

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA ALGEBRY A GEOMETRIE

Eye Tracking ve vyučování matematice a deskriptivní geometrii

Diplomová práce

Autor:	Bc. Radka Kravarová
Studijní program:	Matematika
Studijní obor:	Učitelství matematiky pro SŠ
Typ studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	Prof. RNDr. Josef Molnár, CSc.
Termín odevzdání práce:	26. 6. 2018

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Eye Tracking ve vyučování matematice a deskriptivní geometrii“ vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Olomouci dne

Poděkování:

Ráda bych poděkovala prof. RNDr. Josefu Molnárovi, CSc. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Stanislavu Popelkovi za vypůjčení eye - trackru, cenné rady a pomoc s výzkumnou částí práce.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora:	Radka Kravarová
Název práce:	Eye Tracking ve vyučování matematice a deskriptivní geometrii
Typ práce:	Diplomová
Pracoviště:	Katedra algebry a geometrie
Vedoucí práce:	Prof. RNDr. Josef Molnár, CSc.
Rok obhajoby práce:	2018
Anotace:	<p>Práce Eye – tracking ve vyučování matematice a deskriptivní geometrii se zabývá možností využití této sensorové metody založené na sledování pohybu očí a jejich fixaci pro výzkum vhodnosti učebnic matematiky a strategií řešení geometrických úloh. Pomocí kvalitativního výzkumu bylo testováno 10 studentů střední odborné školy a gymnázia, přičemž pro analýzu výzkumu byla vybrána data od dvou průměrných studentů. Následná analýza kvalitativního výzkumu přinesla nové informace týkající se vhodnosti učebnic matematiky z pohledu studentů a nové předpokládané problémy vztahující se k využití eye - tracking metody.</p>
Klíčová slova:	Metoda eye - tracking, oči, vhodnost učebnic, řešení úloh, kvalitativní výzkum
Počet stran:	78
Jazyk:	Český

Bibliographical identification:

Autor's first name and surname: Radka Kravarová

Title: Eye - tracking in Mathematics and Descriptive Geometry Education

Type of thesis: Master

Department: Department of Algebra and Geometry

Supervisor: Prof. RNDr. Josef Molnár, CSc.

The year of presentation: 2018

Annotation: Thesis Eye - tracking in mathematics teaching deals with the use of this sensory approach based on eye movement monitoring and fixation for the research of mathematics textbooks and the strategy of solving geometric problems. Ten students were tested using qualitative research, with data from two average students being selected to study the analysis. Subsequent analysis of qualitative research has brought new information on the suitability of mathematical textbooks from the point of view of students and a new assumed problems relating to the use of eye - racking.

Keywords: Eye - tracking methodology, eyes, the research textbooks, the stratehy of solving problems, qualitative research

Number of pages: 78

Language: Czech

Obsah

Úvod	4
1 Technologie eye - tracking	6
1.1 Charakteristika lidského oka	6
1.1.1 Oční rohovka	7
1.1.2 Oční mok	7
1.1.3 Cévnatá vrstva	8
1.1.4 Čočka	8
1.1.5 Vnitřní vrstva	9
1.2 Fyziologie vidění	10
1.2.1 Biofyzikální proces	10
1.2.2 Biochemický proces	10
1.3 Oční pohyby	12
1.3.1 Fixační oční pohyby	13
1.3.2 Sakadické oční pohyby	14
1.3.3 Plynule sledovací oční pohyby	15
1.3.4 Vestibulárně – optokinetické oční pohyby	15
1.3.5 Vergence	15
1.4 Historie sledování pohybu očí	15
1.4.1 Starověk	15
1.4.2 Středověk	18
1.4.3 Novověk	19
1.4.4 Eye - tracking	24
1.5 Metody měření pohybu očí	26
1.5.1 Elektrookulografie	26
1.5.2 Sklerální kontaktní čočky s indukční cívkou	27
1.5.3 Fotookulografie (POG) a Videookulografie (VOG)	27

1.5.4	Kombinace odrazů zornice a rohovky	27
1.6	Rychlost a přesnost měření	28
1.7	Parametry měření.....	29
1.7.1	Subjektivní metriky.....	29
1.7.2	Objektivní metriky	29
1.8	Výstupy měření.....	30
1.8.1	Heatmaps.....	30
1.8.2	Přehrávání pohledů	30
1.8.3	Gaze plots.....	30
2	Učebnice Matematiky	32
2.1	Funkce učebnic	32
2.2	Struktura a hodnocení učebnic.....	34
2.3	Učebnice geometrie pro SŠ	37
2.3.1	Matematika pro Gymnázia – Planimetrie	38
2.3.2	Geometrie v rovině a v prostoru pro střední školy	38
2.3.3	Matematika pro střední školy – Geometrie.....	39
2.3.4	Matematika pro střední odborné školy – Planimetrie	39
2.3.5	Matematika pro SOŠ a studijní obory SOU – 1. a 3. část.....	39
2.3.6	Matematika pro střední školy 6. díl – Stereometrie	40
3	Cíl výzkumu	42
4	Očekávané závěry	42
5	Použité metody a programy.....	42
5.1	Eye Tribe Tracker	43
5.2	Stavba testu.....	43
5.3	Rozhovor.....	44
6	Zpracování výzkumu.....	45
6.1	Strategie řešení geometrických úloh.....	45

6.1.1	Michal	47
6.1.2	Tereza.....	48
6.1.3	Shrnutí.....	49
6.2	Vhodnost učebnic	50
6.2.1	Eye - tracking metoda	51
6.2.2	Vyhodnocení rozhovorů.....	52
7	Diskuze	54
8	Doporučení pro praxi	56
	Závěr	57
	Zdroje.....	59
	Zdroje obrázků.....	63
	Seznam příloh	64

Úvod

I přes množství nových technologií a možnosti používání elektronických materiálů zatím nic nenasvědčuje tomu, že by tištěné učebnice byly nahrazeny jinými didaktickými prostředky. Z mnoha pedagogických výzkumů vyplývá, že tištěné učebnice jsou stále stavebními kameny výuky i vzdělávání, a to i ve velmi vyspělých zemích jako je např. USA či Japonsko. Je proto naprosto nezbytné, aby učebnice odpovídaly svým obsahem i didaktickou strukturou formálnímu projektovému kurikulu. Estonský profesor a odborník na teorii učebnic J. Mikk tvrdí: „*Školské reformy nebudou fungovat, pokud nebudou jejich ideje vloženy do učebnic.*“ a „*Učebnice jsou budoucností národa.*“.

Vhodnost učebnic je testována pomocí několika kritérií a různými metodami. Do základních kritérií patří didaktická struktura a srozumitelnost. Tato kritéria by mohla být testována pomocí metody eye - tracking, která umožňuje zaznamenávání myšlenkových pochodů respondentů pomocí nahrávání jejich pohybu zrakem po určité oblasti zájmu.

Práce eye - tracking ve vyučování matematice a deskriptivní geometrii se věnuje možnostem využití této metody při hodnocení učebnic z pohledu žáka/studenta. V první kapitole je uveden popis struktury oka. Dále jsou zde popsány druhy pohybů očí, stručná historie vývoje objevení funkce oka až po využití eye - tracking metody a charakteristika základních vlastností týkajících se eye - tracking metody. Druhá kapitola se věnuje kritériím, pomocí kterých se hodnotí vhodnost učebnic a popisu modelových učebnic geometrie pro střední školy a střední odborná učiliště. Praktická část práce je rozdělena do pěti kapitol, které se věnují popisu metod využitých při výzkumu, analýze dat a doporučení pro praxi.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 Technologie eye - tracking

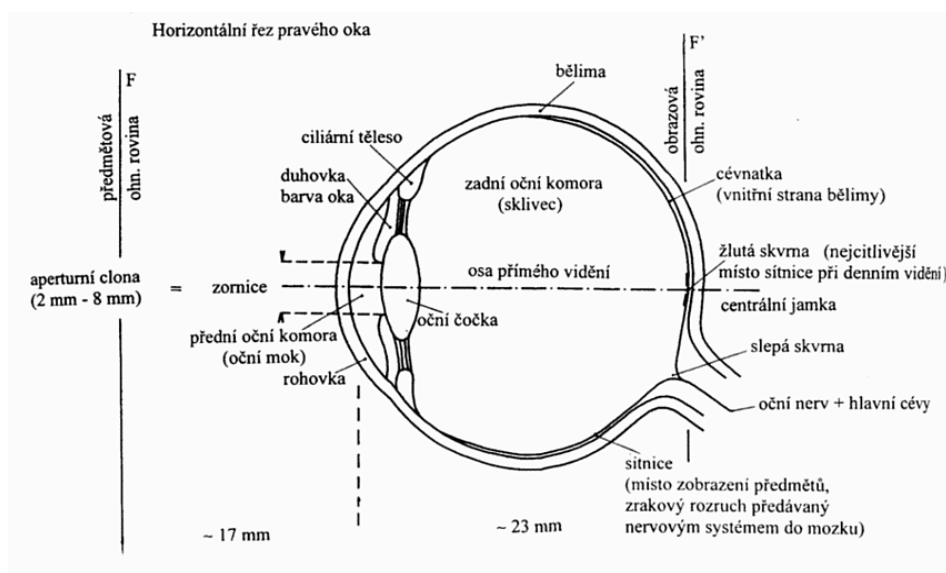
Eye - tracking je senzorová metoda, pomocí níž lze studovat mnoho biologických a psychologických dějů. Je založena na sledování pohybů očí a jejich fixaci.

