem studie bylo porovnat různé varianty výstražných signálů lišící se počtem barev a zjistit, která varianta podporuje nejlepší výkony operátora.

Motivací výzkumu byla hypotéza FAA (Federal Aviation Administration), že nejlepší bude úplně eliminovat červenou barvu na displejích kokpitu a používat ji jen jako výstražný signál vyžadující pozornost pilota a jeho okamžitou reakci. Vyloučením ostatních signálů a popisek červené barvy by se zvýšila účinnost takto prezentovaného podnětu. Zároveň se FAA snažila zjistit, do jaké míry může být výkon operátora ovlivněn případnou poruchou vnímání barev.

Byl proveden jednoduchý experiment, kdy probandi sledovali pohybující se přístroje na obrazovce monitoru a kdykoliv kterýkoli z přístrojů ukazoval maximální hodnotu, bylo probandovým úkolem stisknout tlačítko, které odpovídalo danému přístroji. Většinu času proband seděl před obrazovkou a čekal až se objeví signál. Design experimentu bude podrobněji popsán dále.

## Použití barvy jako signálu

Při používání barev jako signálů u leteckých přístrojů lze rozlišit několik základních aspektů. Nejdůležitější je počet použitých barev displeje, dále pak způsob, jak jsou barvy prezentovány a přítomnost barevného šumu.

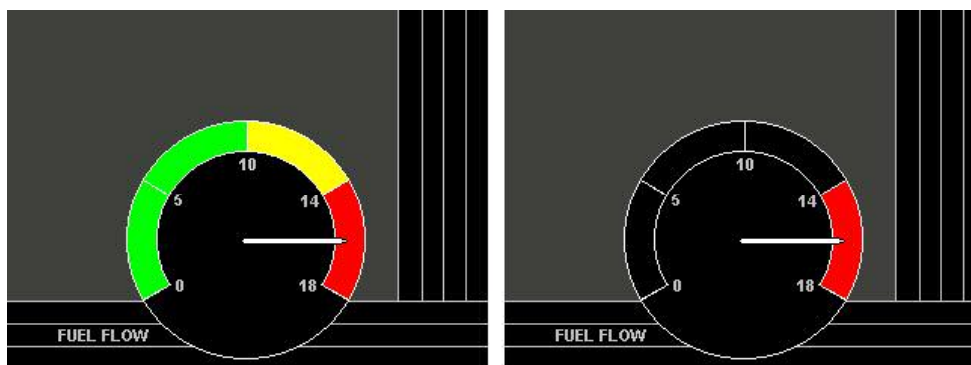
Prvním aspektem, který je třeba při designu leteckého přístroje zvážit, je počet barev. Čím více barev, tím větší počet různých signálů lze zprostředkovat. Na druhou stranu, tento počet by neměl být veliký. Wickens (1998) ve svých principech průmyslového designu varuje před použitím většího počtu barev než sedm. Větší počet převyšuje kapacitu lidské schopnosti rozlišovat signály a může se stát příčinou chyb.

**Počet barevných signálů** by měl odpovídat počtu akcí, které operátor na základě informací z daného přístroje provádí. V tomto výzkumu probandi monitorovali přístroje a měli za úkol zareagovat, kdykoliv některý z ukazatelů dosáhl maxima. V takové úloze je možné použít až tři různé barevné signály. Jedna barva bude signalizovat dosažení maxima a tedy nutnost okamžitě reagovat. Další barva může varovat, když se některý z ukazatelů začne přibližovat k maximální hodnotě. Třetí barva může signalizovat klidový stav – v případě, že

operátor současně monitoruje více přístrojů (v tomto experimentu 4 přístroje), stačí jeden pohled a operátor vidí, že ukazatel je „v pořádku“.

