

Univerzita Karlova  
Pedagogická fakulta  
Katedra psychologie

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv očekávání a předchozích znalostí na paměť na fotografie

Expectations and prior knowledge in scene memory

Eliška Šimsová

Vedoucí práce: Mgr. Jiří Lukavský, Ph.D.

Studijní program: Psychologie

Studijní obor: Psychologie s rozšířením o speciální pedagogiku

Odevzdáním této bakalářské práce na téma *Vliv očekávání a předchozích znalostí na paměť na fotografie* potvrzuji, že jsem ji vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze dne 17. dubna 2022

Eliška Šimsová

.....

Ráda bych poděkovala především svému vedoucímu práce Mgr. Jiřímu Lukavskému, Ph.D., za to, že mi dal možnost pracovat na tomto zajímavém projektu, za trpělivé vedení, vstřícnost a rady. Děkuji také svým blízkým za podporu při psaní této práce.

## **ABSTRAKT**

V paměťových experimentech zkoumajících paměť na barvy se jako stimuly často používají jednoduché tvary s náhodnými barvami. To zajistí, že účastníci nebudou při vybavování z paměti ovlivněni svými očekáváními o barvách těchto stimulů. Při použití reálných objektů s reálnými barvami jako stimulů lze předpokládat, že účastníci mají dopředu vytvořenou jistou představu o tom, jakou barvu objekty běžně mívají. Objekty mají více či méně typickou barvu, které si účastníci mohou být vědomi, což by mohlo ovlivnit přesnost výsledků. Cílem této práce je zjistit, zda a nakolik jsou účastníci při paměťovém experimentu skutečně ovlivněni svými předchozími znalostmi o barvách objektů na fotografiích. Provedeny byly dvě studie. V první studii účastníci vybarvovali bez předlohy objekty na černobílé fotografii a byla měřena přesnost, se kterou se na těchto barvách nezávisle na sobě shodli. Druhou studií byl paměťový experiment, při kterém účastníci krátce viděli barevnou fotografii a následně měli z paměti vybarvit objekty na její černobílé verzi. Tím byla změřena přesnost zpětného určení barev těchto objektů. Byl nalezen pozitivní vztah mezi přesností shody na očekávaných barvách a přesností zpětného určení barev, výsledky tedy naznačují, že při paměťovém experimentu s barevnými fotografiemi jako stimuly si účastníci při určování barev objektů pomáhají svými předchozími zkušenostmi s nimi.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Paměť na fotografie, Barva, Přesnost vzpomínek

## **ABSTRACT**

In memory experiments, researchers often use simple stimuli, such as shapes with arbitrary colors. When participants recall the colors of these objects, they do not have any additional helpful information and if they cannot recall the correct color, they pick a random color. In this thesis, the use of photographs with real colors as stimuli is assessed. If photographs are used in a memory experiment, will participants' guesses about the colors still be random, or will they be influenced by prior experience? Two studies have been carried out to answer this question. In the first study, participants colored in black-and-white versions of the photographs as they liked. The measured variable was the precision with which they (independently) agreed on the colors of the objects in photographs. The second study was a memory experiment. Participants saw the photographs for a few seconds and then they colored in a black-and-white version of the photograph from memory. The precision of the recall (memory fidelity) was measured. According to the results, there is a relationship between the precision of recall and the precision of the agreement on the colors of the objects. The results indicate that when using photographs with real colors as stimuli in a memory experiment, participants' decision on the recall is, at least partly, influenced by their prior experiences with the colors of the objects.

## **KEYWORDS**

Scene memory, Color, Fidelity

## Obsah

Úvod .....	7
1 Teoretická východiska .....	10
1.1 Druhy paměti .....	10
1.2 Fidelita paměti .....	11
1.2.1 Delayed estimation paradigm .....	11
1.2.2 Srovnání fidelity pracovní a dlouhodobé paměti.....	12
1.2.3 Struktura pracovní paměti .....	14
1.2.4 Model slotů .....	14
1.2.5 Model alokace zdrojů .....	16
1.2.6 Alternativní model.....	17
1.2.7 Kritika dichotomního rozdělení.....	17
1.2.8 Kapacita krátkodobé paměti .....	18
1.2.9 Kapacita dlouhodobé paměti .....	18
1.3 Change blindness .....	19
1.3.1 Experimenty zkoumající slepotu ke změně.....	20
1.3.2 Možná vysvětlení slepoty ke změně.....	21
1.4 Barevné prostory.....	22
1.4.1 HSV/HSL .....	22
1.4.2 RGB.....	23
2 Empirická část .....	25
2.1 Příprava a hodnocení datasetu .....	25
2.1.1 Úvod .....	25
2.1.2 Metoda.....	26
2.1.3 Výsledky.....	27

2.1.4	Diskuze .....	27
2.2	Měření očekávání barev na fotografiích .....	28
2.2.1	Úvod .....	28
2.2.2	Metoda .....	29
2.2.3	Analýza .....	30
2.2.4	Výsledky .....	31
2.2.5	Diskuze .....	34
2.3	Paměťový experiment .....	35
2.3.1	Úvod .....	35
2.3.2	Metoda .....	35
2.3.3	Analýza .....	37
2.3.4	Výsledky .....	38
2.3.5	Diskuze .....	42
3	Obecná diskuze .....	44
3.1	Zasazení výsledků do teoretického kontextu .....	44
3.2	Limity studie .....	45
	Závěr .....	46
	Seznam použitých informačních zdrojů .....	47
	Seznam příloh .....	51

## Úvod

Již od konce 19. století, kdy William James (1890) navrhl jeden z prvních modelů paměti, je paměť stále podrobněji popisována. Díky psychologickým výzkumům například víme, že paměť je pro různé modalitativy pravděpodobně specifická, a sluchová paměť je tak odlišitelná od vizuální (Baddeley, 1983). O vizuální pracovní paměti se dále diskutuje – zkoumány jsou jak limity počtu objektů, které v ní můžeme uchovat, tak přesnost, s jakou je dokážeme uchovat (Brady et al., 2013; Zhang & Luck, 2011). Tato zjištění jsou podstatná, jelikož vypovídají o struktuře vizuální pracovní paměti jako takové. Jedná se zejména o to, zda si v paměti dokážeme udržet pouze malé množství objektů s danou přesností (Zhang & Luck, 2008), či zda jejich přesnost můžeme měnit, abychom dali prostor většímu množství objektů k zapamatování (Bays et al., 2009).

Při použití pojmu „objekt“ pak můžeme mít na mysli jednoduché tvary, jako jsou čtverce, ale i složité objekty spojující mnoho rysů, jako jsou předměty okolo nás. Podle některých výzkumů je kapacita vizuální pracovní paměti pro oba typy objektů stejná, tedy je vnímáme jako celky (Vogel et al., 2001). Z řady několika čtverců si zapamatujeme přibližně čtyři, a to i pokud mají několik různých rysů, jako je velikost, orientace a barva. Předmětem debat je ale zejména přesnost, s jakou si tyto objekty pamatujeme. Pro testování limitů a přesnosti paměti vzniklo výzkumné paradigma, umožňující zkoumat zpětné vybavení barev objektů a rozlišující případy, kdy si účastníci barvy s určitou přesností pamatují, a případy, kdy si barvy nezapamatují a následně je pak hádají (Biderman et al., 2019; Brady et al., 2013; Zhang & Luck, 2008). Ve výzkumech, které s tímto paradigmatem pracují, se používají zejména jednoduché stimuly, jako jsou právě barevné čtverce.

Použití těchto jednoduchých stimulů značně usnadňuje výzkumníkům práci a zároveň ponechává malý prostor nežádoucím proměnným, které se mohou objevit při použití komplexnějších stimulů, jakými jsou například fotografie. Nežádoucí proměnnou může být například nerovnoměrné rozložení pozornosti v rámci fotografie nebo vzájemné ovlivnění mezi objekty na fotografii, ale zejména jimi jsou předchozí zkušenosti účastníků s objekty na fotografiích. Pokud by tyto experimenty pracovaly s reálnými barvami objektů, je pravděpodobné, že by kupříkladu nebylo možné očekávat, že účastníci při nezapamatování volí – hádají – barvu náhodně. Je možné, že toto hádání by bylo dopředu ovlivněné

zkušeností účastníků s barvami objektů, a tak by u objektů, které mají určitou typickou barvu, hádali správně. Přesnost vybavení si barev objektů s více typickou barvou (například rajčete) by v takovém případě byla vyšší než přesnost vybavení si barev objektů, které typickou barvu nemají – účastníci by i při pochybnostech pravděpodobně barvu správně hádali. Ačkoli se experimenty používající jednoduché stimuly těmito – pro jejich účely nežádoucím – efektům vyhnou, v reálnějších situacích může být tento efekt stále přítomný. Tato práce se zabývá právě vlivem předchozích zkušeností na paměť, a to za použití barevných fotografií jako stimulů.

Výzkumným cílem této práce je zjistit, zda je možné, že účastníci při paměťovém experimentu využívajícím fotografie s reálnými barvami úspěšně hádají. Má to, do jaké míry se lidé shodují na barvě určitého objektu – tedy do jaké míry je pravděpodobné, že jejich očekávání o barvě určitého objektu budou správná – souvislost s mírou přesnosti, s jakou lidé reprodukuji barvu objektu z pracovní paměti? Budou lidé v tomto experimentu barvy, které si nezapamatují, více či méně úspěšně hádat na základě svých předchozích zkušeností? Tyto výzkumné otázky vedou k hypotéze, že *přesnost zpětného určení barev dříve zobrazených objektů na fotografiích z pracovní paměti bude přímo úměrná přesnosti shody účastníků na očekávané barvě těchto objektů*. Pokud bude hypotéza potvrzena, lze z toho vyvodit, že účastníci u objektů, jejichž barvy si nedokázali vybavit z krátkodobé paměti či si je nezapamatovali, hádali, a toto hádání bylo ovlivněné jejich očekáváními o barvách objektů. Jelikož u objektů s více typickými barvami pravděpodobně hádali správně, je výsledná naměřená přesnost zpětného určení barev těchto objektů vyšší.

V první části práce jsou prezentována teoretická východiska, na která navazují zde řešené výzkumné otázky. Jedná se o široký kontext výzkumů paměti, především o výzkumy týkající se fidelity (přesnosti) paměti, které mají návaznost na debatu o struktuře paměti. Rozebírány budou zejména dva modely struktury paměti, které jsou v této debatě významné: model slotů a model alokace zdrojů. Pro získání experimentálních důkazů potvrzujících jeden nebo druhý model se často používá výzkumné paradigma oddáleného odhadu (delayed estimation), jež je v této části podrobněji rozebíráno. Představeno bude také několik výzkumů, zabývajících se fenoménem „change blindness“ (slepoty na změnu), který lze

použit pro výzkum limitů paměti. Jelikož se jak tato studie, tak i další související výzkumy často týkají barev, budou v této části představeny také dva nejrelevantnější barevné prostory.

V druhé, empirické části práce je představen samotný paměťový experiment a měření jemu předcházející. Celkem je tato část rozdělena na tři pododdíly. Nejprve bude popsán proces přípravy datasetu fotografií, který je používán v obou následujících částech, a hodnocení vhodnosti fotografií. Následující pododdíl je věnován měření přesnosti, s jakou se účastníci shodují na předpokládaných barvách objektů na černobílých verzích fotografií. Třetí pododdíl je věnován paměťovému experimentu zabývajícímu se pracovní pamětí, ve kterém je měřena přesnost vybavení barev objektů na fotografiích. V této části je analyzována souvislost přesnosti shody předpokládaných barev objektů na fotografiích a přesnosti reprodukce barev těchto objektů vybavených z pracovní paměti.

# 1 Teoretická východiska

## 1.1 Druhy paměti

Paměť se často dělí na pracovní či krátkodobou a dlouhodobou. Většina autorů v literatuře podstatné pro účely této práce (Biderman et al., 2019; Brady et al., 2013) tyto dva typy paměti skutečně považují za oddělené systémy s rozdílným způsobem zpracování a ukládání informací.

Pracovní paměť bychom mohli označit za systém zajišťující uchování informací a umožňující manipulaci s nimi i bez vnějšího přístupu k nim, a to po dobu, po kterou jsou pro nás tyto informace užitečné, což bývá několik sekund (Wixted et al., 2018). Tato schopnost je zásadní pro řadu vyšších kognitivních schopností – umožňuje nám například usuzování, plánování či řešení problémů (Wixted et al., 2018). Pracovní paměť tedy podle této definice používáme například při hraní pexesa – po otočení karty a zpracování obrázku na ní máme informaci o obsahu karty uloženou v pracovní paměti, a to, zda si ji zapamatujeme i dále, záleží na naší motivaci. Použití termínu pracovní paměť je v současnosti preferované před použitím termínu krátkodobá paměť, jelikož důraz zde není kladen na ohraničení časového úseku tohoto druhu paměti, ale na její funkci, kterou je uchování aktuálně potřebných informací (Wixted et al., 2018).

Koncepci dlouhodobé paměti ovlivňuje až dodnes model Atkinsona a Shiffrina z roku 1968. Tento model pracuje s propojeným systémem sensorického registru, krátkodobé<sup>1</sup> a dlouhodobé paměti, přičemž dlouhodobá paměť se od krátkodobé liší především ve způsobu, jakým jsou informace v ní uložené narušovány nebo ztráceny. Informace v dlouhodobé paměti jsou stabilnější než informace v krátkodobé paměti a jsou uchovány po podstatně delší dobu. Informace je podle modelu nejprve zakódována v krátkodobé paměti, odkud se přesouvá do dlouhodobé paměti. To, které informace se z krátkodobé paměti přesunou do dlouhodobé a které se ztratí, určují naše kontrolní procesy. Při rozpoznávání vnějších stimulů (například slov) musíme aktivovat informace předem uložené v dlouhodobé paměti, které se

---

<sup>1</sup> Autoři se sice zmiňují o funkci krátkodobé paměti jako „pracovní“ paměti, nicméně v článku používají výraz krátkodobá paměť.

tím přesunou do krátkodobé paměti – nepracujeme tedy jen s informacemi získanými zvnějšku pomocí sensorických registrů.