Vznikla ve 20. století jako metoda využívaná převážně armádní složkou. Dnes se využívá v mnoha oblastech, např. v medicíně, při interakci člověk - počítač, v psychologii, ve vzdělávání, v designu a marketingu či v automobilovém průmyslu. Její historie je úzce spjata s postupným objevováním funkce lidského oka a jeho chováním při čtení.

1.1 Charakteristika lidského oka

Pro člověka je zrak jeden z nejdůležitějších smyslů, díky kterému vnímá až 90 % informací z vnějšího prostředí. Je určen pro vnímání viditelného světla, jehož vlnová délka se pohybuje v rozmezí 397 – 723 nm, funkčně se zrak řadí mezi radioreceptorový smysl. V rozmezí elektromagnetického vlnění o vlnové délce viditelného světla je lidské oko schopné rozpoznat zhruba několik milionů barevných odstínů 150 odlišných skupin vlnových délek - barev (Orel, 2010).

Hlavním orgánem zraku je oko, které představuje velmi důležitou a složitou optickou soustavu ve tvaru koule (*bulbus oculi*). *Bulbus* má průměr kolem 25 mm.



Obrázek 1: Struktura oka

1.1.1 Oční rohovka

Světlo prochází okem nejdříve rohovkou (*cornea*). Jedná se o vstupní oddíl tzv. optického prostředí oka (Synek, 2004). Rohovka je průhledná a její optická mohutnost se pohybuje kolem 40 D (Králová, 2018). Rohovkou neprocházejí žádné krevní cévy, ale je bohatě inervovaná senzoryckými nervy vycházejícími z trojklaného nervu (Synek, 2004). Obsahuje nejvíce nervových zakončení ze všech tkání lidského těla. Je silná přibližně 0,8 mm a skládá se vždy z pěti vrstev: rohovkového epitelu (chráněn slzným filmem), Bowmanovy membrány, rohovkového stroma, Descemetovy membrány a rohovkového endotelu. Rohovkový epitel tvoří přibližně 10 % tloušťky rohovky. Má schopnost rychlé regenerace a je chráněn slzným filmem, který má svůj význam především z hlediska imunologie.

Světelný paprsek se při dopadu na rohovku láme (první výrazně hustší prostředí než vzduch) a tím je ovlivněn směr šíření světelného paprsku v optickém aparátu oka (Reichl, 2011). Hustší prostředí zajišťuje 78 % vody a 22 % organické hmoty jenž rohovka obsahuje. Základní a nejdůležitější organickou hmotou v rohovce jsou kolagenní vlákna, jejich uspořádání zajišťuje pouze rozptyl 1 % procházejícího světla (Synek, 2004).

Rohovka na své periferii ostře přechází do bělimy (*sclera*), na místě zvaném *limbus*. Je to bílá, neprůhledná, vazivová tkáň, která pokrývá 5/6 povrchu oka (Orel, 2010). Bílou barvu bělimy způsobuje absence cév, avšak věkem se barva mění na žlutavou vlivem ukládání tuku. Obsahuje 70 % vody, fibroblasty a kolagenní vlákna. Představuje pevnou oporu pro připojující se šlachy okohybných svalů a její funkcí je ochrana pro hlubší části oční koule v kostnaté očníci (Synek, 2014). Přední část bělimy kryje spojivka. V zadní části bělimy je otvor pro zrakový nerv, řasové tepny a řasové nervy (Čihák, 2016).

1.1.2 Oční mok

Světlo dále prochází očním mokem nacházejícím se v přední oční komoře, který se podílí na lomu světla. Jedná se o čirou, bezbarvou tekutinu, která obsahuje přibližně 99 % vody, aminokyseliny, minerály, bílkoviny a ionty kalía, natria, kalcia a kyseliny mléčné a askorbové. Oční mok neboli komorová voda, vytváří prostředí vhodné pro výživu čočky a rohovky (Hrušková, 2009). Komorová voda se podílí na udržování nitroočního tlaku, který oční koulí udržuje v patřičném tvaru (Orel, 2010).

1.1.3 Cévnatá vrstva

Rozptylu světelných paprsků uvnitř oka zabraňuje pigmentová vrstva, tzv. duhovka (*iris*), která odděluje přední a zadní oční komoru. Pomocí připojených svalů reguluje množství světla přicházejícího do oka. Světelný paprsek pak prochází otvorem ve středu duhovky, tzv. zornicí. Přičemž průměr tohoto otvoru se pohybuje v intervalu od 2 mm do 6 mm v závislosti na dopadajícím světelném toku (Reichl, 2011). Regulace světla zornicí se nazývá zornicový (pupilární) reflex. Centrum pro řízení hladkého svalu ovlivňujícího zúžení zornice (*miosis*) se nachází na úrovni středního mozku. Centrum pro rozvěrače zornice ovlivňující rozšíření (*mydriasis*) leží v prodloužené míše (Orel, 2010).

Ačkoliv je barva a struktura duhovky dědičná má každý člověk individuální charakteristiku duhovky. Tato skutečnost se využívá k identifikaci osob pomocí duhovkové biometrie, která se používá během poslední dekády. Tato metoda je jednoznačná, přesná a stálá. Jejím průkopníkem jsou Spojené arabské emiráty, které využívají duhovkovou biometrii na imigračních úřadech. Více v článku: *Identifikace skenem duhovky – Sci-fi nebo realita?* (Pavel Kožner, 10.2. 2011, časopis Vesmír 90, 79), dostupný na <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2011/cislo-2/identifikace-skenem-duhovky.html>.

Duhovka dále přechází v cévnatku. Cévnatka obsahuje vrstvu s tmavým pigmentem – melaninem. Ten absorbuje nadbytečné množství světla a tím zajišťuje vytvoření zřetelného obrazu na sítnici oka (Wolfová, 2002). V přední části cévnatka přechází v řasnaté tělísko (*corpus ciliare*), jehož podkladem je řasnatý sval. Ten je řízen autonomními nervy a slouží k akomodaci čočky.

1.1.4 Čočka

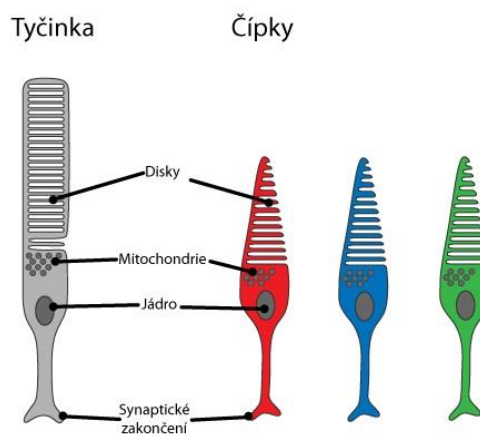
Čočka (*lens*) je tvořena elastickou, rosolovitou, průhlednou hmotou a je uložena v jemném vazivovém pouzdře. Je přibližně 4 mm silná a její optická mohutnost je 18 D. Akomodace čočky je založena na schopnosti přizpůsobení ohniskové vzdálenosti oka, a tím na zaostření objektů v různé vzdálenosti. Při smrštění řasnatého svalu dojde k tahu vláken, které jsou napojeny na čočku a k vyklenutí čočky. Tím se zvětší úhel lomu světelných paprsků – zaostření na blízké objekty. Při uvolnění opět dochází k jejímu zploštění – zaostření do dálky (Orel, 2010).

Prostor za čočkou vyplňuje sklivce. Jedná se o rosolovitou, průhlednou, dokonale světlopropustnou vláknitou hmotu, která obsahuje 99 % vody. Hlavní funkcí sklivce je udržovat nitrooční tlak a hladký povrch sítnice (Čihák, 2016).

1.1.5 Vnitřní vrstva

Vnitřní vrstvu oka tvoří smyslová vrstva neboli sítnice (*retina*), která má tři části: optickou, řasovou a duhovkovou. Na sítnici dochází k transformaci světelných paprsků na elektrické impulzy zrakového nervu.

Optickou část (*pars optica*) tvoří pigmentová a neuroepiteliální vrstva. Pigmentová vrstva přiléhá k cévnatce a slouží k výživě a transportu kyslíku pro tyčinky a čípky. Obsahuje pigment melanin, který pohlcuje světelné paprsky a tím zajišťuje světelnou separaci. Neuroepiteliální vrstva obsahuje tyčinky a čípky, které jsou vlastními smyslovými elementy. V oku se nachází kolem 120 milionů tyčinek a 7 milionů čípků. Tyto fotoreceptory přijímají světelné a barevné podněty a tím umožňují vidění. Tyčinky slouží k černo – bílému vidění ve tmě (skotopické vidění), jsou úzké a protáhlé. Čípky slouží k barevnému vidění přes den (fotopické vidění), jsou širší a kratší než tyčinky (Orel, 2010). Signály z fotoreceptorů se dále vedou zrakovými nervy na zrakovou dráhu v mozku (Vidění, 2010). Místo, kde vedou vlákna gangliových buněk (tvořící zrakový nerv) signály z fotoreceptorů k mozku se nazývá slepá skvrna. Nachází se v zadní části oka a jedná se o jediné slepé místo na sítnici bez čípků a tyčinek (Orel, 2010).