Jaké barvy v tomto případě použít? Nejsnazší je použít barvy tak, jak je uživatelé znají z jiných aplikací. Uživatelé se nemusejí učit nově interpretovat signály a mohou používat očekávání a mentální modely z jiných oblastí. Přístroje často používají stejných signálů jako světla na semaforu. To znamená, zelená ve smyslu „vše v pořádku“, žlutá jako „varování“ a červená jako „nebezpečí“. Použití červené barvy je v našem případě nasnadě. Červená barva bude signalizovat potřebu okamžité akce (tak jak chce FAA tuto barvu používat). Jednou z otázek výzkumu je, zda je výhodné používat dodatečné signály „varování“ a „vše v pořádku“. Tyto barvy informují operátora o okamžitém stavu systému a může jej varovat při blížícím se maximu, ale na druhou stranu, tyto barvy se nevztahují přímo k úkolu operátora a větší počet barevných signálů může způsobit jeho přetížení.

Dalším důležitým faktorem je způsob, **jak jsou barvy na displeji prezentovány**. V zásadě existují dva základní přístupy. Barva může být na displeji stále - na pozadí, na jednotlivých dílcích stupnice. Nebo se může barva objevit (vyskočit) až ve chvíli, kdy ukazatel dosáhne odpovídající hodnoty. Rozdíl mezi oběma druhy displejů je znázorněn na Obrázku 7.



**Obrázek 7.** Srovnání displejů se „stálými“ a s „vyskakovacími“ barvami.

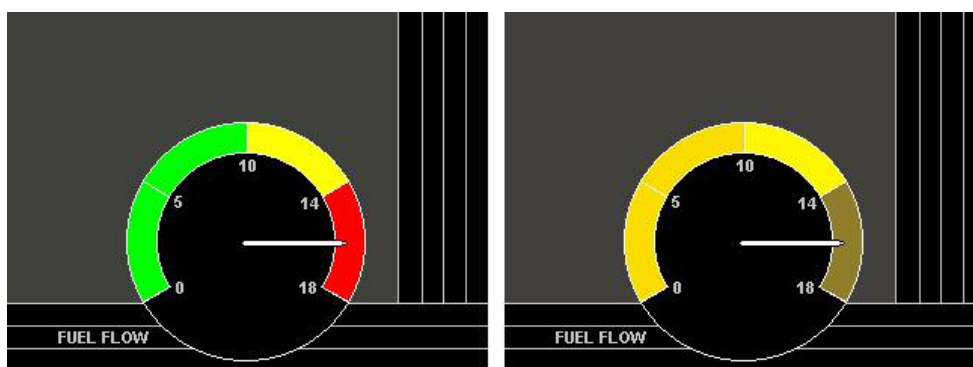
Mohlo by být zajímavé porovnat, který design je výhodnější. Je pravděpodobné, že „vyskakující“ displeje jsou efektivnější, protože používají menší počet současně zobrazených barev a navíc je u nich zřetelnější změna stavu. V této studii byly použity pouze „vyskakující“ displeje.

Třetím faktorem, který ovlivňuje efektivitu barevné signalizace, je **přítomnost barevného šumu**. Zdrojem šumu mohou být barevné popisky v blízkosti displeje nebo barva okolních displejů (obzvlášť pokud design těchto okolních displejů sleduje jinou filosofii).

Šum může být stejné barvy jako signál a tak devalvovat jeho význam, nebo může mít jinou barvu a rušit pozornost. Působení barevného šumu nebylo zahrnuto v této studii.

## Vliv barvosleposti na výkon

Jak může barvoslepost ovlivnit reakční čas v experimentu? Barvoslepý operátor bude vnímat barevné signály jinak. Barvy budou mít pro něj jiný jas a zejména pro něj bude těžší rozlišovat mezi některými barevnými signály, jak je ilustrováno na Obrázku 8.



**Obrázek 8.** Počítačová simulace protanopické verze displeje.

Červená a zelená jsou velmi častými barevnými signály a proto může barvoslepost velmi významně ovlivnit výkon v experimentu i v reálném prostředí (reakční čas, zatížení, rychlejší unavitelnost). Do této studie byli zařazeni pouze probandi s normálním barevným viděním.