Je ale potřeba podotknout, že zmíněný způsob rozdělení není dogmatem a existují významné teorie, které poukazují spíše na sdílené principy všech „druhů“ paměti – příkladem může být model, který představili Brown et al. (2007). Tento model vychází z předpokladu, že fenomény zúčastňující se většiny důležitých paměťových procesů jsou si podobné, a to i přes různá časová měřítka. Těmito fenomény je zejména zapomínání a vybavování, které se podle autorů významně neliší v závislosti na délce uchování informace. Podle autorů jsou tyto předpoklady pro výzkum paměti užitečnější, než je předpoklad existence několika druhů paměti.

## 1.2 Fidelita paměti

Fidelitou paměti označujeme její detailnost či přesnost (Brady et al., 2013). Přesností se zde nemíní množství zapamatovaných informací, nýbrž to, jak dobře či detailně je každá informace uložena. Pokud si máme zapamatovat několik barevných obrazců, fidelita by odpovídala tomu, jak přesně dokážeme jejich barvu při následném vybavení určit, či jak přesně dokážeme daný tvar replikovat. V mnoha člancích (Suchow et al., 2014; Biderman et al., 2019; Miner et al., 2020) se pojmy „fidelita“ (angl. „fidelity“) a „přesnost“ (angl. „precision“) zaměňují.

### 1.2.1 Delayed estimation paradigm

V mnoha výzkumech zabývajících se zejména vizuální pamětí (Bays et al., 2009; Biderman et al., 2019; Fougne et al., 2010; Van Den Berg et al., 2012; Wilken & Ma, 2004; Zhang & Luck, 2008; Zhang & Luck, 2011) či pozorností (Asplund et al., 2014) je využíváno paradigma zvané „delayed estimation“ (oddálený odhad)<sup>2</sup>. Obecně řečeno při něm účastníci mají za úkol zapamatovat si určitý rys daného počtu objektů (např. jejich barvu). Poté mají tento rys z paměti rekonstruovat na určité spojité škále (např. určit barvu objektu na kole barev). Relevantními daty jsou vzdálenosti rekonstruované podoby rysu od jeho původní podoby (v článku Zhanga a Lucka (2008) se jedná o vzdálenost mezi původní barvou objektu

---

<sup>2</sup> Možný je také název „continuous-report paradigm“ (Biderman et al., 2019), odvozený od použití spojité škály.

a barvou, kterou účastníci určili na kole barev). Data jsou zpracována pomocí modelu, který je směsí dvou distribucí – pro data, která jsou pravděpodobně pouze náhodným hádáním účastníků, je použito uniformní rozložení, zatímco pro data, která skutečně pocházejí z paměťové reprezentace, je použito rozložení analogické Gaussovskému – často jde o von Mises rozložení (Zhang & Luck, 2008). Standardní odchylka normálního rozložení nenáhodných dat určuje jeho šířku, a představuje přesnost (fidelitu), s jakou si účastníci daný rys pamatovali.

Pro ilustraci, pokud si účastníci měli zapamatovat jistý odstín modré barvy (např. tyrkysovou), mohlo, ale také nemuselo dojít k paměťovému zpracování této informace. V prvním případě účastníci v následném úkolu zvolili na kole barev odstín modré do jisté míry podobný původnímu odstínu, z čehož vzniklo normální rozložení. Čím přesněji účastníci odstín barvy určili, tím bylo rozložení užší. V druhém případě zvolili na kole barev náhodnou barvu (například červenou), a šlo tedy o hádání, u něhož není měřena přesnost, z něhož vzniklo konstantní rozložení. U všech barev škály byla totiž stejná pravděpodobnost, že je účastník vybere. Podle Bae et al. (2014) mohlo právě zavedení tohoto paradigmatu přispět k přesunu pozornosti vědců ke zkoumání přesnosti (fidelity) vizuální paměti.

### **1.2.2 Srovnání fidelity pracovní a dlouhodobé paměti**

Pokud se přikloníme k modelu oddělujícímu pracovní a dlouhodobou paměť, můžeme očekávat, že se tyto dva druhy paměti budou lišit kromě délky uchování informací také ve fidelitě uchovaných informací. Pracovní paměť by mohla být více svázaná s percepcí než dlouhodobá paměť, jejíž obsah by mohl časem slábnout a mít spíše sémantickou než percepční povahu (Miner et al., 2020). Tento předpoklad se ale nepotvrdil v paměťovém experimentu, kterým autoři studovali fidelitu a míru zapamatování barev reálných objektů v percepci, pracovní a dlouhodobé paměti (Brady et al., 2013). Tyto objekty byly obarveny na náhodně zvolený odstín a ukázány účastníkům buď na jednu nebo tři sekundy. Při testování percepce měli účastníci možnost vidět objekt celou dobu, a na kole barev vybrat odpovídající odstín. Při testování pracovní paměti viděli najednou tři objekty, které poté zmizely a po jedné sekundě měli účastníci za úkol vybrat na kole barev jejich odstíny tak, jak si je pamatovali. Při testování dlouhodobé paměti byly účastníkům nejprve postupně ukázány stovky objektů a poté měli vybrat zapamatované barvy na kole barev.

Z výsledků vyplynulo, že fidelita pracovní paměti je velmi podobná fidelitě dlouhodobé paměti. Reprezentace barev objektů byla nejvýrazněji narušená při přechodu z vizuální percepce do krátkodobé paměti, nicméně s přidáváním více než tří objektů v krátkodobé paměti se vyskytl určitý limit fidelity, s jakou si barvy pamatují, podobný limitu v dlouhodobé paměti. Mezi pracovní a dlouhodobou pamětí byl podstatný rozdíl v množství zapamatovaných objektů (u testování dlouhodobé paměti účastníci častěji hádali náhodnou barvu), nicméně fidelita zůstala podobná u obou typů paměti.

Podobný výsledek byl zjištěn pomocí experimentu testujícího fidelitu dlouhodobé a pracovní paměti u nových, ale i známých objektů, jako jsou loga značek (Miner et al., 2020). Autoři zde tedy zkoumali také to, jak si účastníci pamatují objekty, jimž byli dlouhodobě opakovaně vystavováni. Zjistili, že vzpomínka v dlouhodobé paměti může mít podobnou fidelitu jako paměťová stopa pro jeden objekt, viděný před jednou sekundou. Velmi přesnou se ukázala být také paměť na objekty, kterým byli účastníci vystaveni opakovaně, ačkoli je neviděli i několik dní.

Ve studii replikující experiment Bradyho et al. (2013) nicméně nebyly dřívější výsledky potvrzeny (Biderman et al., 2019). Podle této studie měla pracovní paměť lepší fidelitu než dlouhodobá, a fidelita se navíc zhoršovala v závislosti na čase<sup>3</sup>. Podle autorů mohlo být toto zhoršování fidelity způsobeno mechanismy souvisejícími s časem, mezi které patří ztráta informací při přechodu z krátkodobé do dlouhodobé paměti a jejich rozklad v krátkodobé i dlouhodobé paměti. Podle autorů je ale také možné, že snížená fidelita ve studii nebyla způsobena těmito mechanismy, ale tím, že si lidé v experimentu pamatovali barvy spíše jako kategorie (žlutá, zelená), než jako spojitou proměnnou (odstín určité barvy). V tomto případě by měření fidelity nebylo odpovídající. Autoři se svými výsledky vymezili proti tvrzení, že limit fidelity je pro krátkodobou i dlouhodobou paměť shodný. Kritizovali také použití nedostatečně silného vzorku a nepřesvědčivých statistických metod v experimentu Bradyho et al. (2013).

---

<sup>3</sup> To nemusí znamenat, že příčinou zhoršení fidelity je přímo čas (Biderman et al., 2019).

### 1.2.3 Struktura pracovní paměti

Výsledky výše popsaných studií (Biderman et al., 2019; Brady et al., 2013) se vztahují nejen k debatě o samotné fidelitě paměti, ale také k obecnější debatě o struktuře paměti. Strukturu paměti popisuje několik modelů, z nichž nejvýznamnějšími jsou v současné době pravděpodobně modely „slots“ (slotů) a „pool of resources“ nebo „flexible resource allocation“ (alokace zdrojů).

### 1.2.4 Model slotů

První z těchto významných modelů pracuje s předpokladem, že pracovní paměť funguje na základě omezeného počtu slotů – okének (Zhang & Luck, 2008). Tyto sloty se buď zaplní jednou informací, která je s určitou konstantní přesností zpracována, anebo zůstanou prázdné – pracují tak s principem „vše nebo nic“. Pokud počet informací, jež mají být zpracovány, překročí počet slotů, zpracuje se pouze část informací, a to v plném rozlišení. Ostatní informace nejsou zpracovány vůbec, nevzniknou tedy jejich paměťové reprezentace. Tato teorie pracuje s fixním horním limitem informací, jejichž reprezentace je možné si v pracovní paměti vytvořit (Zhang & Luck, 2008).

Zhang a Luck (2008) provedli experiment, který interpretují jako podporující model slotů. Použili paradigma oddáleného odhadu, přičemž stimuly byly sety jednoho až tří nebo šesti barevných čtverců. Ty byly krátce předloženy účastníkům, kteří si následně měli vybavit jejich barvy z pracovní paměti. Ukázalo se, že limit počtu čtverců, které si účastníci pamatovali, se pohyboval okolo tří, a tyto čtverce byly zapamatovány s dobrou přesností. O zbytku čtverců si účastníci pravděpodobně žádné informace nezapamatovali. Přesnost vybavení se navíc zvýšila, pokud se počet předložených čtverců snížil pod daný limit. Při přidání více než tří čtverců zůstávala přesnost u zapamatovaných čtverců konstantní.

Ve studii nicméně autoři neobhajují přímo původní model slotů, nýbrž prezentují dva upravené modely slotů, zvané „slot+resources“ a „slot+averaging“. Ve „slot+resources“ modelu je paměťový výkon omezen jak počtem slotů, tak množstvím zdrojů. V takovém modelu by bylo možné měnit množství zdrojů v jednotlivých slotech, ale počet zpracovaných informací by nepřekročil počet slotů. Jinými slovy, přesnost zpracování informací při nízkém počtu zpracovaných informací se může lišit, ale při zaplnění všech slotů zůstává u každého slotu stejná.

Druhý „slot+averaging“ model popisují Zhang a Luck (2008) jako určitý počet krabiček s tekutinou, tedy slotů s daným množstvím zdrojů, které mohou být použity pro reprezentaci objektů. Důležité je, že pro jeden objekt může být použito libovolné množství dostupných slotů, a jeden objekt tedy může být reprezentován například třemi sloty. Z těch při vybavení získá průměr informace, což může vést ke zvýšení přesnosti paměťové reprezentace daného objektu.

Tyto modely se navzájem liší především ve flexibilitě, s jakou se může přesnost měnit, pokud je počet objektů pod limitem tří. „Slot+resources“ model povoluje, aby byla informace zakódována s velmi malým množstvím zdrojů, zatímco podle „slot+averaging“ modelu je v každém slotu fixní množství zdrojů, a přesnost zakódování informace není nikdy nižší než odpovídající tomuto množství zdrojů. Doplnkové experimenty ve studii ukázaly, že model „slot+averaging“ je pravděpodobnější. Pro oba zmíněné modely pak platí, že při snížení počtu objektů k zapamatování pod maximální počet slotů se zvýší přesnost reprezentace. Autoři poukazují na to, že koncept zdrojů (resources) nelze zcela vyloučit také proto, že sloty samotné jsou typem zdroje. Existuje ale podle nich fixní limit toho, jak flexibilní může přerozdělování zdrojů být.

Je zde také možnost, že lidé strategicky přerozdělují své zdroje tak, aby v pracovní paměti ukládali menší počet informací s vyšší fidelitou, ačkoli by to mohli udělat naopak (Zhang & Luck, 2011). Experiment provedený Zhangem a Luckem (2008) by tedy nutně nedokazoval model slotů v pracovní paměti. Podle autorů se po dosažení limitu tří objektů ani po přidávání dalších objektů nezvýšil počet zapamatovaných a jejich přesnost zůstala stejná, což poukazuje na určité konečné množství slotů. Studie by ale nutně nevyvracela ani „pool of resources“ model paměti, pokud by účastníci zaujali strategii přesouvání zdrojů na menší množství objektů, zakódovaných s větší přesností. Tímto problémem se zabývali Zhang a Luck (2011). V experimentu se různými způsoby snažili motivovat účastníky k tomu, aby si zapamatovali co největší množství objektů i za cenu snížené přesnosti (např. upravili barevné kolo tak, že bylo možné zaznamenat jen málo přesnou odpověď). Ukázalo se, že lidé i při silné motivaci počet zapamatovaných objektů na úkor kvality reprezentace nezvýšili nad limit tří. Autoři interpretují výsledky jako podporující model slotů – pokud by účastníci

mohli zvýšit počet zapamatovaných objektů nad počet slotů i za cenu snížené kvality, pravděpodobně by to při silné motivaci dělali.<sup>4</sup>

### 1.2.5 Model alokace zdrojů

Dalším významným modelem je „pool of resources“ (model alokace zdrojů). Kapacita pracovní paměti zde reprezentuje omezené množství zdrojů, které ale lze flexibilně využívat (Zhang & Luck, 2011). Pokud použijeme více zdrojů na zakódování menšího množství objektů, budou tyto zapamatovány s větší přesností. Pokud ale kódujeme velké množství objektů, bude jejich paměťová reprezentace málo přesná (Zhang & Luck, 2011). Bays et al. (2009) ve své studii kritizují článek Zhanga a Lucka (2008), který je interpretován jako důkaz o modelu slotů. Účastníci si podle nich během experimentu nepamatovali pouze barvy objektů, ale také jejich pozice. Pokud si tedy špatně zakódovali pozici objektů, mohlo to vést k nadbytečným chybám v přiřazování jejich barev, které by minimálně zčásti vysvětlovaly výsledky popsané ve studii Zhanga a Lucka (2008). Model alokace zdrojů by nicméně se zvýšením množství informací předpovídal nárůst chyb jak pro barvu, tak pro pozici objektů (Bays et al., 2009). Autoři navíc ve vlastním experimentu zaznamenali, že účastníci častěji dávali náhodné odpovědi, pokud si měli zapamatovat dva objekty místo jednoho. To neodpovídá modelu slotů, ve kterém by až do dovršení limitu slotů nemělo správné zapamatování informace záležet na počtu zpracovávaných informací (Bays et al., 2009).