Obrázek 2 : Fotoreceptory sítnice

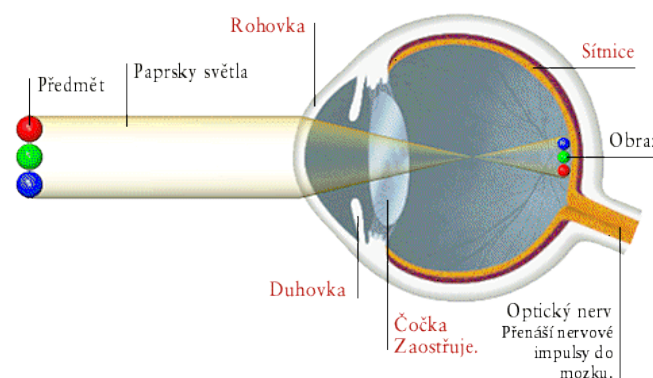
Funkčně nejdůležitější částí sítnice je tzv. žlutá skvrna, která obsahuje nejvyšší hustotu světločivných receptorů – čípků. Má průměr kolem 2–3 mm a je místem nejostřejšího vidění. Část žluté skvrny, která obsahuje pouze čípky, se nazývá centrální jamka (*fovea centralis*). Ta se nachází ve středu skvrny a obsahuje foveální čípky, které mají jemnější stavbu (Orel, 2010).

1.2 Fyziologie vidění

Vidění je velmi složitý biofyzikální a biochemický proces. Zahrnuje procesy příjmu informace přinášené do oka světleným paprskem, její zpracování, transformaci v nervové signály a syntézu zrakových vjemů v mozkovém centru vidění.

1.2.1 Biofyzikální proces

Světlo z pozorovaného předmětu nejdříve narazí na rohovku, kde nastává první lom světla a centrování do středu oka. Dále světelný paprsek prochází přes zornici a komorovou vodu k čočce. V komorové vodě dochází k druhému lomu. Světelný paprsek při procházení čočkou je několikrát lomen a vytváří tak jemný a stupňovitý efekt. Světlo končí na stěně sítnice, kam se dostane přes sklivec. Obraz vzniklý na sítnici je přesný, zmenšený, ale převrácený. Světelný paprsek na sítnici absorbují fotoreceptory – čípky a tyčinky. (Wolfová, 2002)



Obrázek 3: Vznik obrazu na sítnici

1.2.2 Biochemický proces

Po dopadu světelného paprsku na sítnici foton aktivuje světločivný pigment rhodopsin, který je obsažen v tyčinkách. Ten je složen ze dvou složek. Nепroteinovou částí rhodopsinu je

aldehyd vitamínu A - retinal neboli chromator. Retinal se v regenerovaném stavu nachází v 11-cis formě, kdy tvarem zapadne do molekuly proteinové části rhodopsinu – opsinu (Synek, 2014). Po aktivaci rhodopsin přenáší signál na transducin (G – protein v tyčinkách). Dále se signál přenáší na fosfodiesterázu (PDE), která aktivuje akční potenciál degradací cGMP na necyklický GMP. Hyperpolarizací membrán tyčinek se pak vzruch šíří až k první synapsi zrakové dráhy. Tento průběh reakcí se nazývá fosfotrandukční kaskáda obratlovců (Fontana a kol, 2015).

Vznik akčního potenciálu na čípcích se nijak neliší od procesu vzniku v tyčinkách. Stejně jako tyčinky i čípky obsahují 11 – cis – retinal, který ovlivňuje přenos vzruchů na zrakové dráhy. V lidském oku se nacházejí tři druhy čípků, které obsahují odlišné barevné pigmenty schopné absorbovat světlo o různých vlnových délkách: modrý pigment (maximum absorpce 420 nm), zelený pigment (maximum absorpce 535 nm) a červený pigment (maximum absorpce 565 nm).

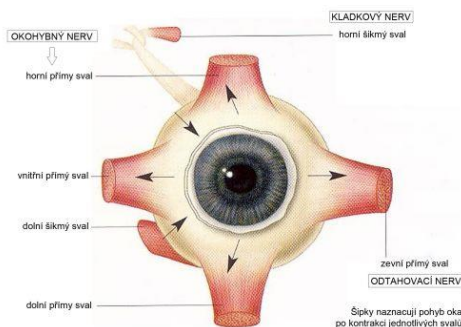
Lidé, lidoopi a opice Starého světa vnímají pomocí čípků tři základní barvy: modrou, zelenou a červenou – trichromatické vidění. Biologové z Ohiu University zjistili, že trichromatické vidění vzniklo jako nástroj k rozpoznávání potravy a postupným vývojem slouží jako nástroj pohlavního výběru. Během evoluce se tak některým primátům zbarvila pokožka či srst červenou barvou, aby byli atraktivnější pro samice, např. mandril rýholící (*Mandrillus sphinx*). (Otčenášková, 2007)

Lidské oko má zrakovou dráhu složenou ze čtyř neuronů, jež vedou signály ze sítnice přes zrakový nerv do centra zraku. Prvními neurony jsou samotné fotoreceptory (tyčinky a čípky), které zachytí světelné paprsky. Druhými neurony jsou bipolární neurony, které přijímají informace z fotoreceptorů a předávají je multipolárním neuronům. Ty jsou uloženy na vnitřní straně sítnice a jejich neurity tvoří *nervus opticus*. Tyto nervy se za oční kříží v *chiasma opticum*. Nervová vlákna čtvrtých neuronů probíhají do zrakového pole v okcipitální oblasti (Fontana a kol, 2015).

Díky zkřížení nervů v *chiasma opticum* dochází ke směrování zrakových vjemů k opačným mozkovým hemisférám. Pravá hemisféra dostává vzruchy z levých zorných polí obou očí, levá z pravých zorných polí očí. Mozek dále zpracuje zraková vjemy do celku, rozliší detaily a obraz převrátí (Synek, 2014).

1.3 Oční pohyby

Oko je jeden z nejpohyblivějších orgánů v těle. Jeho pohyb umožňuje šest okohybných svalů. Oko tak může sledovat pohyblivý objekt, či jej fixovat při pohybech hlavy, ve svislé, vodorovné, příčné a šikmé ose. Činnost svalů je řízena okohybnými centry umístěnými v prodloužené míše a středním mozku (Synek, 2014).

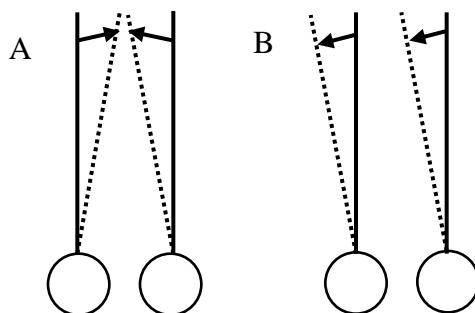


Obrázek 4: Schéma okohybných svalů

Část prostoru, který vidíme jedním okem v daném okamžiku, se nazývá zorné pole. Jeho rozsah je určen tvarem obličeje, čela a nosu (Hutyrová, 2007). Obě oči poskytují zrakové pole přibližně v rozsahu 200° na šířku a 130° na výšku. Nestejná struktura sítnice však způsobuje, že více než 40 % mozku zpracovává pouze 5 % oblasti zorného pole (Popelka, 2015).

Jednou z částí sítnice je i místo nejostřejšího vidění (foveální vidění), tzv. žlutá skvrna (*fovea centralis*). Ta obsahuje nejvíce čípků a žádné tyčinky. Tím je zajištěná vysoká rozlišovací schopnost. Jelikož počet čípků směrem k periférii ubývá, dochází v místech parafoveálního pásu a vnější perifoveální oblasti k tzv. perifernímu vidění, které zaznamenává pohyb a je méně ostré než foveální. Pokud tedy sluneční paprsek podráždí buňky v této oblasti, dojde k pohybu očí tak, aby se obraz zobrazil na žluté skvrně (Hutyrová, 2007). Tímto reagují na příkazy z různých částí mozku a dochází k jejich různým způsobům pohybu (Popelka, 2015). Zorné pole žluté skvrny odpovídá 5° (Duchowski, 2007).

Hlavní funkcí očních pohybů je umístit a udržet obraz na žluté skvrně. Oční pohyby se nejčastěji rozdělují na konjugované a diskonjugované. Přičemž konjugované se pohybují ve směru vzhledem k objektu a diskonjugované v opačném směru (Jošt, 2009).



Obrázek 5: Druhy očních pohybů: A diskonjugované, B konjugované

Mezi konjugované pohyby očí patří pohyby fixační, sakadické, plynule sledovací a vestibulárně-optokinetické (Jošt, 2009). Tyto podvědomé pohyby (nezpůsobené naší vůlí) zajišťují stálou aktivitu oka (Skopalík, 2003).

Tab.1: Typické hodnoty pro pohyby očí (Marvan, 2013).

Typ	Trvání	Amplituda	Rychlost
fixace	200 – 300 ms	–	–
sakáda	30 – 80 ms	4 – 20 °	30 – 500 °/s
glisáda	10 – 40 ms	0,5 – 2 °	20 – 140 °/s
hladké sledování	–	–	10 – 30 °/s
mikrosakáda	10 – 30 ms	10 – 40 ′	15 – 50 °/s
tremor	–	< 1 ′	až 20 ′/s
drift	200-1000 ms	1 – 60 ′	6 – 25 ′/s

1.3.1 Fixační oční pohyby

Fixační oční pohyby neboli fixace jsou pohyby, které oko vykonává při zaměřování na určitý pevný bod. V této fázi žlutá skvrna zachytává 1 – 2 stupně zrkového úhlu, což při vzdálenosti 30 cm od papíru odpovídá 3 – 6 písmen textu na stránce A4. Parafoveální oblast při této vzdálenosti zachytává kolem 4 stupňů zrkového úhlu - 18 písmen textu (Kaňa, 2008). Rozlišují se tři druhy fixace: rychlý korekční pohyb - mikrosakády, drobný třes očí - tremor a pomalý klouzavý pohyb - drift (Jošt, 2009).