## Výzkumné otázky

Jak již bylo zmíněno, existuje řada faktorů, které ovlivňují vnímání barvy jako signálu. Pro účely studie bylo potřeba zaměřit se pouze na malý počet faktorů. Experiment je tedy zaměřen na srovnání efektivity použití různých barevných signálů (červená, žlutá, zelená) s černobílým displejem bez dalších barev. Byl zkoumán reakční čas a počet chyb. Nulovými hypotézami, které budou testovány jsou:

- $H_{01}$  – reakční časy budou stejné za všech barevných podmínek.
- $H_{02}$  – probandi budou preferovat jednotlivé barevné podmínky stejnou měrou.

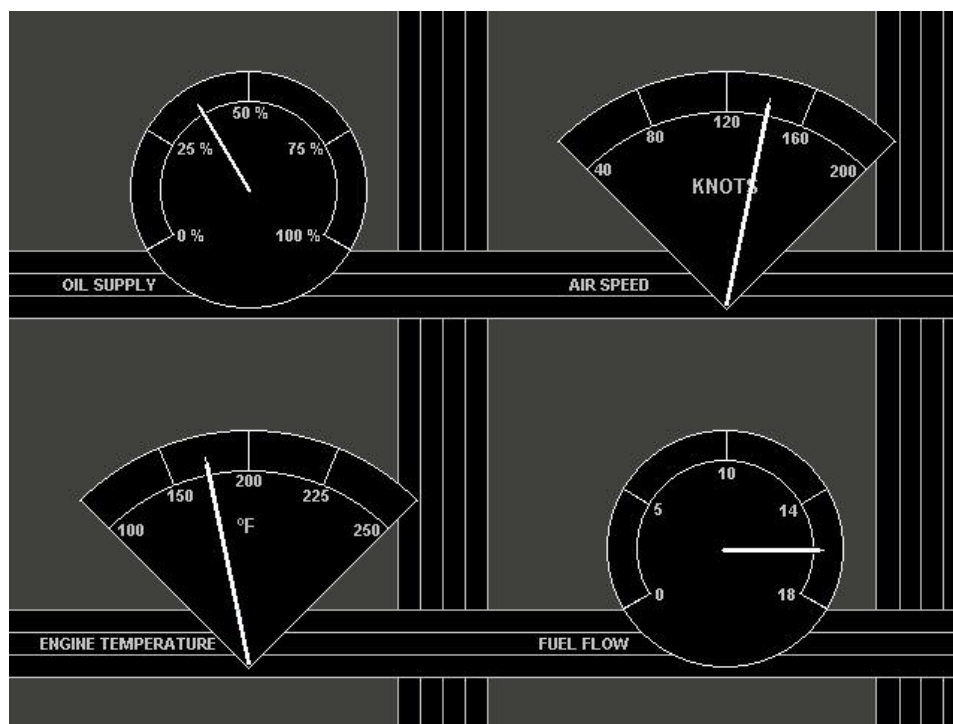
Cílem výzkumu je také získat referenční údaje, se kterými by se daly srovnávat budoucí výzkumy, při kterých bude použito simulování barvosleposti.

## Metoda

Byly srovnávány čtyři typy displejů

1. černobílý (ČBD) displej uvedený na Obrázku 9.
2. ČBD doplněný červeným signálem ve významu „nebezpečí“
3. ČBD doplněný červeným signálem ve významu „nebezpečí“, a žlutým signálem „varování“
4. ČBD doplněný červeným signálem ve významu „nebezpečí“, žlutým signálem „varování“ a zeleným „vše v pořádku“

(Tyto čtyři typy jsou zde nazývány zjednodušeně „černobílý“, „červený“, „žlutý“ a „zelený“.)