Jak lze vidět, fidelita hraje ve sporu o modely pracovní paměti významnou úlohu. Pokud by paměť fungovala podle modelu slotů, fidelita by se neměla zvyšovat nebo snižovat na základě počtu zpracovávaných informací, dokud tedy jejich počet nepřekročí počet slotů (Bays et al., 2009). Pokud máme tři paměťové sloty, neměla by se přesnost zapamatování informací změnit, ať máme k dispozici jen jednu nebo tři informace. V případě jedné informace se zaplní jen jeden slot, ostatní zůstanou prázdné. Opačný případ by nastal, pokud by paměť fungovala na základě flexibilní alokace zdrojů. Se zvyšujícím se množstvím zapamatovaných informací by zbývalo pro každou informaci stále méně zdrojů, a tak by se přesnost zapamatované informace snižovala (Bays et al., 2009).

---

<sup>4</sup> Stále ale podle autorů platí, že i ve slot modelu může být míra přesnosti flexibilní, pokud jde o objekty nacházející se pod limitem slotů (Zhang a Luck, 2011).

### 1.2.6 Alternativní model

Brady et al. (2013) ve své studii prezentují třetí model, odlišný od základních modelů slotů a alokace zdrojů. Limit pro fidelitu společný krátkodobé i dlouhodobé paměti by podle nich mohl odkazovat na jakousi horní hranici toho, jak málo přesné mohou reprezentace v paměti být, pokud mají být ještě zpracovány. Jinými slovy, pokud jsou reprezentace v paměti tak narušené, že tohoto limitu nedosahují, nemohou již být zapamatovány. To, že se v experimentu Zhanga a Lucka (2008) vyskytl určitý limit počtu objektů, do kterého se fidelita reprezentace snižovala, a s přidáváním dalších objektů zůstávala konstantní, nemusí nutně odkazovat na horní hranici počtu objektů, které je možné ukládat. Podle autorů může jít například o nemožnost vybavení si objektů, které mají příliš nízkou fidelitu.

Studie Bradyho et al. (2013) se zabývala také otázkou, zda se velká část informací jednoduše neztratí při zakódování z percepce do krátkodobé paměti, kde dále zachované informace nejsou nijak narušovány, a poté tyto informace a jejich přesnost „nezdědí“ dlouhodobá paměť (inherited-precision). Například při pohledu na horskou scénu, od které následně odvrátíme zrak, by se některé informace (plot, řeka) ztratily již při přechodu z percepce do krátkodobé paměti, zatímco jiné (hory, obloha a les) by se dostaly již nenarušené a stejně přesné jako v krátkodobé paměti do dlouhodobé paměti. Proto autoři v další části experimentu nechali účastníky zapamatovat si jen jeden objekt jak v pracovní, tak v dlouhodobé paměti. Zde se ale fidelita pracovní a dlouhodobé paměti neshodovala, účastníci si jej vybavovali přesněji z pracovní paměti. To podle autorů dokazuje, že přesnost barvy zapamatované v dlouhodobé paměti není dána při zakódování do pracovní paměti.

### 1.2.7 Kritika dichotomního rozdělení

Ačkoli rozdělení modelů paměti do dvou kategorií usnadňuje vedení obecné diskuze o struktuře paměti, někteří autoři, jako například Suchow et al. (2014), jej považují za přílišné zjednodušení. Kvůli snaze o dichotomní rozdělení se podle nich zapomíná na podstatné problémy, mezi které patří vysvětlení samotné existence horní hranice počtu objektů, jejichž paměťová reprezentace může být vytvořena, nebo flexibility, se kterou jsou přerozdělovány paměťové zdroje. Velké množství článků zamítá na základě důkazů o jedné komponentě paměti celý paměťový model, a přehlíží tak to, že problém paměti nemusí být holistický,

nýbrž může být složen z několika základních problémů (Suchow et al., 2014). To podle autorů zpomaluje reálný pokrok v budování nových, obsáhlejších modelů paměti.

### **1.2.8 Kapacita krátkodobé paměti**

Debata ohledně limitů fidelity souvisí také s debatou ohledně kapacity krátkodobé paměti – v jejím centru stojí důkazy o tom, zda se při dovršení kapacity krátkodobé paměti fidelita snižuje, či nikoli. Od tohoto limitu se také odvíjí počet objektů prezentovaných účastníkům během experimentů s krátkodobou pamětí. Na počátku výzkumů kapacity krátkodobé paměti stojí George A. Miller (1956) se známým „magickým číslem sedm“, označujícím počet kusů informace, které si lidé mohou v krátkodobé paměti uchovat. Toto slovní spojení bylo nicméně použito spíše jako řečnický obrat (Cowan, 2001). Následné výzkumy a teorie operují spíše se třemi až pěti kusy informace, toto číslo je nicméně diskutabilní také kvůli tomu, že se objevuje spíše jen v laboratorních experimentech, a v reálném světě lidé dokáží používat strategie zvyšující počet zpracovaných informací (Cowan, 2001).

Existence limitů pracovní paměti by mohla svádět k jejich vysvětlování na základě určité „hardwarové nedokonalosti“ mozku. Lze na ně ale nahlížet naopak jako na řešení problému přehlcení informacemi (Watzl, 2017). Abychom mohli adekvátně reagovat a zároveň si zachovali flexibilitu chování, musíme některé z obrovského množství stimulů kolem nás prioritizovat a jiné upozadit. Naší nejvyšší prioritou by mělo být jen omezené množství stimulů, aby nedošlo k zahlcení informacemi a na ně navazujícími možnostmi chování. Limitovaná kapacita pracovní paměti by mohla sloužit jako pojistka pro omezení množství prioritizovaných informací (Watzl, 2017).

### **1.2.9 Kapacita dlouhodobé paměti**

Vzhledem k tomu, že pracovní paměť má relativně nízký limit kapacity, dalo by se intuitivně předpokládat, že dlouhodobá paměť, udržující tisíce objektů, bude velmi nepřesná a náchylná k chybám. Experiment Bradyho et al. (2008) by ale mohl tento předpoklad vyvracet. Účastníci zde během 5.5 hodiny viděli 2500 fotografií objektů z několika kategorií, každou po 3 sekundy. Následně byly účastníkům předloženy vždy dvě fotografie objektů, ze kterých měli vybrat ten, který předtím studovali. Nestudovaným objektem byl buď zcela nový objekt z nestudované kategorie, nový objekt ze studované kategorie, anebo stejný objekt se změněným vzhledem (např. stejná skříň s otevřenými dveřmi místo zavřených).

Správnost odpovědí ve všech těchto možnostech byla překvapivě vysoká, přičemž nejnižší byla u studovaného objektu se změněným vzhledem (87 %). Tyto výsledky ukazují, že účastníci si i při uchovávání reprezentací objektů v řádu tisíců tyto objekty uchovávají s určitou mírou detailu, umožňující rozlišit i změny v jejich vzhledu.

K podobnému výsledku došel i experiment používající jako stimuly přirozené scény na fotografiích (Konkle et al., 2010). Autoři zde nejprve účastníkům ukázali téměř 3000 fotografií ze 128 různých kategorií, každý po 3 sekundy. Následně jim byly ukázány vždy dvě fotografie, jedna dříve studovaná a jedna nová, přičemž nová fotografie byla buď ze stejné, nebo jiné kategorie než studovaná fotografie. Účastníci měli vybrat dříve studovanou fotografii. Pokud byla nestudovaná fotografie z nové, nestudované kategorie, byla správnost odpovědí velmi vysoká (96 %). Pokud nestudovaná fotografie zobrazovala kategorii, která byla ve studovaných fotografiích často zastoupená, správnost odpovědí klesla až na 76 %, nicméně i toto procento naznačuje, že si účastníci pamatují 3000 fotografií překvapivě dobře a s mírou detailu podstatnou pro rozlišení fotografií ze stejné kategorie. Autoři uvádějí, že této míře zapamatování může napomocť právě to, že si účastníci objekty zařazují do kategorií. Ukazuje se tak, že vrchní limit kapacity vizuální dlouhodobé paměti i její fidelity je pravděpodobně velmi vysoký. Je ale třeba zmínit, že oba tyto experimenty pracují s rekognicí, tedy rozpoznáním objektů. Je možné, že vybavení objektů z paměti bez srovnání s vnějším podnětem (například tím, že je účastníci nakreslí) by neposkytlo natolik optimistické výsledky.

### **1.3 Change blindness**

Při zkoumání limitů paměti se nepoužívají jen úkoly, vedoucí ke změření toho, co si lidé jsou ještě schopni zapamatovat, ale zkoumají se také případy, kdy paměť selhává. Z každodenní zkušenosti můžeme získat dojem, že je naše vizuální percepce a vizuální paměť velmi detailní a jakékoli změny v prostředí jednoduše odhalí. Pamatujeme si ale objekty a scény skutečně tak přesně, jak nám říká naše zkušenost? Experimenty, rozebírané v předchozí části (Brady et al., 2008; Konkle et al., 2010), by tento dojem mohly podpořit – naznačují, že jsme schopni mít v paměti poměrně detailní reprezentace velkého množství objektů či scén, které jsme viděli jen jednou po dobu několika sekund. Bylo nicméně vytvořeno množství studií, ze kterých můžeme vyvodit opak. Tyto studie se zabývají

fenomémem „change blindness“ (slepoty ke změně). V těchto experimentech jsou většinou účastníci instruováni, aby sledovali, zda se na určitém stimulu něco nezmění. Následně jsou na změnu dotázáni. Pokud přímo nesledují, jak se stimulus mění, a jejich plná pozornost není přímo upřena na daný objekt, všimnou si změny jen ve velmi málo případech (Wolfe et al., 2006). Tento efekt je často překvapivý, jelikož je neintuitivní – lidé mají většinou subjektivní pocit, že vnímají všechny vizuální informace, ke kterým mají v danou chvíli přístup (Rosielle & Scaggs, 2008).

### **1.3.1 Experimenty zkoumající slepotu ke změně**

Rosielle a Scaggs (2008) zkoumali pomocí experimentu, zda si lidé všimnou podstatných změn v prostředí, které je jim důvěrně známé (a jehož vizuální reprezentaci by tedy měli mít uloženou v dlouhodobé paměti). Vysokoškolským studentům autoři ukázali fotky jejich kampusu, přičemž na některých z nich byly podstatné změny (například odstraněná budova knihovny). Druhé skupině vysokoškolských studentů změny ukázali a zeptali se jich, jak těžké by pro ně bylo si dané změny všimnout. Ačkoli účastníci místa na fotografii poznávali, nevšimli si po 20 sekundách 81 % změn, a existovala silná korelace mezi očekávanou a reálnou obtížností zpozorování dané změny. Tyto výsledky naznačují, že si lidé v každodenním životě pravděpodobně nezapamatují příliš mnoho detailů scén, které vidí, pokud k tomu nejsou výslovně motivováni.

Wolfe et al. (2006) vytvořili sérii experimentů, jimiž zkoumali vliv limitů selektivní pozornosti a vizuální krátkodobé paměti na neschopnost účastníků všimnout si výrazných změn ve vizuálních stimulech. K prvnímu experimentu použili zelená a červená kolečka náhodně rozložená na displeji, z nichž u jednoho se po 500-1000 milisekundách po zobrazení objevilo vodítko naznačující, že u něj nastane změna. Zároveň s vodítkem mohlo kolečko změnit svou barvu. Účastníci měli uvést, zda se barva kolečka změnila. V tomto relativně jednoduchém úkolu byli účastníci úspěšní pouze v 55 % případů. Tyto výsledky naznačují, že ačkoli účastníci vidí několik stimulů, v krátkodobé paměti mají uchovány informace pouze o několika z nich. V dalším z experimentů měli účastníci nejprve určit barvu několika koleček (čímž bylo zajištěno, že na ně upřeli pozornost) a poté bylo jedno kolečko zamaskováno a účastníci měli uvést, jakou barvu původně mělo. Pokud bylo dané kolečko jedním z posledních, na jejichž barvu upřeli pozornost, správnost odpovědí se

zvedla na 80 %. Pokud ale byla před dotazem na dané kolečko pozornost upřená na 4 a více jiných koleček, správnost odpovědi se pohybovala jen okolo 50 %. V jiném ze série experimentů použili Wolfe et al. (2006) fotografie scén z reálného světa s několika smysluplnými objekty. Po 500 milisekundách prohlížení scény byl jeden z objektů zakryt a účastníci měli poté vybrat ze seznamu objektů ten, o který šlo. Použití reálných scén, které měly předvídatelnější strukturu a smysl než geometrické tvary, ale zvýšilo úspěšnost jen nepatrně.