Tremor – oční třes – má nejmenší amplitudu o 20 – 30 úhlových sekund a vysokou frekvenci až 100 Hz či kmitů za sekundu. Tremor jednoho oka je jiný než tremor druhého

a částečně nasedá na drift a mikrosakády (Jošt, 2009). Jeho funkce a význam není znám (Skopalík, 2003).

Pomalý klouzavý pohyb neboli drift je charakterizován amplitudou až 20 úhlových minut a může trvat i několik sekund. Při driftu dochází k posunutí objektu ze žluté skvrny, zpět na místo nejostřejšího vidění se objekt dostane pomocí rychlé mikrosakády. Po zpětném přesunutí dochází k novému driftu. Tento opakující se proces je nezbytný pro udržování zrakového vjemu (Skopalík, 2003).

Na rozdíl od tremoru a driftu mají mikrosakády obou očí stejnou spříženost. Mikrosakády jsou vyznačeny svou vysokou rychlostí, jejich amplituda je podobná amplitudě driftu a mají frekvenci 1–2 pohybu za sekundu (Jošt, 2009).

1.3.2 Sakadické oční pohyby

Sakády jsou nerychlejší oční pohyby, které zajišťují zachycení rychle pohybujících se objektů a jejich promítnutí na žlutou skvrnu (Jošt, 2009). Sakadické pohyby jsou automatické, probíhají nezávisle na vůli a při jejich průběhu dochází ke skokové změně pohledu (Čihák, 2016). Pro sakády je charakteristický jejich specifický rys, a to poměr mezi amplitudou a jejich maximální rychlostí. Tento poměr se nazývá hlavní sekvence (Jošt, 2009). Hlavní sekvence je natolik specifická, že se dá vyjádřit vzorcem $d = 2,2 * a + 21$, kde d vyjadřuje dobu trvání sakády v ms a a je hodnota amplitudy sakády ve stupních. Nejrychlejší sakády mohou dosáhnout rychlosti až 900 stupňů za sekundu a amplituda může dosahovat až k desítkám stupňů (Kaňa, 2008).

Aby obraz nebyl na sítnici rozmazaný, díky rychlosti sakadických pohybů, nastává jev tzv. sakadické suprese (omise). Jedná se o potlačení či oproštění od deformace obrazů. Jedna z teorií, jak sakadická suprese funguje, je založena na domněnce tzv. centrální anestésie. Mozek při sakádách dá příkaz, aby byly ignorovány všechny vizuální podněty. Dále je zvýšen vizuální práh. Centrální anestésie se snadno může ověřit při pohledu do zrcadla, ale neplatí zcela u vysoce kontrastního podnětového pole (např. čtení). Pro vysoce kontrastní podnětové pole je navrhována teorie tzv. vizuálního maskování. Informace získané před sakádou a po ní maskuje informace, kterou oko získalo během sakadických pohybů (Jošt, 2009).

1.3.3 Plynule sledovací oční pohyby

Plynule sledovací oční pohyby jsou poměrně pomalé pohyby, které minimalizují cílové pohyby pomáhající přenášet obraz na sítnici (Erkelens, 2006). Umožňují hladce sledovat objekty ve vizuálním poli oka. Při těchto pohybech nedochází k rychlým skokům a fixacím. Jejich pohyb je plynulý a celou dobu kopírují pohyb sledovaného objektu. Díky jejich kopírování nedochází k supresi, a tím i k neustálému ostrému obrazu (Jošt, 2009).

1.3.4 Vestibulárně – optokinetické oční pohyby

Vestibulárné a optokinetické oční pohyby slouží k udržení obrazu na žluté skvrně během pohybu hlavy. Jejich pohyb je reflexivní a je řízen z nižších úrovní mozku. Oba druhy pohybů mají latenci (reakční dobu) kolem 10–15 ms (Jošt, 2009).

1.3.5 Vergence

Aby se oba obrazy z obou očí spojily v jeden obraz na sítnici je potřeba, aby se osy z obou očí při pohybu křížily a měnily svůj úhel. K tomu jsou potřeba tzv. vergence. Jedná se o pohyby, které patří mezi dysjugované oční pohyby. Aktivují se tehdy, když se obraz jednoho objektu promítá na odlišná místa na sítnici obou očí. Vergence se pohybují maximální rychlostí $12^\circ/s$ a jejich latence se pohybuje kolem 200 ms (Jošt, 2009).

1.4 Historie sledování pohybu očí

První informace o lidském těle a jeho fyziologii již začali systematicky shromažďovat starověcí přírodovědci, filozofové, ale zejména lékaři. Až do 19. století se vědci zabývali strukturou a funkcí oka. Od 19. století se začali podrobněji věnovat i jeho pohybům a principem sledování bodů pozornosti. Aby lépe porozuměli funkci a významu pohybů očí vynalezali zařízení, která se postupem času zdokonalovala. Dnes již máme přístroje, pomocí kterých můžeme přesně sledovat pohyby očí a určit jejich význam.

1.4.1 Starověk

Jedny z prvních záznamů vědomostí o lidském těle pocházejí z Egypta. Díky již plnému rozvinutí hieroglyfického písma mohli lékaři ve starověkém Egyptě své poznatky zaznamenat na papyrus a ponechat je dalším generacím. Papyrus většinou uchovávali v tzv. „domech

života“, které sloužily jako akademie, vysoké školy a ústřední knihovny. Tyto domy byly centrem vědy a pracovištěm učenců, kteří nejen léčili nemocné, ale i vytvářeli kalendáře, udíleli náboženské a právní rady a vzdělávali se v magii a ve výkladu snů. Ačkoliv se starověcí Egypťané pokoušeli o první systematické výklady životních projevů organismů, tvar a vzájemná funkce lidských vnitřních orgánů jim nebyla známá. Celou teorii o lidském těle mechanicky přenášeli z pitev a pozorování zvířecích těl, tudíž často docházelo k chybným závěrům. Například v egyptské anatomii z této doby cévy rozváděly nejen krev, ale i vzduch, vodu, sliz, slzy, moč, sperma, ale i stolici. Také se domnívali, že vzduch je životodárný prvek, ale krev je nositelem nemocí (Soukup, 2004).

Jednou z nejstarších učebnic lékařství je Ebersův papyrus. Ten je dnes uložen v knihovně Lipské univerzity a je dosud nejvýznamnějším a nejdelším papyrusem pojednávajícím o egyptském lékařství z dob 9. roku vlády krále Amenhotepa I. (asi 1550 před Kristem). Autor tohoto díla není znám, a proto papyrus dostal jméno po svém objeviteli Georgovi Ebersovi, který dokument zakoupil od jistého Egypťana. Ten ho údajně v roce 1862 našel v jedné z thébských hrobek. Ebersův papyrus na svých 108 stranách obsahuje 875 různorodých receptů bez logického seřazení. Je zde zaznamenána skutečnost, že srdce je centrem cévní soustavy a řídí velké množství cév, které se podílejí na transportu tekutin do a ze všech částí těla. Dále papyrus obsahuje např. kapitoly o mentálních poruchách (deprese a demence), antikoncepčních metodách, střevních onemocnění, kožní problémy, stomatologii či léčbě popálenin (Nakládalová, 2016). Nachází se zde i kapitola o očních vadách, která obsahuje 29 chorob očí (Orel, 2010). Jednou z chorob je i šedý zákal, který dokázali operovat. Provedení je popsáno například i v knize Egypťan Sinuhet. Tento způsob operace se udržuje v některých zaostalých zemích dodnes.

Fungování lidského těla a jeho léčbu dlouho ovlivňovalo náboženství. Avšak v Indii byly již ve starověku povoleny pítvy. Proto jejich představa o lidském těle byla lepší než v tehdejší Egyptě či Mezopotámii. Pitva v Indii byla však podmíněna macerací mrtvolky ve vodě. Lidské tělo bylo ponořeno týden do potoka, tím došlo ke zkreslení údajů o lidské anatomii. Indiští lékaři se tak domnívali, že lidské tělo obsahuje empiricky nepostihnutelnou látku tzv. „éter“, z níž vzniklo světlo, voda a země. I přes mnoho paradoxů však Indové dosáhli velkého pokroku, a to především v chirurgii. Běžně prováděli operace břišní dutiny, odstraňovali kameny z močových cest, či operovali oční zákal (Soukup, 2004).

Ve vědomostech o lidském těle samozřejmě nezůstávala pozadu ani Čína. Ti se díky teorii z filozofického učení o věčném boji mužského aktivního principu „jang“ a pasivního ženského principu „jin“ zabývali, dnes alternativní metodou léčení, akupunkturou (Soukup, 2004).