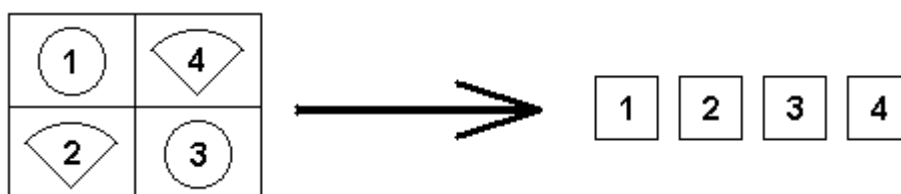


**Obrázek 9.** Černobílý displej použitý při experimentu.

Testování každého displeje spočívalo v jednoduché sérii, která trvala 9 minut. Původním záměrem bylo vytvořit videosekvenci s podnětovými displeji, která bude prezentována probandovi. Použitý software (E-Prime) ale neumožňoval zobrazování videosekvencí a tak byla zvolena jednodušší varianta. Byly prezentovány statické obrázky

displejů, které se vždy po konstantním čase (1,50 sekundy) střídaly. Vznikla tak trochu trhaná verze původně zamýšlené videosekvence.

Na monitory byly zobrazeny čtyři displeje (jak ukazuje Obrázek 9). Každý z těchto displejů má čtyři různé polohy a úkolem probanda bylo stisknout odpovídající tlačítko, když se ukazatel přístroje objeví v posledním segmentu stupnice. Reakční časy byly snímány přístrojem E-Prime Response Box, který má tlačítka umístěná v řadě vedle sebe. To ztěžuje úkol, protože se proband musí naučit, která tlačítka odpovídají kterému displeji. Schéma (Obrázek 10.), které to znázorňuje, bylo prezentováno probandovi před experimentem a měl možnost procvičit si jej na několika (čtyřech) cvičných displejích.



**Obrázek 10.** Zjednodušené schéma rozdílného rozložení displejů (vlevo) a tlačítek (vpravo)

## Prezentovaný materiál

Aby byl zachován dojem přirozeného pohybu (jako u videosekvence), nebyly obrázky řazeny náhodně, ale podle několika pravidel:

1. Při každé změně se změnily právě dva displeje.
2. Signál „nebezpečí“ byl v každém okamžiku maximálně jeden (aby existovala vždy jen jedna správná odpověď).
3. Signál „nebezpečí“ trval vždy jen 1,50 sekundy.
4. Změna stavu displeje byla vždy „plynulá“ – ze segmentu 2 do segmentu 1 nebo 3 apod. Z toho vyplývá, že stavu „nebezpečí“ (4) vždy předcházela stav 3.

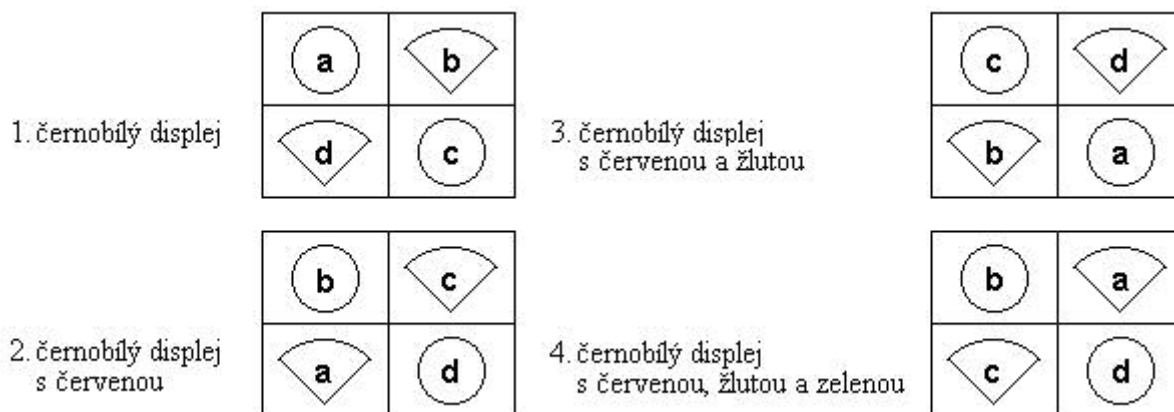
Každý proband prošel všemi 4 sériemi (které se lišily druhem použitých barevných signálů). Aby se eliminoval efekt pořadí jednotlivých sérií, bylo pořadí sérií permutováno (a každý proband (z celkového počtu 24) byl testován na jedinečné kombinaci sérií.