### **1.3.2 Možná vysvětlení slepoty ke změně**

Bylo navrženo několik teorií, snažících se fenomén slepoty ke změně vysvětlit. Jeden z modelů (Brady et al., 2009) spojuje zdánlivě neslučitelná zjištění o tom, že v dlouhodobé paměti uchováváme velký počet reprezentací objektů či scén s pravděpodobně poměrně vysokou mírou detailu – a zároveň, na základě studií popisujících „change blindness“, můžeme předpokládat, že počet informací v naší paměti je velmi nízký. Brady et al. (2009) navrhuje, že nízká míra zaregistrování velkých změn ve vizuálních stimulech nemusí být způsobena limity paměti, ale tím, že si účastníci potřebné informace vůbec nezakódují, a tyto se pak do paměti ani nedostanou. To by mohlo být způsobeno příliš krátkým zobrazením stimulu, který si účastníci neměli čas dostatečně zakódovat, nebo nedostatkem pozornosti upřené na potřebné detaily stimulu. Ve studii pak pomocí experimentu autoři dokázali, že při poskytnutí dostatečného času na zpracování stimulu (zde reálných objektů až na 3 sekundy) se efekt „change blindness“ nemusí vyskytnout. Oproti tomuto tvrzení lze ale postavit teorii pracující s předpokladem, že „change blindness“ není slepotou, tedy defektem zpracování vizuálního podnětu, ale amnézií – nedostatkem v paměti, kdy lidé zapomínají informace, kterým v dané chvíli nevěnují pozornost (Wolfe, 1999).

Wolfe et al. (2006) představují ve své studii teorii, podle které jsou nezaregistrované změny a naše překvapení, když se o nich dozvíme, výsledkem systému dvou drah vedoucích od vizuálního vstupu k samotné vizuální zkušenosti. První ze drah nazývají autoři „selektivní“, a je zodpovědná za operace limitované na malé množství objektů (například rozpoznávání). Druhá, neselektivní dráha sice do určité míry zpracovává celé vizuální pole, ale toto zpracování je velmi limitované. Během zpracování vizuálních podnětů selektivní dráhou se pak objevují dvě limitace, vedoucí k fenoménu „change blindness“ – tou první je, že pro

rozpoznání objektů je nutné na ně upřít pozornost. Druhou limitací je rozsah vizuální pracovní paměti, pohybující se okolo 4 objektů. To, že nás efekt „change blindness“ překvapí, je způsobeno neselektivní dráhou, která vizuální informaci do určité míry zpracovává a dává jí celkový smysl. Díky tomu máme dojem, že plně rozumíme tomu, co před sebou vidíme.

Jiné vysvětlení (Rosielle & Scaggs, 2008) poukazuje na nutnost během úkolů demonstrujících „change blindness“ držet ve vizuální pracovní paměti aktivní dva obrazy, aby mohlo dojít k jejich srovnání. Abychom tak například našli rozdíl mezi dvěma fotografiemi, přičemž aktivně vidíme jenom jednu z nich, musíme držet v pracovní paměti dvě reprezentace. Podle autorů by potíže s udržením dvou aktivních reprezentací v pracovní paměti mohly být způsobeny tím, že v reálném světě k takovým změnám, jaké se dějí během experimentů, nedochází. Objekty v reálném světě jsou relativně konstantní a nestávají se, že by například během několika vteřin zmizela budova. Vizuální systém tedy nemusí být na takové typy úkolů dobře vyvinut.

## **1.4 Barevné prostory**

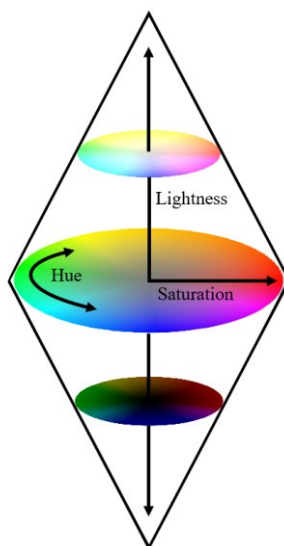
Podle Bays et al. (2009) je paradigma oddáleného odhadu za použití barev klíčovým paradigmatem v debatě o modelech paměti. Barvy v experimentech musí být reprezentovány v určitém barevném prostoru, aby bylo možné určit jejich matematické souřadnice. Ve studii Zhanga a Lucka (2008) byl například použit barevný prostor CIE  $L^*a^*b^*$ , a to tak, že z něj autoři získali kolo barev odlišené odstínem (hue) s konstantní světlostí (luminance). V této části práce budou představeny dva nejrelevantnější barevné prostory.

### **1.4.1 HSV/HSL**

Barvy v prostorech HSV a HSL jsou podle Žáry et al. (2004) definovány třemi parametry: barevným tónem či odstínem (hue, H); sytostí barvy (saturation, S) a jasem či světlostí (value, V nebo lightness, L). Tento prostor je zjednodušeně ilustrován Obrázkem 1. Odstín (hue) se mění v závislosti na tom, která vnímaná vlnová délka je v danou chvíli dominantní (Poynton, 2005). Saturace se dá popsat jako čistota barvy. Barva s nejnižší saturací je šedá, nejvyšší saturace představuje čistý odstín. Světlost (lightness) vypovídá o tom, k jakému ze série stupňů šedi jdoucí od černé k bílé můžeme barvu přirovnat (Berns, 2019). Podle Žáry

et al. (2004, s. 28) si “zvýšení světlosti při nezměněné sytosti lze představit jako přidání jistého množství bílých a ubrání stejného množství černých pigmentů”. Jas (value) je dán množstvím přidaného bílého světla (Žára et al., 2004)

Prostory HSV a HSL se liší také svým tvarem. Zatímco HSV má tvar jehlanu, jehož podstava je nejsvětlejší a vrchol nejtmaší, prostor HSL má tvar dvou spojených kuželů, což lépe odpovídá skutečnosti, že nejvíce barev dokážeme rozlišit při určité průměrné světlosti (Žára et al., 2004). Horní vrchol kuželu je přesvětlený, tedy rozlišíme velmi málo barev, zatímco dolní vrchol kuželu je tmavý, což také vede k rozlišení jen malého množství barev.



Obrázek 1: Barevný prostor HSL, zjednodušeno.

#### 1.4.2 RGB

Barevný prostor RGB je tvořen třemi složkami – červenou, zelenou a modrou barvou, a je vhodný zejména při použití pro obrazovky zařízení (Žára et al., 2004). Každý pixel na obrazovce lze popsat kombinací různých intenzit každé z těchto tří barev světla, čímž dokážeme zobrazit velké množství dalších barev (Hughes et al., 2014). Bílou barvu vytvoříme složením všech tří barev světla v jejich plné intenzitě; při snižování intenzity a zachování konstantního poměru všech tří barev se dostáváme přes stupně šedi až k černé (Žára et al., 2004). Jako každý barevný prostor, ani RGB není vhodný pro všechny účely –

například při vybírání přesné barvy je limitující nemožnost dostatečně ovlivnit saturaci a světlost barvy (Hughes et al., 2014).

## 2 Empirická část

Pro zodpovězení výzkumných otázek a ověření hypotézy, uvedené v úvodu práce, byla provedena studie, skládající se ze dvou hlavních částí. První část zjišťovala očekávání účastníků o barvách objektů na použitých fotografiích. Druhou částí byl paměťový experiment, měřící přesnost, s jakou účastníci rekonstruují barvy objektů na fotografiích, vybavené z pracovní paměti. Vedlejší částí byla příprava a hodnocení datasetu, používaného během celé studie.

### 2.1 Příprava a hodnocení datasetu

#### 2.1.1 Úvod

Ve všech částech provedené studie byl použit stejný dataset, původně obsahující 93 fotografií, pocházejících z webu Unsplash, který je nabízí k volnému využití bez nutnosti jmenovat autory. Tyto fotografie zobrazovaly venkovní i vnitřní scény a zátiší bez lidských postav, obličejů a zvířat – například pole, koupelnu nebo dětské hračky. Každá fotografie byla ořezána na velikost 512x512 pixelů. Na fotografiích bylo vždy několik objektů s jasně rozeznatelnou barvou. Barvy nicméně nepokrývaly celé objekty nutně ve stejném odstínu, což by znemožňovalo jejich následné objektivní změření. Každý objekt byl proto znovu vybarven (kolorován) průměrem odstínů všech pixelů, které mu náleží (Obrázek 2). Odstínem je myšlen parametr barvy, jenž se v angličtině nazývá „hue“. Další dva parametry barvy – její saturace a světlost – zůstaly na každém pixelu v původní hodnotě, proto výsledné kolorované oblasti působí věrohodně a jsou v nich zachovány odlesky, stíny a barvy jsou různě saturovány.



Obrázek 2: Příklad původní fotografie (vlevo) a její kolorované verze (vpravo).

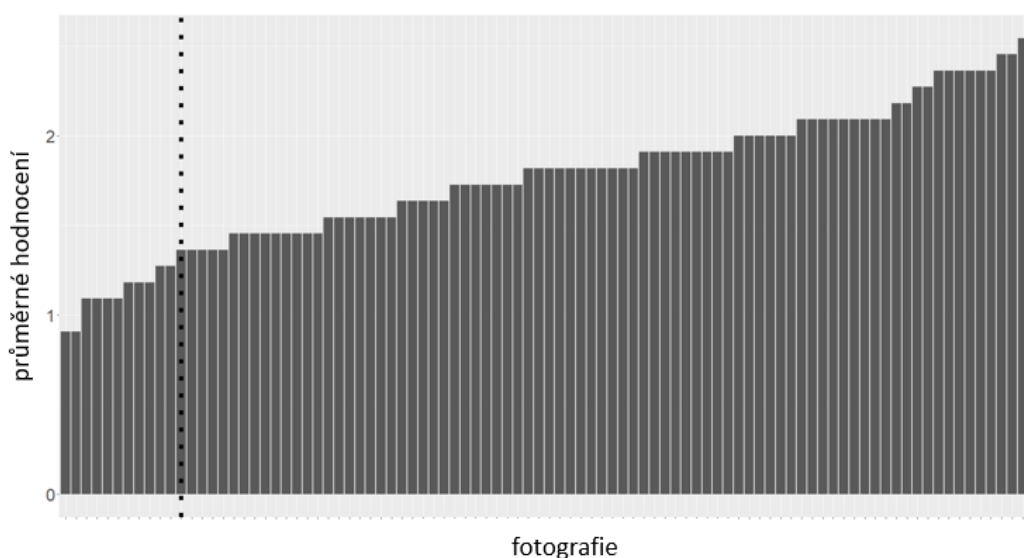
Aplikováním průměrné barvy jednotlivých oblastí původní fotografie na černobílou verzi fotografie byly získány kolorované verze fotografií. Účastníci v následných experimentech by ale neměli být schopni rozpoznat, že s kolorovanou fotografií bylo nějakým způsobem manipulováno – měli by ji vnímat jako běžnou fotografii. Je možné, že u některých fotografií nebylo kolorování příliš povedené, a z těchto fotografií pak může být zjevné, že s nimi bylo manipulováno. To by mohlo mít nežádoucí vliv na jejich pozdější zapamatování či vybavení z paměti. Proto byla přirozenost fotografií hodnocena vzorkem účastníků.

### **2.1.2 Metoda**

Fotografie hodnotil příležitostní vzorek 11 účastníků, oslovených skrze e-mail. Nebyly sbírány jejich demografické údaje. Hodnocení probíhalo online, účastníci k němu použili vlastní zařízení. Stimuly byl dataset 93 fotografií o velikosti 512x512 pixelů, zobrazených na bílém pozadí. Úvodní instrukce zněly takto: „Postupně uvidíte 90-100 fotografií. U každé z nich ohodnoťte na škále od 1 do 4, jak moc její barvy působí přirozeně (jako na běžné fotografii) nebo nepřirozeně (jako na upravované fotografii). Úkol vám zabere přibližně 10 minut.“. Po přečtení instrukcí účastníky se pro ukázkou zobrazil příklad fotografie, která nebyla zařazena do datasetu, a její kolorované verze. Následně mohli účastníci hodnotit samotné fotografie. Zobrazila se vždy jedna fotografie uprostřed obrazovky se čtyřmi tlačítky na spodní straně obrazovky – škálou „1 (upravovaně)“ – „2 (spíše upravovaně)“ – „3 (spíše přirozeně)“ – „4 (přirozeně)“. Pro další zpracování byly výsledky kódovány na škále 0-3. Nad fotografií byla zopakována instrukce: „Jak přirozeně fotografie vypadá?“. Po ohodnocení se automaticky ukázala další fotografie. Na horní straně obrazovky byl ukazatel množství dokončených hodnocení fotografií. Pořadí fotografií bylo náhodné, každý účastník viděl každou fotografii právě jednou a hodnotil celý dataset.

### 2.1.3 Výsledky

Hodnocení 93 fotografií na škále od 0 do 3 bylo pro každou fotografii zvlášť zprůměrováno a poté seřazeno. Po seřazení bylo na základě vizuálního posouzení vybráno 12 fotografií s nejnižším průměrným hodnocením, tedy nejčastěji považovaných za upravené. Ty byly z datasetu odstraněny. Průměr hodnocení fotografií byl 1.77, s mediánem 1.82. Hodnocení 93 fotografií trvalo účastníkům průměrně 7,3 minuty.



*Graf 1: Průměr hodnocení pro každou fotografii zvlášť, seřazený od nejnižšího (fotografie hodnocená jako nejvíce upravená) po nejvyšší (fotografie hodnocená jako nejvíce přirozená). Nejhůře hodnocené fotografie v oblasti s nejstrmějším sklonem byly vyřazeny.*

### 2.1.4 Diskuze

Díky ohodnocení kolorovaných fotografií byly z datasetu odstraněny ty, které na účastníky působily nejvíce upraveně, a v následných experimentech by mohly být problematické. Zřejmá upravenost či nepřirozenost obrázku by mohla zasahovat do způsobu, jakým si účastníci fotografie ukládají do paměti (například pokud by svou pozornost namísto sledování celé fotografie zaměřili na špatně kolorovanou oblast). Při bližším prozkoumání nejhůře hodnocených fotografií je zřejmé, že účastníci hodnotili nejhůře fotografie, na kterých byla větší oblast s výrazně saturovanou barvou, která se nicméně objevovala i na původních fotografiích před kolorováním (Obrázek 3), a dále fotografie, na kterých byl větší počet oblastí, jež nebyly kolorovány a byly ponechány černobílé. Účastníci si tak pravděpodobně na většině fotografií kolorování nevšimli, pokud bylo provedeno v rozsahu

celé fotografie, a jako „nepřirozené“ hodnotili i ty fotografie, které působily nepřirozeně i před kolorováním.