K hlubšímu poznání lidského těla však přispělo hlavně antické Řecko a Řím. Antičtí učenci poprvé syntetizovali přírodovědné poznatky a pokusili se o jejich systematiku. Starověcí Řekové brzy opustili od náboženského a mytologického poznání těla a začali se věnovat spíše filozofické interpretaci světa. Významným pojem z této doby je „fýsis“ (příroda, přirozenost). Antičtí učenci své poznání totiž zakládaly na myšlence, že mikrokosmos člověka je součástí celého vesmíru. Při léčbě se tak snažili obnovit vztah mezi člověkem a přírodou, jenž byl při nemoci přerušen. Také se domnívali, že mozek je centrem duševní činnosti lidského těla a tím registruje a vyhodnocuje získaná data lidskými smyly. Tato hypotéza se připisuje **Alkmaiónovi z Krotónu** (570–500 př. n. l.), který své teorie zakládal na filozofii Pythagora (Soukup, 2004). Alkmaión sice neprováděl lidské pitvy, ale např. při pitvě oční bulvy vola objevil optický nerv, avšak chybně si myslel, že se jedná o kanál propojující mozek s okem. Dále se domníval, že zprostředkovatelem zraku je tekutina nacházející se uprostřed oka, která protéká objeveným kanálem do mozku (Orel, 2010).

Nejslavnějším lékařem z antického Řecka je však **Hippokratés z Kósu** (460–377 př. n. l.). Domníval se, že temperament člověka je ovlivněn převahou jedné ze čtyř tekutin, které se nacházejí v lidském těle – krev, sliz, světlá žluč a černá žluč. Také je zastáncem teorie nemoci jako přirozeného stavu a procesu, který je příčinou nerovnováhy těchto tekutin v těle. Své znalosti a výsledky pozorování společně se svými studenty sepisuje do 58 spisů sepsaných v 73 knihách – tzv. *Corpus Hippocraticum*. Hippokratés je také autorem prvního etického kodexu tzv. Hippokratovy přísahy – obsahuje etické požadavky na konání a jednání lékaře, slib obětavosti, slib časově neomezené povinnosti pomáhat, slib mlčenlivosti atd. Od roku 1948 je z něj odvozen lékařský slib platný dodnes (Hanák, 2015).

Dalšího velkého vývoje věda dosáhla v 4. a 3. století př. n. l., kdy v Egyptské Alexandrii vzniklo významné kulturní a vědecké centrum – Museion (Chrám múz). K rozvoji antropologických znalostí zde převážně přispěli svými objevy Hérofilos a Erasistratos (Soukup, 2004). **Hérofilos z Chalkédonu** (335–280 př. n. l.) byl jeden z představitelů Alexandrijské lékařské školy a proslavil se jako anatom a zakladatel lékařské školy Hérofilvců. Své objevy v anatomii získával pomocí pitev lidských těl, díky kterým dokázal popsat anatomii oka, mozku, nervového a cévního systému a pohlavních orgánů. Své objevené poznatky sepsal

do 11 spisů. Jedním z nich je i spis o oftalmologii tehdejší doby. Na Hérofilose navázal **Erasistrátos z Keu** (330-250 př. n. l.). Prostřednictvím pitev prováděných na odsouzených zločincích k smrti popsal rozdíly mezi senzitivními a motorickými nervy a prozkoumal cévní soustavu (Kousalová, 2013).

V Římě se výzkum lidského těla vyvíjel pomaleji než v Řecku. I na dvoře římských císařů působil řecký lékař **Claudius Galénos** (129 až 199 n. l.). Galénos byl lékař gladiátorů a později lékař římských císařů Marca Aurelia a Commoda. Své objevy prováděl zejména na opicích a vepřích a své poznatky pak analogicky převáděl na člověka. Tím se dopustil opět některých omylů jako jeho předchůdci. Např. polohu srdce a svalstva u člověka popisoval podle anatomie psa. Avšak díky své kariéře lékaře gladiátorů měl občas možnost provést pitvu člověka, díky které správně popsal Achillovu šlachy, začátek nervu v sítnici oka. Správně popsal polohu a tvar čočky, rozeznal souvislost mezi úhlem očí a binokulárním viděním, popsal i svalstvo, které okem pohybuje (Soukup, 2004). Dále věřil v propojení přední a zadní oční komory a zrakové nervy popsal jako kanálky, které se spojí v bodě křížení (*chiasmatu*). Předpokládal, že těmito kanálky protéká tekutina, která způsobuje rozšíření zorničky a obklopuje čočku (Orel, 2010).

1.4.2 Středověk

Galénovo dílo bylo na dlouhou dobu poslední vrcholné dílo týkající se lidského těla. Důvodem je nástup křesťanství, kdy se pravdivostí poznání stala bible. Zatímco v evropských zemích tak pro medicínu a výzkum lidského těla nastává doba temna, na Východě dochází k rozkvetu vědeckého poznání o člověku (Soukup, 2004).

Rhazes (Abú – Bakr Muhamammad Ibn Zakarija al – Rázi), arabský lékař a přírodovědec, je jedním z vědců, kteří se podíleli na rozvoji středověké vědě o člověku. **Rhazes** (865 – 925) jako první rozlišil spalničky od neštovic, ale zabýval se i oční, pediatrikou a neurochirurgickou medicínou. Oftalmologií se začal věnovat hlavně díky jeho vlastnímu problému se zrakem. V pozdějším věku totiž začal trpět očními problémy, které vyústili až v jeho úplnou slepotu (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2018). Rhazes si například všiml, že se zornice po dopadu slunečního paprsku stáhne a při šeru rozšíří (Orel, 2010). Dále překládal a upravoval díla antických lékařů. V tom pokračoval i lékař bagdátských chalífů **Avicenna** (980 – 1037) – otec moderní medicíny. Avicenna se proslavil hlavně jako autor pětisvazkové lékařské encyklopedie *Al-Kánun fitt-tibb* (Kánon medicíny). Tato encyklopedie

sloužila jako základní učebnice lékařství až do roku 1800, obsahuje přehled teoretického a praktického lékařství, soupis léčivých látek, jejich použití a popis jednotlivých nemocí. Avicenna se zde zmiňuje i o existenci neviditelných tvorů, kteří způsobují onemocnění skrz vzduch a vodu. Proto doporučoval pít pouze vodu převařenou (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2018).

1.4.3 Novověk

14. a 15. století znamenalo pro evropské země nástup humanismu a renesance. Tyto směry v Evropě opět vyvolaly touhu po poznání lidského těla. Humanismus, který vznikl v Itálii, zdůrazňoval hodnotu člověka, jeho svobodu a rozvoj schopností. Renesance nepřinesla pouze nový umělecký styl, ale i nový způsob myšlení a nový pohled na svět (Soukup, 2004). Typickým renesančním umělcem, který spojoval přírodovědné znalosti s uměním, je **Leonardo da Vinci** (1452 – 1519). Ten prováděl pitvy lidského těla se svým přítelem doktorem Marcantoniem della Torre. Společně chtěli vydat velkou anatomii a fyziologii člověka ve 120 svazcích. Z toho plánu zbylo pouze 799 kreseb, které obsahují pouze psané poznámky. Leonardo se velmi pečlivě zakresloval části těla ze všech stran úhlů pohledu. Své názorné kresby začal od skeletu, kde důkladně zakresloval každou kost zvlášť ze všech stran a se všemi detaily. Poté je spojil v celý skelet a na ten začal napojovat svaly (Glenn, 2008). Tím důmyslně začal propojovat anatomii s biomechanikou. Dále objevil štítnou žlázu a formuloval „zákon analogie“, který tvrdí, že všichni živočichové na zemi mají stejný stavební plán. Také jako první zobrazil všechny části střeva i se zákruty a plod v děloze (Soukup, 2004; Glenn, 2008). V jeho nákresech se však našlo i schéma oka, zrakového nervu a črty týkající se mechanismu vidění (Orel, 2010).

Zásadním obratem ve výzkumu anatomie lidského těla bylo zahájení veřejných pitev. Ty začal provádět vlámský lékař **Andreas Vesalius** (1514 – 1564) na padovské lékařské fakultě. Při výuce osobně prováděl pitvy a popisoval jednotlivé orgány. Výsledky svých výzkumů a učení vydal v souboru několika anatomických kreseb pod názvem *Tabulae anatomicae sex* (Šest anatomických tabulek). Vesalius položil základy pro novověkou anatomii a fyzickou antropologii. Vyvrátil Galénovy omyly a vytvořil dílo, které se stalo vědcům vzorem po několik let – *De humani corporis fabrica libri septem* (Sedm knih o stavbě lidského těla). V první knize se Vesalius věnuje stavbě kostry a chrupavky, v druhé vazivu a svalům, ve třetí knize popisuje cévy, ve čtvrté nervy, v páté knize se věnuje trávicímu a urogenitálnímu ústrojí,

v šesté srdci a dýchacímú ústrojí, v poslední knize se věnuje mozku a smyslovým orgánům (Soukup, 2004).

Na padovské univerzitě působil i **Gabrielo Fallopio** (1523 – 1562), který rozpracoval a vysvětlil rozdíl mezi rohovkou a bělímou. Také popsal řasnaté tělísko a popsal jeho funkci závěsné struktury čočky. Jeho žákem byl i slavný **Hieronymus Fabricius** (1537 – 1615), který je považován za otce embryologie. Fabricius upřesnil uložení čočky a dokonaleji rozpracoval anatomické schéma oka (Orel, 2010). Od roku 1588 je studentem padovské univerzity i slovenský lékař, filozof a humanista **Jan Jesenský** (1566 - 1621). V roce 1600 provádí v Praze první veřejnou pitvu lidského těla v českých zemích a její popis vydává o rok později v devítisouborném spisu *Anatomiae Pragae anno MDC solanniter administratae historiai* (Chváta, 2015).