Série byly podle uvedených pravidel vytvořeny náhodně. Zde bylo potřeba zvážit, jestli vytvořit náhodně čtyři různé série nebo použít stejný „rytmus“ (kdy dojde ke změně, kdy je potřeba reagovat, kdy přijdou dva signály „nebezpečí“ rychle za sebou...) pro všechny čtyři druhy displejů. Dva náhodně generované „rytmy“, i když mají stejnou četnost jednotlivých



signálů, mohou mít různou obtížnost. Jeden může být těžší, protože je monotónní a ukolébá pozornost probanda, jiný může obsahovat úsek, kdy se nahromadí signály „nebezpečí“. Porovnat jejich obtížnost není možné. Pokud ale použijeme stejný rytmus, může být výsledek zkreslen postupným učením. Proband si například zapamatuje, že po signálu „nebezpečí“ vpravo dole přijde další po 6 vteřinách vlevo nahoře.

Obtížnost sérií není dána polohou a typem displejů, ale jejich rytmy. Kompromisním řešením bylo vygenerovat 4 rytmy, pro každý z displejů jeden. Tyto rytmy byly použity v každé sérii, vždy ale pro různé displeje. Tím je eliminován efekt učení při zachování stejné obtížnosti jednotlivých sérií. Celý postup shrnuje diagram na Obrázku 11. Zjednodušeně to znamená, že pravý horní displej v černobílé sérii se chová stejně jako levý horní displej v sérii se všemi barvami.



**Obrázek 11.** Vztah mezi rytmy (a,b,c,d) jednotlivých displejů v různých sériích.

## Vzorek

Testový vzorek tvořilo 24 dobrovolníků (11 mužů a 13 žen). Jednalo o studenty Kansas State University. Probandi byli testováni jednotlivě. Nejprve byli informováni o smyslu a průběhu experimentu. Také byli seznámeni s rozložením tlačítek a způsobem, jak odpovídají tlačítka jednotlivým displejům. Jako praktický zácvik sloužily čtyři statické displeje. Potom prošly probandi všemi čtyřmi testovými sériemi. Mezi sériemi byly jen minimální přestávky (několik vteřin). Nakonec byly probandi dotázáni na to, který způsob barevné signalizace jim vyhovoval nejvíce a který nejméně. Celé testování trvalo přibližně 45 minut.

## Výsledky

Měřítkem výkonu v dané sérii byl průměrný reakční čas, počet vynechaných signálů a počet chybných reakcí. Za chybnou reakci bylo považováno stisknutí špatného tlačítka (k případné opravě se nepřihlíželo). Počet falešných poplachů (proband stiskne tlačítko, aniž by dostal signál) nebylo potřeba měřit, protože se objevovaly jen výjimečně.

Efekt učení a únavy byl minimalizován díky permutování pořadí sérií. Výkon probandů byl analyzován ve dvou ohledech – zaprvé, jak je závislý na použitých barvách, a zadruhé, jak je závislý na pořadí série v experimentu (vliv učení a únavy).

## Vliv barev

Naměřený vliv barevné signalizace je uveden v Tabulce 3. Srovnání jednotlivých podmínek bylo provedeno metodou ANOVA pro opakovaná měření a Scheffého testem pro post-hoc srovnání. Výsledky prokázaly významný rozdíl mezi černobílým displejem a ostatními druhy displejů, které ve větší či menší míře používaly barevné signály. Rozdíly mezi jednotlivými druhy barevné signalizace nejsou významné (Tabulka 4.).

Pro srovnání počtu chyb a vynechaných signálů byla použita Friedmanova ANOVA a Kendallův koeficient konkordance. Významný rozdíl ( $p < ,00000$ ) mezi hodnotami byl zjištěn u počtu vynechaných signálů, u počtu chyb nebyl rozdíl významný ( $p < ,22576$ ). U černobílých displejů je tedy obtížnější detekovat důležitý signál. Pokud je ale detekován, je detekován správně (na správném místě) a je zvolena odpovídající reakce (správné tlačítko).