Potenciální problém v prezentovaném hodnocení mohl nastat v tom, že pojem „upravený“ nebo „nepřirozený“ mohou mít účastníci spojen s jiným způsobem upravování fotografie (například přebarvováním objektů na zcela nepřirozenou barvu či použitím filtrů). Tato nedorozumění byla nejméně zčásti eliminována předložením příkladů toho, jak v tomto případě vypadá upravená a neupravená fotografie. I přesto ale mohlo u některých účastníků dojít k nepochopení, což mohlo ovlivnit výsledky. Obecně mohla být problematická sama nezvyklost úlohy – většina účastníků pravděpodobně nikdy nehodnotila fotografie na základě jejich přirozenosti. Pro účely následných experimentů nicméně možné problémy se zadáním nemusí být tolik podstatné. Fotografie, označenou za nepřirozenou i z jiných důvodů, než jen kvůli jejím barvám, je žádoucí z datasetu vyřadit.



Obrázek 3: Vlevo příklad dvou nízkohodnocených fotografií s vysoce saturevanými barvami, vpravo příklad dvou nízkohodnocených fotografií s větší nekolorovanou plochou.

## 2.2 Měření očekávání barev na fotografiích

### 2.2.1 Úvod

Cílem této části práce bylo zjistit přesnost shody na očekávaných barvách objektů na použitých fotografiích. U některých z těchto objektů lze předpokládat vysokou přesnost shody na určité barvě mezi všemi účastníky; příkladem takového objektu může být obloha, u které pravděpodobně každý vybere nějaký odstín modré barvy. U některých objektů se naopak účastníci nebudou na barvách příliš shodovat – příkladem takového objektu, u kterého bude přesnost shody velmi nízká, je polštář, který může mít prakticky jakoukoli barvu. Vzorek účastníků v této části studie vybarvil černobílou verzi fotografií z datasetu bez nápovědy, tedy podle vlastního uvážení (část „vybarvování“).

### **2.2.2 Metoda**

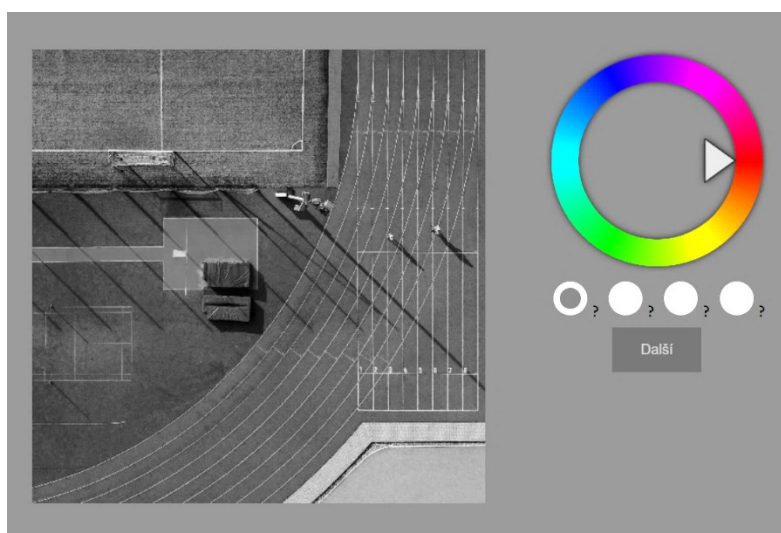
Účastníky této části studie byli studenti psychologie z Filozofické fakulty Univerzity Karlovy ( $N=31$ ) a Pedagogické fakulty Univerzity Karlovy ( $N=31$ ). Žádné další demografické údaje nebyly sbírány. Tito účastníci byli osloveni svými vyučujícími a za účast na experimentu obdrželi zápočet. Žádný z účastníků se předtím neseťkal s fotografiemi, použitými pro tuto část studie. Vybarvování probíhalo online a účastníci k němu použili vlastní zařízení. Na začátku byli instruováni, aby k vybarvování nepoužívali mobilní zařízení, ale počítače, a to jak z důvodu velikosti obrazovky, tak jednoduchosti a přesnosti ovládání. Dále byli účastníci instruováni, aby si nastavili jas obrazovky tak, aby pohodlně rozeznali všechny barvy. Před začátkem experimentu byli také dotázáni na to, zda netrpí barvoslepostí. Ačkoli nebyl úkol časově omezen, účastníci byli instruováni, že zabere přibližně 40 minut. Dále byli před začátkem účastníci srozuměni se záměrem celého experimentu, přičemž důraz byl kladen na to, že se mají pokusit fotografie vybarvit tak, jak si představují, že by mohly v realitě vypadat. Následně byly účastníkům prezentovány instrukce k ovládání, přičemž ovládání si poté také vyzkoušeli na fotografii, která nebyla zařazena do datasetu.

### **Stimuly**

K vybarvování byl použit dataset 40 fotografií, nebyly tedy použity fotografie vyřazené po předchozí části experimentu (hodnocení fotografií) a dále fotografie, které po zvážení nesplňovaly podmínky pro zařazení do studie (neobsahovaly dostatečné množství oblastí k vybarvování, případně obsahovaly příliš mnoho černých nebo bílých oblastí). Každá fotografie obsahovala minimálně 4 a maximálně 8 oblastí k vybarvení. Těmito oblastmi byly jak rozpoznatelné objekty v popředí (např. květináč), tak pozadí (např. obloha). Fotografie měly velikost 512x512 pixelů a byly zobrazeny na šedém pozadí.

## Průběh

Na obrazovce se vždy zobrazila jedna fotografie ve stupních šedi (Obrázek 4). Saturace a světlost pixelů fotografie zůstala stejná jako na barevné fotografii, odstraněn byl pouze odstín (hue). Vedle fotografie byla umístěna tlačítka, přičemž každé z nich odpovídalo jedné její oblasti. Po kliknutí myši na tlačítko odpovídající oblast krátce blikla a účastník mohl na kole barev, umístěném vedle fotografie, vybrat barvu oblasti dle vlastního uvážení. Oblast se obarvila zvolenou barvou. Účastníci museli na kole barev pohnout kurzorem, aby byla oblast započítána jako vybarvená. Po obarvení všech oblastí mohl účastník pokračovat na další fotografii, nebylo možné některou oblast nevybarvit a přejít dále. Na horní straně obrazovky bylo zobrazeno pořadí fotografie v jejich celkovém počtu. Každý účastník vybarvoval celý dataset 40 fotografií, jež byly náhodně seřazeny.



Obrázek 4: Vybarvování fotografie.

### 2.2.3 Analýza

Z vybarvování byla získána data o odstínu zvoleném na kole barev na kruhové škále  $0-2\pi$  pro každou oblast na fotografiích. Celkem bylo na všech fotografiích 236 oblastí. Tato data byla přeškálována na lineární škálu  $0-1$  a byla spočítána míra jejich variability pomocí mezikvartilového rozsahu ( $iqr$ ,  $0-1$ , zvyšující se hodnota představuje zvyšující se míru nepřesnosti shody na barvě oblasti). Hodnoty mezikvartilového rozsahu pro každou oblast byly následně převráceny ( $1/iqr$ ), aby zvyšující se hodnota představovala zvyšování míry přesnosti, ne nepřesnosti shody (proměnná „expected\_precision“). Získány byly také

hodnoty počtu dat, která se na kole barev nacházela alespoň 90° od mediánu (proměnná „expected\_opposing“). Tato data představují například situaci, kdy se medián odpovědí nachází u modré barvy, ale část účastníků vybrala barvu nacházející se na opačné polovině kruhu barev, než je modrá (například žlutou). Z údajů o výběru modré barvy byla spočítána proměnná expected\_precision, z údajů o výběru žluté barvy byla vytvořena proměnná expected\_opposing.

### **Kontrolní analýzy**

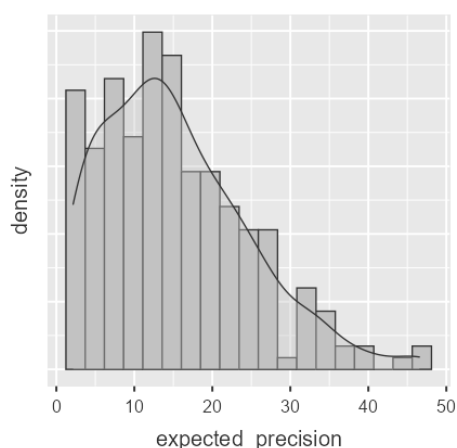
Dalšími měřenými hodnotami byly hodnoty saturace oblasti, velikosti oblasti v pixelech a celkový počet oblastí na fotografii (zde byly oblasti zařazeny do skupin podle celkového počtu oblastí na fotografii, tedy do skupin 4 až 8). Míra shody účastníků na barvách oblastí mohla být těmito proměnnými ovlivněna. U vysoce saturovaných oblastí mohla jít každá změna barvy poznat více než u nízko saturovaných oblastí. Přesnost shody se také mohla lišit v závislosti na zvoleném odstínu oblasti. Je možné, že některé odstíny barev účastníci určovali přesněji. Stejně tak mohla mít na přesnost vliv velikost oblasti či celkový počet oblastí na fotografii. Větším oblastem mohli účastníci například věnovat více pozornosti a vyšší celkový počet oblastí na fotografii mohl vést ke ztrátě pozornosti a náhodnému určování barev.

### **2.2.4 Výsledky**

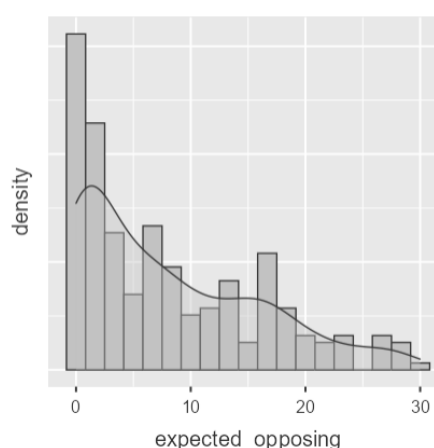
#### **Přesnost shody na očekávaných barvách oblastí**

Žádný z účastníků nevedl, že by měl poruchu barvocitu. Míra shody očekávání účastníků o barvách jednotlivých oblastí měla medián 15.1, nejnižší hodnotu 2.15 a nejvyšší hodnotu 46.5 (Graf 2). Pro polovinu oblastí tedy byl mezikvartilový rozsah roven nebo menší než 1/15 kruhu barev. Z Grafu 2 lze vidět, že oblastí s nižší mírou shody na barvách bylo o něco více než oblastí s vyšší mírou shody. Příkladem oblastí s vysokou mírou shody může být značka Zákaz vjezdu, naopak oblastí s nízkou mírou shody byl květinový záhon.

Oblasti měly také různé množství dat nacházejících se minimálně 90° od mediánu (expected\_opposing, medián = 6, min = 0, max = 30). Rozložení této proměnné je zobrazeno na Grafu 3. Vysoké množství takových dat naznačuje, že jde o oblasti, které nemají typickou barvu – oblastí s nejvyšším počtem takových dat (expected\_opposing = 30) je ručník v koupelně, u kterého si účastníci zřejmě dokázali představit jakoukoli barvu. Pomocí Pearsonova korelačního koeficientu bylo zjištěno, že přesnost shody na očekávaných barvách oblastí (expected\_precision) silně negativně koreluje s počtem dat nacházejících se v opačné polovině škály (expected\_opposing),  $r(234) = -.69, p < .001$ ; nižší přesnost shody očekávané barvy tedy souvisí s vyšším počtem dat nacházejících se na opačné polovině kola barev než byl medián.



Graf 2: Rozložení míry shody účastníků na barvách oblastí.



Graf 3: Rozložení počtu dat nacházejících se na kole barev alespoň 90° od mediánu.

### Kontrolní analýzy

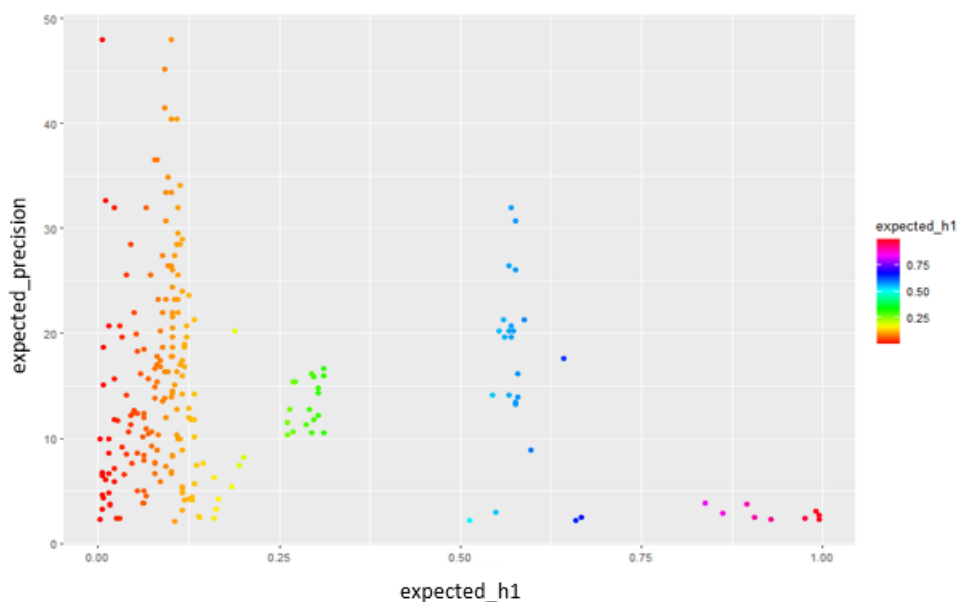
Při srovnání míry přesnosti shody na očekávaných barvách oblastí (expected\_precision) a saturace oblastí pomocí Pearsonova korelačního koeficientu nebyl nalezen signifikantní vztah ( $r(234) = -.10, p = .09$ ).