Počátkem 17. století poprvé zmínil matematik a astronom **Johannes Kepler** (1571 – 1630) zákonitosti optického prostředí oka a popsal zobrazení obrazu na sítnici. V knize *Oculus* jezuitský kněz, fyzik, optik a astronom **Christoph Scheiner** (1575 – 1650) popsal aktivní proces akomodace čočky (Orel, 2010). V 17. století také objevil anglický lékař **William Harvey** (1578 – 1657) princip krevního oběhu a položil základy embryologické teorie epigenese. Tím došlo k významnému kroku ve výzkumu funkce lidského těla a vznikla tak novověká fyziologie. Objevení mikroskopu bratry Jansenovými, a jeho využití nizozemským přírodovědcem **Anthonem van Leeuwenhoekem** (1632 – 1723) a anglickým přírodovědcem **Robertem Hookem** (1635 – 1703), umožnilo poznat lidské tělo i z mikroskopického pohledu (Soukup, 2004). Anthon van Leeuwenhoek tak v roce 1684 jako první pozoroval sítnici pod okem a díky tomu popsal tyčinky a čípky a stavbu oční čočky. Přesto jeho objev na čas upadl v zapomnění. V témže roce, kdy Leeuwenhoek pozoroval světločivné buňky v oku, fyzik a optik **William Briggs** (1642 – 1704) popsal šeroslepost a o 8 let dříve popsal a prokázal existenci výběžku zrakového nervu na sítnici (Orel, 2010).

Generace anatomů v 18. století (doba osvícenství) se snažila vytvořit dokonalý popis lidského těla. Maximální přesnost popisu lidského těla v obrazech vytvořil Bernhard Siegfried Albin (1697 – 1770) a Jan Wandelaera (Soukup, 2004). V 1. polovině 18. století došlo ke „zlaté“ době pro rozvoj výzkumu oftalmologie (Orel, 2010). Jedním z nejslavnějších představitelů vědců zkoumajících oko byl **Francois Pourfour du Petit** (1664 – 1741). Ten se věnoval anatomii, oftalmologii a chirurgii. Jako první přišel s uchováním preparátu oka pomocí zmrazení. Tím umožnil prohloubení výzkumu struktury oka a jiných orgánů. Objevil kanál mezi předními a zadními suspenzními vazy čočky, potvrdil existenci zadní oční

komory a věnoval se výzkumu sympatických nervů (Best, 2008). Dalším vědcem žijícím na přelomu 18. a 19. století, který se zabýval fyziologickou optikou, byl anglický fyzik **Thomas Young** (1773 - 1829). Ten vysvětlil astigmatismus, barevné vidění a akomodaci ploch čočky pro různé vzdálenosti. Své poznatky rozpracoval i z matematického hlediska, které přednesl 12. listopadu 1801 na Royal Society (Králová, 2018). O rok později objevil tři typy fotoreceptorů v oku, kterým přisuzoval registrování různých částí světelného spektra. Ty za 50 let znovu objevil a popsal **Hermann von Helmholtz** (1821 – 1894). Hermann rozlišil tři typy čípků (pro registraci modré, zelené a červené barvy) a jako centrum intenzity vnímání barev a jejich kombinace určil mozek (Orel, 2010). Youngovy a Hermannovy poznatky tvoří základ pro Youngovy -Helmholtzovy trichromatické teorie vidění – ty jsou založeny na schopnosti pozorovatele rozlišit barvy pomocí čípků, které obsahují tři světlocitlivé složky s různými pigmenty, které absorbují různá světelná spektra (Reichl, 2018). Helmholtz poprvé popsal neurony – nervové buňky a vynalezl oftalmoskop (oční zrcátko), které slouží k pozorování sítnice. Také sepsal před 220 prací věnujících se fyziologii smyslových orgánů, psychologii, teorii prostorového a barevného vidění, akomodaci oka, šířením světla, atd (Králová, 2015).

V roce 1823 potvrdil Youngovo teorii o akomodaci čočky český fyziolog, anatom, biolog a filozof **Jan Evangelista Purkyně** (1787 – 1869). Tento muž, jenž se stal slavným po celé Evropě, je autorem mnoha významných objevů. Položil základ buněčné teorie svým tvrzením, že buňky jsou základem života. Purkyně navrhl využití metody reflexních obrázků k diagnostice očních vad a chorob. Princip této metody je založen na odrazu reflexivních obrázků od přední a zadní části rohovky a čočky za pomoci posvícení do oka např. svíčkou. Dále popsal pohyb očí – nystagmu, vyrobil předchůdce stetoskopu a kinesiskopu. Prováděl pokusy ve farmakologii, studoval svaly v srdci a děloze, objevil jádro v savčím vajíčku a žaludeční žlázy, jako první popsal pokus s umělým podmíněným reflexem, a mnoho jiného (Svačina, 2017).

V 19. století se nezkoumala jen struktura oka a jeho funkce, ale započalo studium i očních pohybů. V roce 1879 **Louis Émile Javal** (1839 - 1907) objevil pomocí zrcátka a vlastního pohledu, že se oko nepohybuje plynule, ale existují určité fixace a sáky oka. Javal je považován za průkopníka ortoptiky. Byl aktivním členem *League of Teaching*, kam psal hlavně texty o čtení a psaní. Dále psal články o astigmatismu, ortoptice a navrhoval různé nástroje pomáhající při očních chorobách. Ačkoliv autorem stereoskopu je anglický vynálezce Charles Wheatstone, Javal tento přístroj obdivoval a později tento přístroj vylepšil a sestrojil svou vlastní verzi. Dále sestrojil se svým žákem Hjalmarem Schiötzem přístroj zvaný Javal –

Schiötz oftalmometr – prototyp keratometru, který se donedávna používal k měření zakřivení rohovky. Sestrojil i tzv. Javalovu mřížku, která je založena na principu fyziologické diplopie (dvojité vidění) a čtení barů (vedlejší jednotka tlaku). Nejvíce se však zajímal o strabismus (šilhavost), astigmatismus a keratometrii. Ke svým výzkumům Javal používal zajímavou techniku. Jednalo se o použití průsvitného zrcadla během pozorování sáček. Fixace pak zaznamenával pomocí mikrofonu, který byl přiložen na zavřeném víčku subjektu (Roper – Hall, 2007).

Psycholog **Edmund Burke Huey** (1870 – 1913) díky své snaze přivést do čtení vědu popsal v roce 1908 zařízení, pomocí kterého lze zaznamenat pohyby očí během čtení. Jednalo se o přístroj složený z neprůhledné plastové destičky s průřezem ve tvaru zornice a napojené jehly na lanku. Jehla pak zapisovala oční pohyby na papírový pás. To však požadovalo znečistlivění oka a pro zkoumaný subjekt to bylo velmi bolestivé. Své poznatky pak zaznamenal v knize *The psychology and pedagogy of reading* (Psychologie a pedagogika čtení), kde se držel i přesvědčení, že čtení je spojeno s učením se hodnot a způsobů dané kultury (Tilleuil, 2014).

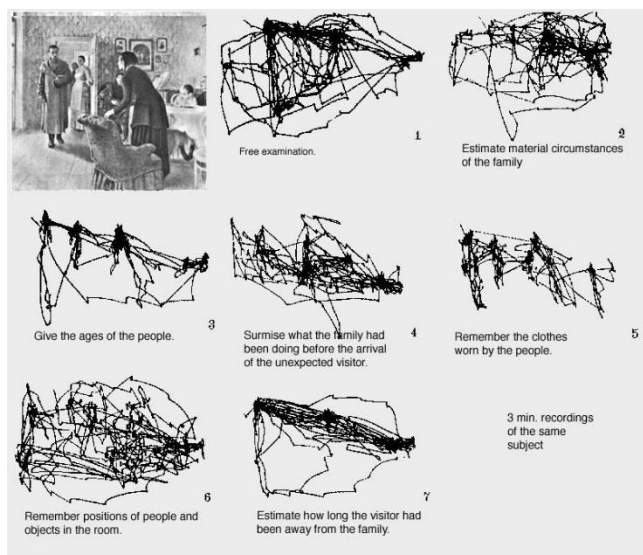
První zařízení, které dokázalo přesně zkoumat rychlost pohybů oka, bylo sestaveno v roce 1901. Jeho autory jsou Dodge a Cline a nazvaly ho fotokronograf. Jejich zařízení zaznamenávalo horizontální pohyby oka pomocí fotografické desky. Americký psycholog Charles H. Judde, o čtyři roky později, vyvinul fotografické zařízení, které zaznamenávalo horizontální a vertikální oční pohyby (Lupu, 2013).

Jedním z nejvýznamnějších průkopníků experimentální psychologie ve vzdělávání a čtení byl i americký psycholog **Guy Thomas Buswell** (1891 - 1994). Věnoval se hlavně psychofyziologii čtení a výzkumu výuky aritmetiky. Používal přístroj, který zaznamenával na fotografickou desku světelné paprsky odražené od zrcátka připevněného na čočce subjektu (Tilleuil, 2014). Toto zařízení vynalezli v roce 1911 Marx a Trendelenburg (VLET.osu.cz, 2014). Buswell pomocí přístroje zjistil, že každý druh pohybu očí má svou charakteristickou křivku učení a účinnosti. V roce 1937 také poukázal na skutečnost, že existuje významný rozdíl mezi hlasitým a tichým čtením, a že jedna osoba čte různými způsoby v různých okamžicích (Tilleuil, 2014).