Deskriptivní statistika					
	N	Průměr	Minimum	Maximum	Std.Dev.
<b>průměrný reakční čas</b>					
černobílý	24	1114	730	1369	160
červený	24	944	633	1629	226
žlutý	24	938	571	1572	244
zelený	24	933	543	1398	251
<b>počet vynechaných signálů</b>					
černobílý	24	3.71	0	11	3.01
červený	24	0.17	0	2	0.56
žlutý	24	0.38	0	2	0.65
zelený	24	0.17	0	1	0.38
<b>počet chyb</b>					
černobílý	24	1.71	0	8	1.99
červený	24	1.46	0	6	1.82
žlutý	24	0.88	0	4	1.12
zelený	24	1.25	0	6	1.65

**Tabulka 3.** Deskriptivní statistika výsledků podle barev.

Scheffého test pro reakční časy				
	{1}	{2}	{3}	{4}
1 černobílý		0.000522	0.000305	0.000198
2 červený	0.000522		0.998884	0.993794
3 žlutý	0.000305	0.998884		0.999464
4 zelený	0.000198	0.993794	0.999464	

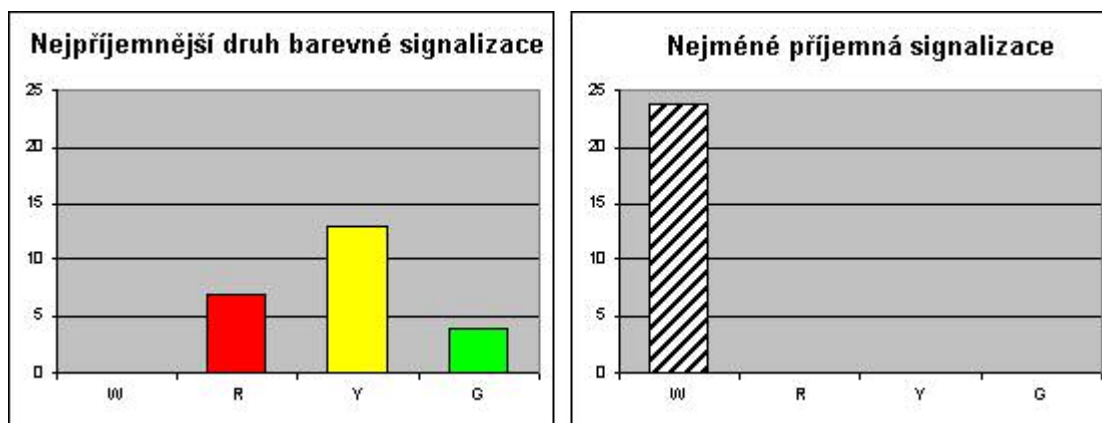
p-hodnoty menší než ,05 jsou uvedeny kurzívou

**Tabulka 4.** Srovnání vlivu barev na reakční čas v experimentu.

Pouze černobílý displej se významně odlišuje od ostatních.

Preference probandů jsou znázorněny na Obrázku 12. Černobílý displej je ve srovnání s ostatními displeji opravdu obtížný – probandí u něj dosahují horších výsledků a také jej jako obtížný vnímají. Žádný proband jej neoznačil jako nejpříjemnější, naopak úplně všichni jej považují za nejméně vyhovující.

Většina probandů preferovala displej s červenou a žlutou barvou, tj. ten, který kromě signálu k akci, také poskytoval „varování“. Výkon probandů za těchto dvou podmínek se významně neodlišoval. Zůstává tedy otázkou, zda v designu preferovat model jen s červeným signálem nebo s červeným signálem a žlutým varováním. Zdá se, že při varování se probandi cítí jistější, ale neovlivňuje to jejich výkon. Je možné, že v jiných experimentech byla mohla žlutá barva působit rušivě (díky jinému barvovému kontextu), nebo naopak by se více projevil vliv spokojenosti. Spokojenost může být způsobena menší pracovní zátěží, která se v rozsahu tohoto experimentu neprojevila, ale v delším experimentu může mít významný vliv.