Vztah mediánů zvolených barev oblastí (expected\_h1) a míry přesnosti shody na očekávaných barvách oblastí je znázorněn pomocí Grafu 4. Vztah nebyl statisticky testován. Lze vidět, že přesnost očekávaných barev byla vyšší pro červené a oranžové odstíny, zároveň účastníci tyto odstíny pro oblasti častěji volili. Je nutno podotknout, že hnědá barva oblastí byla tvořena také těmito odstíny, a na fotografiích byly často zobrazeny přírodní scény obsahující hnědou barvu (kmen stromu) i vnitřní scény zobrazující například dřevěný

nábytek. Je možné, že se u těchto barev účastníci také přesněji shodovali, což by mohlo být způsobeno užším intervalem pro tyto barvy na kole barev (interval, který by většina lidí označila jako žlutou barvu, je například oproti zelené barvě velice úzký).

Slabá pozitivní korelace byla nalezena mezi přesností shody na očekávaných barvách a velikostí oblasti v pixelech (Pearsonův korelační koeficient  $r(234) = .31, p < .001$ ). Přesnost shody na barvách oblastí tedy stoupala spolu se zvyšující se velikostí plochy oblasti. To mohlo být způsobeno tím, že oblasti s největší plochou tvořily velice často pozadí, jako je například obloha nebo moře, což jsou oblasti, u kterých se účastníci mohli více shodnout na očekávané barvě.

Pro zjištění vztahu mezi celkovým počtem oblastí na fotografii a přesností shody na očekávaných barvách byla provedena Fisherova one-way ANOVA. Výsledky ukázaly, že v přesnosti shody očekávaných barev byl signifikantní rozdíl minimálně mezi dvěma skupinami oblastí, rozdělených na základě celkového počtu oblastí na fotografiích ( $F(4, 231) = 3.47, p = .009$ ). Pomocí Tukeyho post-hoc analýzy bylo zjištěno, že přesnost shody na barvách oblastí byla vyšší u fotografií obsahujících 4 nebo 8 oblastí než u fotografií obsahujících 5 oblastí (Tabulka 1).



Graf 4: Mediány zvolených barev oblastí a míra přesnosti shody na barvách oblastí.

**Tukeyho post-hoc analýza – expected\_precision a počet oblastí na fotografiích**

		4	5	6	7	8
4	Mean difference	—	9.65 *	7.33	7.730	3.09
	t-value	—	2.77	2.15	2.162	0.815
	df	—	231	231	231	231
	p-value	—	0.048	0.201	0.198	0.926
5	Mean difference		—	-2.32	-1.923	-6.57 *
	t-value		—	-1.54	-1.031	-2.933
	df		—	231	231	231
	p-value		—	0.539	0.841	0.030
6	Mean difference			—	0.396	-4.25
	t-value			—	0.233	-2.020
	df			—	231	231
	p-value			—	0.999	0.260
7	Mean difference				—	-4.64
	t-value				—	-1.958
	df				—	231
	p-value				—	0.290
8	Mean difference					—
	t-value					—
	df					—
	p-value					—

Poznámka: \*  $p < .05$

*Tabulka 1*

### 2.2.5 Diskuze

V této části, předcházející paměťovému experimentu, byla měřena přesnost, s jakou se účastníci nezávisle na sobě shodli na barvách objektů na fotografiích. Provedeny byly také kontrolní analýzy, z jejichž výsledků vyplývá, že účastníky pravděpodobně při vybarvování příliš neovlivňovala saturace dané oblasti. Přesnost shody na očekávané barvě oblasti ale souvisela s velikostí plochy dané oblasti. Tento výsledek nemusí být způsoben tím, že by byly větší oblasti nápadnější a přitahovaly více pozornosti, ale mohl by k němu přispět fakt, že fotografie zachycující reálné scény obsahují pozadí, které má často předvídatelnou barvu. Podobně nerovnoměrné rozložení odstínů, které účastníci určovali, se zřejmou preferencí pro červené, oranžové a žluté barvy, souvisí pravděpodobně spíše s povahou fotografií, na nichž převažovaly objekty, u kterých si tyto barvy účastníci dokázali představit, než s nějakou negativní strategií, které by se účastníci při vybarvování dopouštěli.

Nalezena byla také určitá souvislost mezi tím, kolik se celkově na fotografii nacházelo oblastí, a přesností shody na očekávané barvě oblastí. Rozdíl v přesnosti se ale objevil jen u dvou párů skupin fotografií, přičemž fotografie s pěti oblastmi měly menší přesnost shody na barvě oblastí než fotografie se čtyřmi nebo osmi oblastmi. Není zde tedy přítomný zřejmý trend mezi počtem oblastí na fotografii a přesností shody na barvách oblastí (způsobený například ztrátou pozornosti při vybarvování fotografie s větším množstvím oblastí).

## **2.3 Paměťový experiment**

### **2.3.1 Úvod**

Cílem druhé části studie bylo pomocí paměťového experimentu změřit přesnost, s jakou účastníci dokáží zpětně určit barvy objektů na fotografiích, které jim byly na několik sekund ukázány. Ačkoli v této části účastníci určovali barvy objektů již po několika sekundách, tedy si je vybavovali z pracovní paměti, dalo se očekávat, že si nezapamatují všechny barvy z fotografie přesně a u některých barev budou hádat. Přesnost zpětného určení barev byla srovnána s přesností shody na očekávaných barvách objektů, změřené v předchozí části studie. Při nalezení souvislosti mezi těmito dvěma proměnnými se dá předpokládat, že účastníci i při nezapamatování barvy správně hádali na základě předchozích zkušeností.

### **2.3.2 Metoda**

Účastníci ( $N=59$ ) se experimentu účastnili v rámci plnění zápočtu předmětu a byli jimi studenti z různých fakult Univerzity Karlovy. Žádné demografické údaje nebyly sbírány. Žádný z účastníků se předtím s fotografiemi nesetkal. Paměťový experiment probíhal online na vlastních zařízeních účastníků. Na začátku byli účastníci instruováni, aby k vybarvování nepoužívali mobilní zařízení, ale počítače, a to z důvodu velikosti obrazovky a správného fungování experimentu. Před začátkem experimentu byli účastníci také dotázáni, zda netrpí barvoslepostí. Účastníci byli instruováni, že mají za úkol si každou fotografii zapamatovat a po krátké prodlevě se pokusit rekonstruovat na černobílé verzi dané fotografie její původní barvy. Úkol nebyl časově omezen a účastníci byli informováni, že zabere přibližně 30-40 minut, přičemž během experimentu si mohli dělat přestávky. Dále byly účastníkům

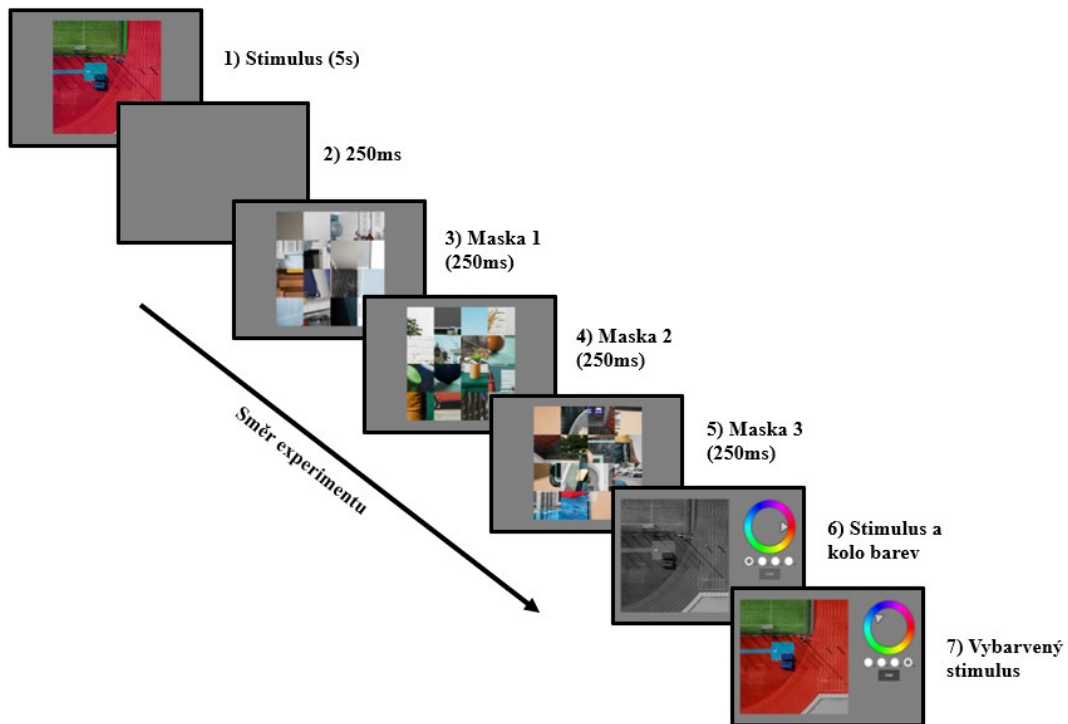
prezentovány instrukce k ovládání a ovládání si vyzkoušeli i na ukázkové fotografii, která nebyla zařazena do finálního datasetu.

### **Stimuly**

Použit byl stejný dataset 40 fotografií jako v části měřící přesnost očekávání barev, počet oblastí na fotografii zůstal také stejný. Fotografie byly ve velikosti 512x512 pixelů a byly prezentovány na šedém pozadí. Použity byly také maskovací stimuly (masky). Tyto masky slouží k zastavení procesu konsolidace v pracovní paměti (Vogel et al., 2006). Masky byly vytvořeny pomocí fotografií dříve vyřazených z datasetu, dohromady se jich během experimentu střídalo 12. Byly sestaveny z částí fotografií tvořících šachovnici 4x4, přičemž každá byla sestavena ze 4 různých fotografií. Velikost masky byla stejná jako velikost prezentovaných fotografií.

### **Průběh**

Průběh experimentu je zobrazen na Obrázku 5. Účastníkům se nejprve po dobu 5s zobrazila barevná fotografie. Tato doba se ukázala jako dostatečná k tomu, aby bylo možné si celou fotografii prohlédnout, ale zároveň nebyla příliš dlouhá, což by mohlo vést k demotivaci účastníků či k odvrácení jejich pozornosti od fotografie. Po zobrazení fotografie se na 250ms zobrazila prázdná plocha a následně se v rychlém sledu zobrazily tři maskovací stimuly (masky), každý na 250ms. Následně se zobrazila černobílá verze fotografie, tlačítka reprezentující jednotlivé oblasti na fotografii a kolo barev. Po kliknutí na tlačítko příslušná oblast blikla a účastníci mohli vybrat na kole barev zapamatovanou barvu. Oblast se příslušnou barvou obarvila. Účastníci museli pohnout kurzorem na kole barev, aby byla oblast započítána jako vybarvená. Po vybarvení celé fotografie mohli účastníci pokračovat na další fotografii. Každý účastník vybarvoval celý dataset 40 náhodně seřazených fotografií. Na horní straně obrazovky mohli účastníci sledovat počet zbývajících fotografií.



Obrázek 5: Průběh paměťového experimentu.

### 2.3.3 Analýza

Celkově byla získána data o 236 oblastech. Tento počet i následná transformace dat byla stejná jako u části 2 (vybarvování). Získanou proměnnou byly tedy převrácené hodnoty mezikvartilového rozsahu, představující míru přesnosti zpětného určení barvy oblastí (`remembered_precision`, vyšší hodnoty představují vyšší přesnost). Získány byly také hodnoty počtu dat, která se nacházela minimálně 90° od mediánu (`remembered_opposing`). Data použitá pro kontrolní analýzy byla stejná jako u předchozí části – saturace oblastí, velikost oblastí v pixelech, medián původního odstínu oblastí a celkový počet oblastí na fotografii.

### Ověření hypotézy

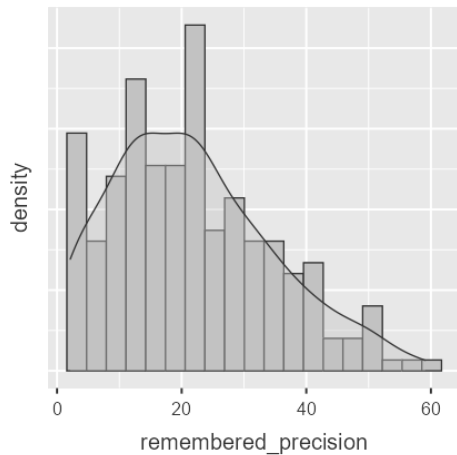
Pro ověření hypotézy, tedy zjištění, zda mezi přesností zpětného určení barev objektů a přesností shody na očekávaných barvách oblastí existuje závislost, byly porovnány dva lineární regresní modely. Prvním byl model pracující se závislostí těchto dvou proměnných,

příčemž přesnost zpětného určení barev byla závislou proměnnou (Model 1 = *remembered\_precision ~ expected\_precision*). Druhým byl konstantní model pracující pouze s proměnnou *remembered\_precision* a předpokládající, že na přesnost zpětného určení barev nemá přesnost shody na očekávaných barvách vliv (Model 2 = *remembered\_precision ~ 1*).