V roce 1939 švýcarský psychiatr a psychoanalytik **Carl Gustav Jung** (1875 – 1961) zkoumal vertikální a horizontální oční pohyby pomocí elektrod přichycených na kůži kolem

očí. Metoda, kterou použil, se nazývá elektrookulografie (EOG) a umožnila (jako první metoda) zpracovat data prostřednictvím analogové elektroniky (Drewes, 2010).

V padesátých a šedesátých letech 20. století se zabýval sledováním očí a způsobem čtení i ruský psycholog **Alfred Lukyanovich Yarbus** (1914 – 1986). Pro své výzkumy vynalezl mnoho zařízení pro záznam a kompenzaci očních pohybů. Jedním z nich jsou i speciální kontaktní čočky, které se přisály na oko a byly vůči němu nehybné. Umožňovaly tak stabilní zaznamenávání obrazu na sítnici a pohybů očí pro delší dobu záznamu. Své poznatky pak zaznamenal v knize *The Role of Eye Motion in Vision Processes* (Role očních pohybů ve vizuálních procesech). V této publikaci se nacházejí i popisy jeho nejznámějších pokusů. V prvním pokusu Yarbus předložil osobám malbu *The Unexpected Visitor* od Ilya Repina a pak se jich zeptal na konkrétní otázky. Ze svého výzkumu zjistil, že trajektorie pohybu očí se mění v závislosti na položené otázce a odpovědi osoby (obr. 6). Také zjistil, že se různí lidé na obraz dívají podobným způsobem, ale ne stejným. Když je jedné osobě předložena opět stejná malba po několika dnech, pak výsledek zaznamenaného pohybu očí je opět pouze podobný. Při druhém výzkumu předložil subjektům obrázek dvou dívek bez instrukcí. Yarbus z analýzy záznamů zjistil, že když si osoba prohlíží portrét zobrazující pouze obličej, tak cykluje pravidelně po trojúhelníku – oči, nos a ústa – na fotografované osobě (Tatler, 2010). Dále popsal pět základních typů pohybů očí: fixace, sakády, drift, tremor a „sledovací“ (Lupu, 2013).



Obrázek 6: 1) Volné pozorování, 2) odhad bohatosti osob, 3) odhad stáří osob, 4) odhad předchozí činnosti, 5) zapamatování si oblečení, 6) zapamatování si pozic, 7) odhad doby od poslední návštěvy.

Vědci zabývající se pohyby očí však nepoužívali pouze mechanické prostředky, ale i optické, jako fotografie a později i videa. Tyto metody byly velmi pracné a dokázaly zachytit pouze výrazné pohyby očí. Ale umožňovaly již provést kvantitativní výzkumy. V roce

1947 využil metodu snímání očí pomocí kinofilmové kamery např. americký psycholog **Paul Fitts** (1912 – 1965). Ten studoval, kam se letečtí piloti dívají při používání ovládacích prvků v kokpitu (Drewes, 2010). Jednalo se o první měření směru pohledu, který byl analyzován z více než 500 000 filmových polí (Popelka, 2015).

1.4.4 Eye - tracking

S příchodem nové generace počítačů a dalších elektronických přístrojů se otevřela i nová možnost ke sledování pohybu očí. Začaly se používat kamery eye - trackery, které snímaly oči a sledovaly vybrané charakteristiky a kontrasty oka. Dále umožnily oddělit pohyb oka od hlavových pohybů. Zároveň mohly být v interakci s počítači a tím došlo i k lepšímu a vysokorychlostnímu zpracování a analýze dat (Drewes, 2010). V sedmdesátých letech 20. století tak začal rozvoj eye – trackerů a kladl se důraz hlavně na zvýšení přesnosti. Vzniklo spousta technik, které byly velmi přesné a dosud nebyly překonány. Jedná se hlavně o metody elektrookulografie (EOG), využití magnetických cívek a tzv. Dual Purkinje Image (DPI) tracker. Nejpresnější metodou je Dual Purkinje Image (DPI) tracker, jejími průkopníky jsou Crane a Steele (1985), kteří sestrojili první model Dual Purkinje Image eye – tracker umožňující měření horizontálních a vertikálních pohybů očí. Technika je založena na zachycení odraženého infračerveného světla od oka a využití prvního a čtvrtého Purkyňova obrázku (Hewitt, 1985).

Do konce dvacátého století bylo sledování očí používáno pouze pro vědecké, lékařské a vojenské účely. Hlavním důvodem byla vysoká pořizovací cena potřebných přístrojů. Až na konci 20. století ceny klesly a tím se stala metoda sledování pohybu očí dostupná i pro nové uživatele – např. obchodníky (Leggett, 2010). Od devadesátých let tak dochází k neustálému používání eye - trackerů v různých oblastech.

- V roce 1990 byl uskutečněn test společností Gallup Applied Science na fotbalových fanoušcích. Společnost zkoumala, kam se diváci dívají při určitých částech zápasu (Leggett, 2010).
- Koncem devadesátých let organizace EURO RSCG využila technologii eye - tracking na výzkum reakcí na informace návštěvníků webových stránek World Wide Web. Tento výzkum vyvrátil dlouho prosazovaný názor návrhářů, že by webové stránky měly být vytvořeny ve stylu časopisů, novin a jiných tiskovin (Leggett, 2010).

- V roce 2002 provedl Duchowski několik výzkumů v oblasti psychologie a neurovědy. Pomocí eye - trackingu sledoval autismus, Alzheimerovu chorobu, schizofrenii, dyslexii. Zabýval se i studiem řídičských schopností či ovládním počítačů (Lupu, 2013).
- S rozvojem virtuálního světa a videoher se začali britští vědci zabývat in – game reklamami. V roce 2006 vedli studii, jak efektivní by byla reklama jako digitální billboard ve videohrách (Leggett, 2010).

V srpnu roku 2001 byla založena firma Tobii Technology, která začala vyvíjet technologické přístroje pro metodu eye - tracking. Zakladateli této firmy jsou John Elvesjö, Marten Skogö a Henrik Eskilsson. V roce 2004 uvádí na trh první přístroj MyTobii D10. Vědci z Tobii Technology vynalezli v dalších letech přístroj, který například umožňuje uživatelům se zdravotním postižením ovládat zařízení pomocí očí, či pomáhá návrhářům webových stránek pochopit, jak jejich uživatelé prohlíží jejich webové stránky. Jejich poslední zařízení Tobii T60 XL Eye Tracker je první širokoúhlý eye - tracker, který se podobá standardnímu monitoru počítače s vestavěnými senzory pro sledování pohybu očí (Leggett, 2010).

Zájem o technologii eye - tracking rapidně roste i v České republice. Dnes se nachází eye - tracking laboratoře především ve výzkumných centrech a na půdě vysokých škol.

- Od června roku 2011 se na katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci provádí výzkumy hodnotící kartografické výrobky pomocí eye - tracking technologie. Dochází zde ke studiu vhodných forem map, jejich obsahů, 3D vizualizací, rozmístěním mapových prvků atd. Hlavním cílem vědců, podílejících se i na rozvoji eye - trackingové technologie, je vytvořit srozumitelnější mapy.
- V září roku 2013 vznikla výzkumná laboratoř eye - trackingu na Pedagogické fakultě Ostravské univerzity v Ostravě. Laboratoř na fakultě podporuje vědecké bádání vědecko – výzkumných akademických pracovníků, kteří se věnují rozvoji základního a aplikovaného výzkumu studentské populace.
- Od roku 2014 se nachází eye - trackingová laboratoř v Ústavu marketingu a obchodu Mendelovi univerzity v Brně. Vědci z této laboratoře se věnují výzkumu kvality webových prezentací, vzhledu tiskovin, obalů výrobků a prodejních nástrojů.

- V únoru roku 2016 bylo na Provozní ekonomické fakultě České zemědělské univerzity v Praze otevřeno nové pedagogické a vědecko – výzkumné pracoviště. V Laboratoři pro studium lidského chování využívají pro své výzkumy i metodu eye - tracking. Zaměřují se na zvýšení kvality výuky, na přínos nových trendů do výuky, podporu multioborovosti atd.

1.5 Metody měření pohybu očí

Existují čtyři hlavní kategorie metod pro měření pohybu očí: elektrookulografie (EOG), sklerální kontaktní čočky s indukční cívkou, fotookulografie (POG), videookulografie (VOG) a kombinace odrazů zornice a rohovky. Pomocí nich se můžou pozorovat dva druhy pohybu očí: pohyb očí vzhledem k hlavě či orientaci očí v určitém prostoru („bod pozornosti“). Metody, které nám zkoumají pouze pohyby vzhledem k hlavě nám pouze indukují pohyb očí. Avšak metody, které se zabývají druhým typem pohybů, nám dokážou určit i cíl pohledu. Nejčastěji používané přístroje, které se využívají při sledování aktivity očí a jejich pohyby, jsou obecně známé jako eye – trackery (Duchowski, 2007).

1.5.1 Elektrookulografie

Elektrookulografie, která se v sedmdesátých letech velmi rozšířila a je používaná dodnes, je založena na principu měření rozdílu v elektrickém potenciálu kůže pomocí umístění elektrod kolem očí (Popelka, 2015). Pomocí ní lze zaznamenávat pohyby a činnost okoohybných svalů – klidový oční potenciál mezi rohovkou a sítnicí oka (od 4 mV do 1,0 mV). Rohovka nese kladný náboj a sítnice náboj záporný. Corneoretinální potenciál pak vzniká střídavou depolarizací a hyperpolarizací neuronů v sítnici. Tento potenciál se pak šíří i do okolní tkáně a tím vzniká elektrické pole, které je zaznamenáváno EOG. Signál, který je změřen pomocí EOG z elektrického pole se nazývá elektrookulogram (Němcová, 2014).