**Obrázek 12.** Preference jednotlivých druhů barevné signalizace.

(W – černobílý, R – červený, Y – žlutý, G – zelený)

## Vliv času

Výkon v jednotlivých sériích může kolísat. První série je obtížná, proband se učí reagovat správně na signály a dělá chyby. S postupujícím časem se jeho výkon zlepšuje. Později se projeví únava a ta vede opět ke zhoršování výkonu. Dá se očekávat, že i tato experimentální úloha bude probíhat podle U-křivky pracovního výkonu. Je ale možné, že časový rozdíl 27 minut mezi 1. a 4. sérií je příliš malý na to, aby se proband unavil a tak bude zřetelná jen část tohoto trendu. Srovnání jednotlivých sérií (s ohledem na jejich pořadí v experimentu) je uvedeno v Tabulce 5.

Deskriptivní statistika					
	N	Průměr	Minimum	Maximum	Std.Dev.
<b>průměrný reakční čas</b>					
1.série	24	1065	709	1431	231
2.série	24	970	633	1240	182
3.série	24	969	597	1572	229
4.série	24	925	543	1629	271
<b>počet vynechaných signálů</b>					
1.série	24	1.83	0	11	3.17
2.série	24	0.63	0	5	1.24
3.série	24	1.21	0	8	2.04
4.série	24	0.75	0	5	1.65
<b>počet chyb</b>					
1.série	24	2.29	0	6	2.12
2.série	24	1.63	0	8	1.91
3.série	24	0.83	0	4	0.96
4.série	24	0.54	0	3	0.78

**Tabulka 5.** Deskriptivní statistika výsledků podle pořadí série v experimentu.

Scheffého test pro reakční časy				
	{1}	{2}	{3}	{4}
<b>1</b> 1.série		0.175849	0.173734	0.017138
<b>2</b> 2.série	0.175849		1.000000	0.780391
<b>3</b> 3.série	0.173734	1.000000		0.783731
<b>4</b> 4.série	0.017138	0.780391	0.783731	

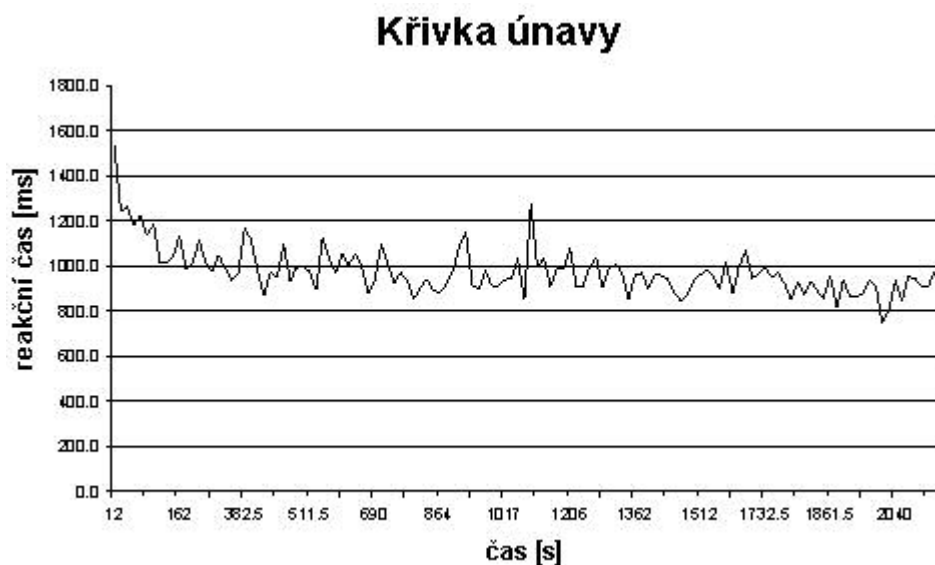
p-hodnoty menší než ,05 jsou uvedeny kurzívou

**Tabulka 6.** Srovnání vlivu pořadí série na reakční čas v experimentu.

Pro porovnání reakčních časů byla použita ANOVA pro opakovaná měření a Scheffého test (Tabulka 6.). Jediný významný rozdíl je mezi 1. a 4. sérií. To by spolu s klesajícími reakčními časy naznačovalo, že úloha není dostatečně dlouhá, aby se projevil vliv únavy. Probandi se během experimentu stále učí a zlepšují.