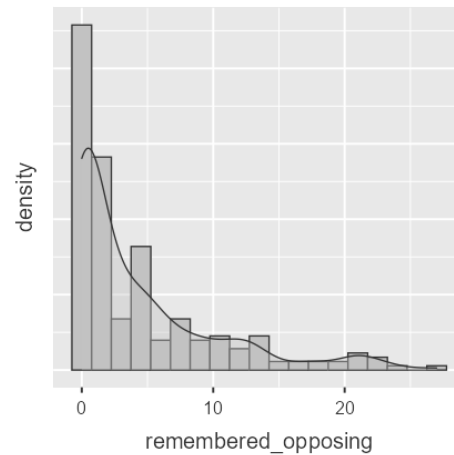
### 2.3.4 Výsledky

Žádný z účastníků neuvedl, že by měl poruchu barvocitu. Rozložení přesnosti zpětného určení barvy oblastí lze vidět na Grafu 5. Celkově byla přesnost určena s mediánem 21.6, minimální hodnotou 2.12 a maximální hodnotou 59.1. Pro polovinu oblastí tedy byl mezikvartilový rozsah roven nebo menší než přibližně 1/21 kruhu barev. Míra přesnosti byla obecně vyšší než u předchozí části experimentu (vybarvování), což není překvapivé, jelikož v tomto experimentu účastníci skutečné barvy fotografií viděli.

Na Grafu 6 lze vidět rozložení počtu hodnot, které se na kole barev nacházely alespoň 90° od mediánu (*remembered\_opposing*, medián = 2, min = 0, max = 27). I těchto hodnot bylo obecně méně než v předchozím experimentu, přesto jich ale měly některé oblasti velké množství. To je překvapivé, vzhledem k tomu, že účastníci měli možnost si barvy objektů zapamatovat, přesto jich u minimálně jednoho objektu téměř polovina určila barvu velmi vzdálenou od té, kterou objekt původně měl. Korelační analýza pomocí Pearsonova korelačního koeficientu ukázala středně silnou negativní korelaci mezi přesností zpětného určení barev (*remembered\_precision*) a těmito opačnými hodnotami (*remembered\_opposing*),  $r(234) = -.56$ ,  $p < .001$ . Přesnější zpětné určení barev tedy souviselo s nižším počtem hodnot „opposing“. Středně silná korelace byla nalezena také mezi původními odstíny oblastí a zpětně určenými odstíny oblastí, Pearsonovo  $r(234) = .54$ ,  $p < .001$ . Účastníci tedy obecně barvy zpětně určovali vcelku správně.



Graf 6: Rozložení přesnosti zpětného určení barvy objektů.



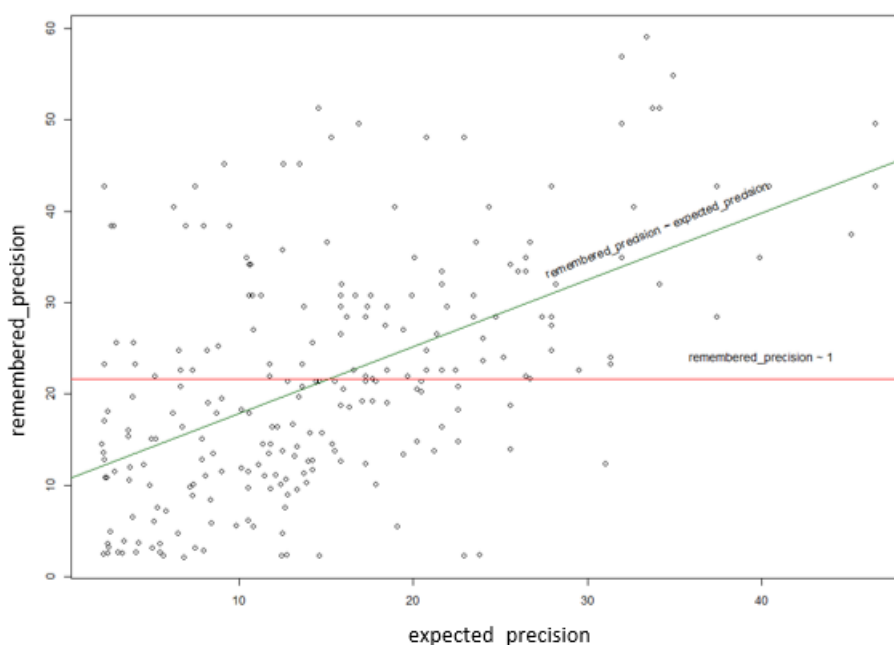
Graf 5: Rozložení počtu hodnot nacházejících se na kole barev alespoň 90° od mediánu.

### Ověření hypotézy

Pro ověření hypotézy byly srovnány dva lineární regresní modely s cílem vybrat ten, který lépe odpovídá datům získaným v paměťovém experimentu. Podle výsledků lineární regrese provedené pomocí Modelu 1 (Graf 7) je vztah mezi těmito dvěma proměnnými signifikantní ( $F(1, 234) = 94.59, p < .001$ ). Model 1 vysvětluje přibližně 28% variance v proměnné `remembered_precision` ( $R^2 = .28$ ) a standartní chyba reziduí (residual standard error, *RSE*) modelu je 10.9. Regresní koeficient má hodnotu 0.73, což indikuje, že zvýšení přesnosti shody (`expected_precision`) o 1 jednotku koresponduje se zvýšením přesnosti zpětného určení (`remembered_precision`) o 0.73 jednotky.

Model 2 je konstantní model, představující situaci, kdy mezi přesností shody na očekávaných barvách oblastí (`expected_precision`) a přesností zpětně určených barev oblastí (`remembered_precision`) není vztah, tedy kdy `remembered_precision` nezávisí na další proměnné. Průsečíkem s osou *Y* je v tomto případě průměr proměnné `remembered_precision` v hodnotě 21.6. Standartní chyba reziduí (residual standard error, *RSE*) má hodnotu 12.89.

Při srovnání standartních chyb reziduí obou modelů je zřejmé, že Model 1 ( $RSE = 10.9$ ) odpovídá použitým datům lépe než Model 2 ( $RSE = 12.89$ ). Ke stejnému závěru lze dojít i při srovnání obou modelů vizuálně pomocí Grafu 7. Konstantní Model 2, předpokládající, že přesnost zpětného určení barvy objektů nezávisí na přesnosti shody na očekávaných barvách objektů, odpovídá datům hůře než Model 1. Směr vztahu mezi přesností shody na očekávaných barvách a přesností zpětného určení barev objektů indikuje, že s vyšší shodou na barvě objektů roste také přesnost zpětného určení barvy z paměti. Je tedy pravděpodobné, že zpětné určení barev objektů z paměti bylo ovlivněné předchozí zkušeností s těmito objekty, a u objektů s předvídatelnějšími barvami tak lidé v paměťovém experimentu častěji volili správnou barvu.



Graf 7: Model 1 (zelená linka), Model 2 (červená linka).

### Kontrolní analýzy

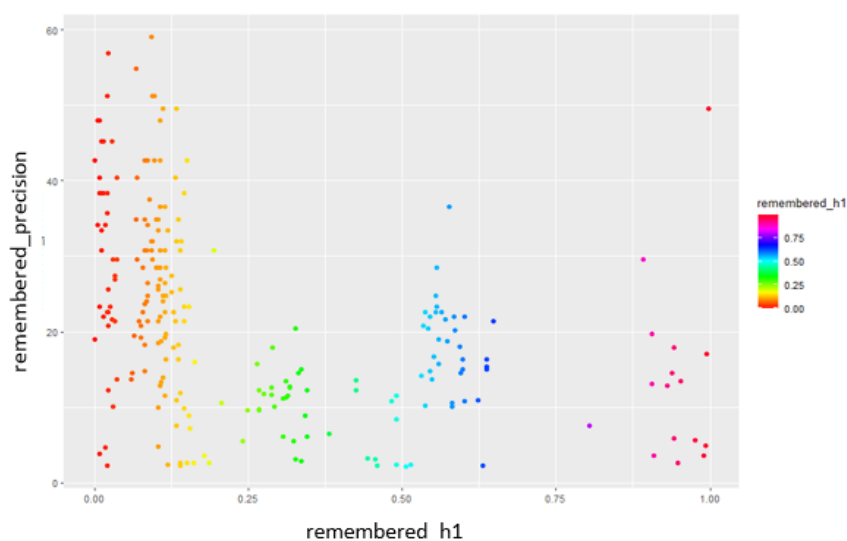
Pomocí Pearsonova korelačního koeficientu byla nalezena slabá pozitivní korelace mezi přesností zpětného určení barev oblastí (remembered\_precision) a saturací oblastí,  $r(234) = .35, p < .001$ , a slabá negativní korelace mezi hodnotami nacházejícími se v opačné polovině škály (remembered\_opposing) a saturací oblastí (Pearsonovo  $r(234) = -0.21, p = .001$ ). Je tedy možné, že si účastníci více saturované oblasti pamatovali přesněji, nebo si jejich barvy více všímali. Málo saturované oblasti si lze představit jako oblasti s pouhým nádechem určité barvy (například světlá šedomodrá oblast), u nichž se dají změny odstínu na kole barev

hůře rozeznat a jejichž barvu si účastníci nemuseli zapamatovat přesně. To mohlo vést k tomu, že u těchto oblastí účastníci zpětně určovali zcela jinou barvu, než jakou původně viděli (což se mohlo projevit větším množstvím „opposing“ dat pro tyto oblasti).

Z Grafu 8 lze vidět, že u zpětného určení barev objektů nebyly odstíny barev vyrovnané – objektů, u kterých účastníci určili červené, oranžové či žluté odstíny, bylo více než objektů se zelenými nebo modrými odstíny (remembered\_h1), a tyto barvy byly obecně určovány s větší přesností. Jak bylo uvedeno výše, je možné, že tento výsledek souvisí s tím, že na kole barev je oblast pro žlutou či oranžovou barvu užší než oblast pro zelenou či modrou barvu. Vztah mezi těmito proměnnými nebyl statisticky testován.

Byla nalezena slabá pozitivní korelace mezi velikostí oblastí v pixelech a přesností zpětného určení barev oblastí (remembered\_precision), Pearsonovo  $r(234) = .20, p = .002$ . Zvětšující se velikost oblastí tedy do jisté míry souvisela se zvyšující se přesností zpětného určení barev. Je možné, že si větších ploch účastníci při paměťovém experimentu všímali více než menších, což mohlo k tomuto výsledku přispět.

Při srovnání přesnosti zpětného určení barvy objektů mezi skupinami objektů lišícími se celkovým počtem oblastí na fotografii (4 až 8) nebyl nalezen signifikantní rozdíl mezi žádnou ze skupin oblastí (Fisherova one-way ANOVA,  $F(4, 231) = 0.799, p = 0.52$ ). Není tedy důvod domnívat se, že u oblastí patřících do fotografií s vyšším celkovým počtem oblastí k vybarvení účastníci zpětně určovali barvy s nižší přesností.



Graf 8: Zpětně určené odstíny oblastí a přesnost, s jakou byly určeny.

### **2.3.5 Diskuze**

V této části práce byla pomocí paměťového experimentu měřena přesnost, s jakou účastníci zpětně určí barvu objektů na fotografiích. Tato proměnná byla následně jako vysvětlovaná dána do vztahu s vysvětlující proměnnou naměřenou v předchozí části studie – přesností, se kterou se účastníci na barvách těchto objektů shodovali, aniž by je předtím viděli. Ukázalo se, že tento model závislosti odpovídá naměřeným datům lépe než konstantní model, a mezi proměnnými je závislost. Byla tak potvrzena původní hypotéza.

Provedeny byly také kontrolní analýzy. Vyšší přesnost zpětného určení barev objektů souvisela s vyšší saturací objektů, u málo saturovaných objektů (našedlých barev) pak docházelo ve větší míře k určování barev ze zcela odlišné části barevné škály. Pro potřeby budoucích experimentů by tedy bylo pravděpodobně žádoucí kontrolovat saturaci objektů, a vyřadit fotografie s nejednoznačnými, našedlými barvami objektů.

Stejně jako u předchozí části studie se i zde ukázalo, že barevné odstíny objektů nejsou zcela vyrovnané, a převládají „teplé“ odstíny červené, žluté a oranžové. Odstíny byly nicméně nerovnoměrně rozloženy i na původních fotografiích, což vyjadřuje středně silná korelace mezi těmito proměnnými, nejde tedy pravděpodobně o negativní jev týkající se nežádoucích strategií účastníků při paměťovém experimentu. Nerovnoměrné rozložení barev je možné při použití reálných fotografií předpokládat a není nutné, aby výsledky negativně ovlivňovalo. To platí také u dalšího zjištění – s vyšší mírou přesnosti zpětného určení barev souvisela větší velikost plochy objektů. Snaha kontrolovat velikost objektů na fotografiích by mohla vést ke snížení jejich realističnosti.

#### **Délka zobrazení fotografie**

Proměnnou, která může výrazně zasahovat do paměťového zpracování fotografií účastníky, je délka jejich zobrazení. Rozhodnutí o délce zobrazení stimulu záleží na několika faktorech: jeho komplexnosti, počtu objektů k zapamatování či komplexnosti samotných objektů. Na druhé straně je důležité brát v potaz také úkol, který účastníci mají. Jedná se o rekognici, nebo o celkové vybavení z paměti? Mají účastníci za úkol zapamatovat si celý objekt se všemi detaily, nebo si mají pamatovat jen jeden rys objektu? Nelze opomenout ani lidské faktory, které do experimentu zasahují, jako například znučenost účastníků, ztráta

pozornosti nebo nežádoucí kognitivní strategie (například mnemotechnické pomůcky), které by se mohly objevit, pokud by byl stimulus prezentován na příliš dlouhou dobu.

V tomto experimentu byly fotografie zobrazeny po dobu 5 sekund, přičemž účastníci měli za úkol zaměřit se na barvu objektů. Během této doby tedy měli za úkol si fotografii prohlédnout, rozpoznat objekty na ní a zapamatovat si jejich barvy. Tato doba se ukázala jako dostatečná k prohlédnutí fotografie, a zároveň pravděpodobně nebyla natolik dlouhá, aby vedla ke ztrátě pozornosti, čímž bylo umožněno prezentovat každému účastníkovi celý dataset 40 fotografií. Je ale možné, že by se výsledky studie lišily, pokud by byly fotografie zobrazeny na delší dobu.