Srovnání počtu vynechaných signálů pomocí testu Friedmanova ANOVA a Kendallova koeficientu konkordance nepřineslo významné výsledky ( $p < ,28920$ ). To znamená, že se počet vynechaných signálů nemění s časem a učení na něj nemá vliv. Počet chyb s časem významně klesá ( $p < ,00179$  - pomocí stejných testů). Probandi si časem zvyknou, které tlačítko odpovídá kterému displeji, a dělají méně chyb.

Vliv času na výkon v experimentu je znázorněn křivkou únavy na obrázku 13.



**Obrázek 13.** Křivka únavy znázorňující výkon probandů v čase.

Je zřetelný vliv učení, únava se neprojevuje na výkonu.

## Závěr

Experiment ukázal významnou úlohu barvy v designu přístrojů. Displej bez barevných signálů byl probandy vnímán jako nejobtížnější a jejich výkony byly u tohoto displeje výrazně horší. To není velkým překvapením protože tento displej neposkytuje informace, které by usnadnily výkon operátora.

Významným výsledkem je, že nebyl nalezen mezi displejem, který věčně používal jen barvu, která se přímo vztahovala k úkolu, a ostatními displeji, které obsahovaly přidané informace. Displej, který poskytoval varování, když se stav přístroje přiblížil maximu, byl považován za nejpříjemnější. Je tedy otázkou, zda eliminovat většinu barev a ponechat jen ty, které signalizují potřebu okamžité akce. Je potřeba vycházet z charakteru konkrétního kokpitu – kolik má displejů, jaká je jejich důležitost a jaké akce je potřeba na jejich základě provádět.

Zde se možná ukáže, že větší počet barev a přidané varovné barevné signály, již nejsou uživatelsky příjemné a naopak působí rušivě.

Výsledky výzkumu lze použít jako začátek rozsáhlejšího srovnání vlastností displejů. Je možné experiment zopakovat s tím, že budou použity displeje se „stálými“ barvami. Tak může být najednou srovnán vliv barev u tohoto typu displejů a také mohou být srovnány s displeji stejných barev z této studie, které používaly „vyskakovací“ barvy.

Zejména je ale možné zopakovat experiment s displeji upravenými tak, jak je pravděpodobně vidí barvoslepí operátoři. To nám poskytne lepší srovnání vlivu barevné signalizace na výkon barvoslepeho operátora a také bude možné srovnat výkon těchto operátorů a operátorů s normálním barevným viděním. Takový design experimentu se zdá být užitečný, protože už vyžaduje jen dalších 24 *normálních* probandů.

## Literatura

Hurvich L.M. (1981). Color Vision. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates Inc.

Koukolík, F. (2000). Lidský mozek: funkční systémy, norma a poruchy. Praha: Portál.

Lilley, C. (1993). Color Blindness Theory, Simulation. Ztaženo 10.11.2002 ze serveru <http://www.microsoft.com>

Mollon, J.D., Regan, B.C. (2000). Cambridge Colour Test. Cambridge University.

Okabe M., Ito, K. (2002). Barrier-free presentation that is friendly to colorblind people. Ztaženo 3.3.2003 z [http://jfly.nibb.ac.jp/html/color\\_blind/text.html](http://jfly.nibb.ac.jp/html/color_blind/text.html)

Rutchik, J.S. (2002). Organic Solvents. Ztaženo 25.3.2003 z <http://www.emedicine.com/neuro>

Sobota, B., Milián, J. (1996). Grafické formáty. České Budějovice: Kopp.

Wickens C.D., Gordon S.E., Liu Y. (1998): An Introduction to Human Factors Engineering. Addison-Wesley Educational Publishers Inc.