### **Nežádoucí strategie zapamatování**

Účastníci si při pamatování fotografie mohou vypomáhat strategiemi, které nesouvisí s vizuální pracovní pamětí jako takovou. Může jít o mnemotechnické pomůcky, jako například mentální seřazování objektů na fotografii a jejich barev podle abecedy. Pro vytvoření takovéto pomůcky je nicméně pravděpodobně zapotřebí více času, než je pět sekund, po které byla fotografie zobrazená. Pravděpodobnější strategií je v tomto případě verbální pojmenovávání, kdy by si účastník pojmenoval (nahlas, nebo v myšlenkách) objekt a jeho barvu (například „míč, červená“). Ačkoli by u složitějších fotografií účastníci pravděpodobně neměli dostatek času na pojmenování všech objektů, mohli si takto pojmenovat alespoň několik nejvýraznějších. Verbální pojmenovávání je možné potlačit, například tím, že budou mít účastníci za úkol si v myšlenkách nebo nahlas opakovat jedno slovo. Tento postup byl vyzkoušen ve studii Liu & Jiang (2006), kde byl efekt verbálního pojmenovávání objektů u poloviny účastníků potlačen tím, že měli účastníci během paměťového úkolu zároveň nahlas opakovat slova „teddy bear“. Ukázalo se ale, že tento úkol neměl na výsledky paměťového úkolu významný vliv. V případě prezentované studie bylo použití takové kontroly limitováno tím, že probíhala online. Není nicméně jisté, zda by tato strategie měla na výsledky podstatný vliv.

### **3 Obecná diskuze**

#### **3.1 Zasazení výsledků do teoretického kontextu**

Výsledky této práce potvrdily předpoklad, že při paměťovém experimentu, testujícím pracovní paměť a používajícím fotografie reálných scén jako stimuly, bude zpětné určení barev objektů na nich dopředu ovlivněno očekáváním účastníků. Toto očekávání je založené na předchozích znalostech o objektech a jejich typických barvách.

Při paměťových experimentech zkoumajících vizuální paměť jsou často jako stimuly používány jednoduché geometrické útvary, které nejsou spojené s žádnou typickou barvou (Zhang & Luck, 2008) nebo reálné objekty, nicméně přebarvené na náhodnou barvu (Brady et al., 2013). Při použití paradigmatu oddáleného odhadu pak lze výsledky rozdělit na dvě distribuce – konstantní rozložení hádání, které nastává ve chvíli, kdy si účastník barvu vůbec nezapamatuje, a normální rozložení představující přesnost, se kterou účastník určil zapamatovanou barvu, jako například ve studii Zhanga a Lucka (2011). V této práci byly ale jako stimuly použity fotografie s běžnými objekty a jejich reálnými barvami, a zde prezentované výsledky potvrzují, že v takovém případě je zpětné určování barev pravděpodobně dopředu informováno na základě předchozích zkušeností s barvami objektů. Pravděpodobnost, že bude určitá barva zvolena – nehledě na to, zda si ji účastník skutečně zapamatoval – tedy není u všech barev stejná, jako by se dalo očekávat například při použití barevných čtverců.

V literatuře zabývající se debatou o struktuře pracovní paměti se velmi často pracuje právě s rozdělením odpovědí na zapamatované a nezapamatované. Při testování paměti na reálné objekty je ale třeba počítat s tím, že takové rozdělení nebude vždy možné, jelikož, jak potvrzují výsledky této práce, účastníci budou u některých objektů s velkou pravděpodobností správně hádat. Takové hádání je pak nerozlišitelné od zapamatovaného stimulu, a nevypovídá tak o skutečných limitech paměti. Mohlo by se například stát, že na základě správného hádání bude jako zapamatované označeno větší množství stimulů, než jaké odpovídá realitě, a správné hádání se pak dále promítne do míry přesnosti

„zapamatovaných“ stimulů. Při zkoumání limitů pracovní paměti za použití reálných stimulů je tedy potřeba brát v potaz hádání, dopředu informované očekávání.

### **3.2 Limity studie**

Všechny části této práce probíhaly online. S tím se pojí několik limitací, plynoucích ze snížené možnosti kontrolovat některé nežádoucí proměnné. Pravděpodobně největším potenciálním problémem je nastavení monitoru na tzv. noční režim, tedy režim, kdy začne mít obrazovka počítače nádech červené nebo oranžové barvy. To by mohlo ovlivnit vnímání barev na fotografiích, což by mělo za následek zkreslení výsledků. Tato funkce se nicméně na většině zařízení zapíná automaticky se západem slunce, a účastníci se do vybarvování zapojovali ze 79 % před 18:00.

Účastníci vyplňující studii online mohou být také méně motivovaní k věnování plné pozornosti úkolu. To se mohlo projevit náhodným vybarvováním, kdy účastník mohl například vybrat pro oblohu červenou barvu. Vzhledem k tomu, že míra přesnosti shody na barvách – mezikvartilový rozsah – je měřena z části rozložením s největším množstvím dat, neovlivňovaly by tyto hodnoty významně přesnost, ale byly by započítány jako opačné (proměnná „opposing“).

## **Závěr**

Cílem této práce bylo zjistit, zda přesnost zpětného určení barev objektů na fotografiích v paměťovém experimentu souvisí s přesností, s jakou se účastníci shodují na očekávané barvě těchto objektů. Za tímto účelem byly provedeny dvě studie – první z nich měřila přesnost, s jakou se účastníci shodují na barvách objektů na fotografiích. Účastníci viděli pouze černobílé fotografie a měli za úkol je vybarvit barvami, které by na nich očekávali. V druhé studii byl proveden paměťový experiment, v němž účastníci ty samé fotografie nejprve na několik vteřin viděli, a poté měli na jejich černobílých verzích barvy objektů zpětně rekonstruovat.

Z výsledků vyplynulo, že přesnost zpětného určení barev objektů je skutečně lépe vysvětlena modelem, pracujícím s její závislostí na míře shody účastníků na barvách objektů. Ukazuje se tedy, že určování barev při paměťovém experimentu je pravděpodobně alespoň zčásti ovlivněno očekáváním účastníků o barvách objektů; tato očekávání jsou pak ovlivněna jejich předchozí zkušeností s těmito objekty. U některých objektů, jako je například dopravní značka Zákaz vjezdu, je zkušenost s barvou jednoznačná, a účastníci se u nich shodovali – v tomto případě na červené barvě. U jiných objektů, jako je například ručník, je tato zkušenost různá, a můžeme jim tak přisuzovat mnoho různých barev.

## Seznam použitých informačních zdrojů

- Asplund, C. L., Fougine, D., Zughni, S., Martin, J. W., & Marois, R. (2014). The Attentional Blink Reveals the Probabilistic Nature of Discrete Conscious Perception. *Psychological Science*, 25(3), 824–831. <https://doi.org/10.1177/0956797613513810>
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of Learning and Motivation*, 2, 89–195. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Baddeley, A. D. (1983). Working Memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 302(1110), 311–324. <http://www.jstor.org/stable/2395996>
- Bae, G. Y., Olkkonen, M., Allred, S. R., Wilson, C., & Flombaum, J. I. (2014). Stimulus-specific variability in color working memory with delayed estimation. *Journal of Vision*, 14(4), 1–23. <https://doi.org/10.1167/14.4.7>
- Bays, P. M., Catalao, R. F. G., & Husain, M. (2009). The precision of visual working memory is set by allocation of a shared resource. *Journal of Vision*, 9(10), 1–14. <https://doi.org/10.1167/9.10.7>
- Berns, R. S. (2019). *Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (4th ed.). John Wiley & Sons Inc.
- Biderman, N., Luria, R., Teodorescu, A. R., Hajaj, R., & Goshen-Gottstein, Y. (2019). Working Memory Has Better Fidelity Than Long-Term Memory: The Fidelity Constraint Is Not a General Property of Memory After All. *Psychological Science*, 30(2), 223–237. <https://doi.org/10.1177/0956797618813538>
- Brady, T. F., Konkle, T., Alvarez, G. A., & Oliva, A. (2008). Visual long-term memory has a massive storage capacity for object details. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(38), 14325–14329. <https://doi.org/10.1073/pnas.0803390105>

- Brady, T. F., Konkle, T., Gill, J., Oliva, A., & Alvarez, G. A. (2013). Visual Long-Term Memory Has the Same Limit on Fidelity as Visual Working Memory. *Psychological Science*, *24*(6), 981–990. <https://doi.org/10.1177/0956797612465439>
- Brady, T. F., Konkle, T., Oliva, A., & Alvarez, G. A. (2009). Detecting changes in real-world objects: The relationship between visual long-term memory and change blindness. *Communicative and Integrative Biology*, *2*(1), 1–3. <https://doi.org/10.4161/cib.2.1.7297>
- Brown, G. D. A., Neath, I., & Chater, N. (2007). A Temporal Ratio Model of Memory. *Psychological Review*, *114*(3), 539–576. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.3.539>
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, *24*(1), 87–114. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01003922>
- Fougnie, D., Asplund, C. L., & Marois, R. (2010). What are the units of storage in visual working memory? *Journal of Vision*, *10*(12), 1–11. <https://doi.org/10.1167/10.12.27>
- Hughes, F. J., Van Dam, A., McGuire, M., Sklar, D. F., Foley, J. D., Feiner, S. K., & Akeley, K. (2014). *Computer Graphics: Principles and Practice* (3rd ed.). Addison-Wesley Professional.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology* (Vol. 1). Henry Holt and Co. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/10538-000>
- Konkle, T., Brady, T. F., Alvarez, G. A., & Oliva, A. (2010). Scene memory is more detailed than you think: The role of categories in visual long-term memory. *Psychological Science*, *21*(11), 1551–1556. <https://doi.org/10.1177/0956797610385359>
- Liu, K., & Jiang, Y. (2006). Visual working memory for briefly presented scenes. *Journal of Vision*, *5*(7), 650–658. <https://doi.org/10.1167/5.7.5>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, *63*(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>

- Miner, A. E., Schurgin, M. W., & Brady, T. F. (2020). Is working memory inherently more “precise” than long-term memory? Extremely high fidelity visual long-term memories for frequently encountered objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *46*(8), 813–830. <https://doi.org/10.1037/xhp0000748>
- Poynton, C. (2005). *Frequently Asked Questions About Color*.
- Rosielle, L., & Scaggs, W. J. (2008). What if they knocked down the library and nobody noticed? The failure to detect large changes to familiar scenes. *Memory*, *16*(2), 115–124. <https://doi.org/10.1080/09658210701787765>
- Suchow, J. W., Fougine, D., Brady, T. F., & Alvarez, G. A. (2014). Terms of the debate on the format and structure of visual memory. *Attention, Perception, and Psychophysics*, *76*(7), 2071–2079. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0690-7>
- Van Den Berg, R., Shin, H., Chou, W. C., George, R., & Ma, W. J. (2012). Variability in encoding precision accounts for visual short-term memory limitations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(22), 8780–8785. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117465109>
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*(1), 92–114. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.1.92>
- Watzl, S. (2017). *Structuring Mind* (1st ed.). Oxford University Press.
- Wilken, P., & Ma, W. J. (2004). A detection theory account of change detection. *Journal of Vision*, *4*(12), 1120–1135. <https://doi.org/10.1167/4.12.11>
- Wixted, J. T., Phelps, E. A., & Davachi, L. (2018). *Stevens' handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience* (Vol. 1). John Wiley & Sons, Inc.
- Wolfe, J. M. (1999). Inattentional Amnesia. In V. Coltheart (Ed.), *Fleeting memories: Cognition of brief visual stimuli* (pp. 71–94). Cambridge, MA: MIT Press.

- Wolfe, J. M., Reinecke, A., & Brawn, P. (2006). Why don't we see changes? The role of attentional bottlenecks and limited visual memory. *Visual Cognition*, *14*(4–8), 749–780. <https://doi.org/10.1080/13506280500195292>
- Žára, J., Beneš, B., Sochor, J., & Felkel, P. (2004). *Moderní počítačová grafika* (2nd ed.). Computer Press.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, *453*(7192), 233–235. <https://doi.org/10.1038/nature06860>
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2011). The number and quality of representations in working memory. *Psychological Science*, *22*(11), 1434–1441. <https://doi.org/10.1177/0956797611417006>

## Seznam příloh

### Seznam obrázků

Obrázek 1: Barevný prostor HSL, zjednodušeno. ....	23
Obrázek 2: Příklad původní fotografie (vlevo) a její kolorované verze (vpravo). ....	25
Obrázek 3: Vlevo příklad dvou nízko hodnocených fotografií s vysoce saturovanými barvami, vpravo příklad dvou nízko hodnocených fotografií s větší nekolorovanou plochou. ....	28
Obrázek 4: Vybarvování fotografie. ....	30
Obrázek 5: Průběh paměťového experimentu. ....	37

### Seznam grafů

Graf 1: Průměr hodnocení pro každou fotografii zvlášť, seřazený od nejnižšího (fotografie hodnocená jako nejvíce upravená) po nejvyšší (fotografie hodnocená jako nejvíce přirozená). Nejhůře hodnocené fotografie v oblasti s nejstrmějším sklonem byly vyřazeny. ....	27
Graf 2: Rozložení míry shody účastníků na barvách oblastí. ....	32
Graf 3: Rozložení počtu dat nacházejících se na kole barev alespoň 90° od mediánu. ....	32
Graf 4: Mediány zvolených barev oblastí a míra přesnosti shody na barvách oblastí. ....	33
Graf 5: Rozložení počtu hodnot nacházejících se na kole barev alespoň 90° od mediánu. ....	39
Graf 6: Rozložení přesnosti zpětného určení barvy objektů. ....	39
Graf 7: Model 1 (zelená linka), Model 2 (červená linka). ....	40
Graf 8: Zpětně určené odstíny oblastí a přesnost, s jakou byly určeny. ....	41