Využitím EOG lze měřit pohyby očí relativně k hlavě, tudíž touto metodou nelze přesně určit místo pohledu, pokud není měřena i poloha hlavy (Marvan, 2013). Avšak umožňuje měřit pohyb i přes zavřené oči. Této vlastnosti se využívá hlavně při klinických výzkumech pohybu očí při spánku a snění (Popelka, 2015). EOG se dále využívá v robotice, při diagnostikování Bestovy choroby, k elektronystagmografii, při ovládání počítače či vozíku tělesně postiženým atd. (Němcová, 2014).

1.5.2 Sklerální kontaktní čočky s indukční cívkou

Velmi přesná metoda využívající se převážně k měření pohybu očí vůči hlavě. Provádí se pomocí indukční cívky, která je připevněna na kontaktní čočku. Toto zařízení je pak těsně přiloženo na oko subjektu. V minulosti se místo kontaktní čočky používaly sádrové kroužky, které byly přidělány přímo k rohovce. Pomocí cívky se pak měří vzniklý potenciál z elektromagnetického pole oka a elektrického proudu v cívce. Ačkoliv se jedná o velmi přesnou metodu (měří s přesností 5 až 10 obloukových sekund), její využití je pro zkoumaný subjekt velmi nepříjemné a nepohodlné (Duchowski, 2007).

1.5.3 Fotookulografie (POG) a Videookulografie (VOG)

Do této kategorie patří široká škála metod zaznamenávajících pohyby očí, které využívají spoustu rysů oka, např. tvar zornice, polohu limbu, odrazy od rohovky blízkých světelných zdrojů (nejčastěji infračervené světlo) a další (Duchowski, 2007). Pro kontinuální záznam se využívá videookulografie a pro statický snímek fotookulografie (Marvan, 2013). Naměřené vlastnosti očí mohou nebo nemusí být naměřeny automaticky a můžou zahrnovat i vizuální kontrolu zachycených pohybů očí. Vizuální hodnocení musí být provedeno ručně, čímž se tyto metody stávají zdlouhavé a náchylné k chybám. Nevýhodou je i závislost na frekvenci snímkování videa. Další nevýhodou je, že hlava respondenta musí být pevně fixována (např. pomocí opěrky hlavy/brady) z důvodu častého využití fotodiod namontovaných na rámech (Duchowski, 2007).

1.5.4 Kombinace odrazů zornice a rohovky

Ačkoliv výše uvedené metody jsou vhodné pro měření pohybu očí bez fixace hlavy či doprovodných měření a výpočtů pohybů hlavy nelze pomocí nich určit místo pohledu. Proto byly vynalezeny metody využívající sledování kombinace odrazů středu zorničky a rohovky za pomoci očních kamer eye - trackerů. Jedná se celkem o finančně dostupná zařízení, která se skládají z kamery a hardwaru pro zpracování obrazu pro zjištění bodů zájmu v daném reálném čase. Tyto přístroje pak mohou být uloženy na stůl/monitor či přímo na hlavu respondenta. Jejich vlastnosti jsou v podstatě totožné až na velikost (Duchowski, 2007).

Dnes se na hlavu respondenta umísťují brýle, které mají v obroučkách zasazeny oční kamery s infračerveným zdrojem. Nevýhodou tohoto systému je absence pevné vazby mezi pohledem oka a stimuly na obrazovce. Proto je potřeba využít scénických a statických kamer,

kteře jsou k monitoru přidány. Pak lze díky pevné pozici oční kamery vůči očím využít tuto metodu pro sledování scén, které se nevyskytují na monitoru. Pro sledování scén na monitoru je však účinnější využít oční kameru přidělanou přímo k monitoru. Ta je instalována přímo jako součást integrační části, či jako přídavné zařízení v podobě samostatné kamery připojené k obrazovce pomocí USB připojení (Marvan, 2013).

Princip těchto metod je založen na odrazu světelných zdrojů od rohovky vzhledem k umístění středu zornice. Typ světelného zdroje je velmi důležitý, jelikož při špatných světelných podmínkách může být obtížně zaznamenávána funkce oka. Proto se nejčastěji používá infračervené světlo, které tento problém eliminuje díky konzistentnímu a jednotnému osvětlení oka. (Lupu, 2013). Odrazy jsou známy jako Purkyňovy odrazy či Purkyňovy obrázky. V oku existují čtyři Purkyňovy obrazy, přičemž většina eye - trackerů využívá první Purkyňův obraz. Po kalibraci pomocí sledování kalibračních bodů je pak možné zjistit bod pozornosti respondenta. Kombinace odrazu zornice a rohovky poté způsobuje, že zaměření těchto dvou bodů odděluje pohyb očí od hlavy. Purkyňovy obrázky se objevují jako malé bílé skvrny poblíž zornice (Duchowski, 2007). Dnes jsou již trackery takzvané generace V, které dokáží zaměřit i čtvrtý Purkyňův obraz, a tím oddělit translační a rotační oční pohyby. Tím se tyto přístroje stávají velmi přesnými, ale hlava respondenta musí být stabilizována (Marvan, 2013).

1.6 Rychlost a přesnost měření

Eye - trackery snímají pohyb oka různými obnovovacími frekvencemi. Běžně se užívají přístroje s frekvencí snímání 60 Hz či 300 Hz. Nejnovější modely trackerů dnes mají obnovovací frekvenci snímání až 500 Hz. Jeden snímek je tak vytvořen zhruba za 2 milisekundy, přičemž rychlost nejrychlejších pohybů oka se pohybuje kolem 10 milisekund. Oční kamery jsou tak dostatečné pro měření očních pohybů i vzhledem k tomu, že doba tvoření efektivního obrazu na sítnici se pohybuje kolem 0,1 sekundy (přibližně 10 Hz). Pro představu moderní televize mají frekvenci snímání 100 Hz a klasický film 24 Hz (Marvan, 2013).

Přesné měření eye - trackerů závisí na dvou základních faktorech. Na přesném změřením a výpočtu pohledu přístrojem a na stavu zraku respondenta. Ideální zařízení by mělo umět stabilizovat obraz na sítnici v případě potřeby, detekovat nejmenší pohyby oka, jeho přesnost by měla být alespoň jedno procento či několik obloukových minut a mělo by umět okamžitě zpracovat data (Smolík, 2016). Ostrý obraz od monitoru při vzdálenosti 60 cm odpovídá

průměrné hodnotě kolem 20 mm (přibližně průměr mince o hodnotě 20 Kč), což odpovídá 1,5° (Marvan, 2013).

1.7 Parametry měření

Během měření eye - trackery mohou být shromážděny následující metrické hodnoty.

1.7.1 Subjektivní metriky

Pokud vědci měří použitelnost určitého prostředku (systému) mohou nejdříve pokládat uživatelům otázky týkající se použitelnosti. Tyto otázky se týkají pěti základních pojmů: vyučovací schopnost, pomoc, řízení, účinnost a ovlivnitelnost.

- Vyučovací schopnost: může se uživatel naučit všechny vlastnosti prostředku (systému).
- Pomoc: pokyny a připomínky jsou užitečné.
- Řízení: uživatel umí prostředek (systém) efektivně využívat.
- Účinnost: prostředek (systém) funguje či nefunguje tak, jak si uživatel představuje.
- Ovlivnitelnost: uživatel by prostředek (systém) doporučil svým blízkým.

Odpovědi na otázky týkající se těchto pět pojmů se kvantifikují jako Likertovo měřítko použitelnosti. Samotné otázky je potřeba přizpůsobit danému výzkumu a respondentům. Dále je možné zkoumat soulad, znalost, pochopitelnost, provozuschopnost a přitažlivost prostředku/systému (Duchowski, 2013).

1.7.2 Objektivní metriky

Objektivní metriky, které se dají zjistit pomocí metody eye - trackingu, se rozdělují na výkonnostní a procesní metriky. Tyto metriky se používají obecně pro kvantitativní výzkumy.

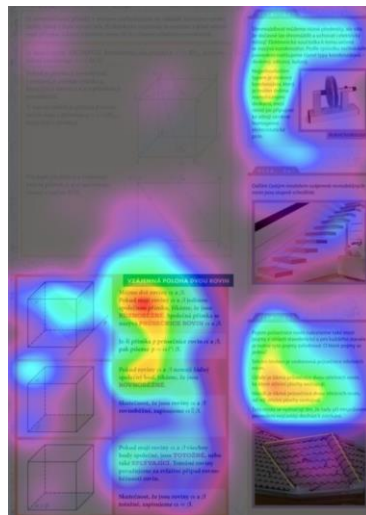
Do výkonnostních metrik patří výkonost a efektivita. Ve výkonosti se zkoumá čas na dokončení zadání a v efektivitě počet chyb. Do procesních metrik patří počet, doba a místo fixace, přecházení pozornosti, série a místo fixací a relativní procento fixací na určitém místě (Duchowski, 2013).

1.8 Výstupy měření

Pro prezentaci dat zaznamenaných pomocí metody eye - tracking jsou zpracovávány nejčastěji třemi základními reprezentačními technikami: teplotními mapami, přehráváním pohledů a tzv. gaze plots.

1.8.1 Heatmaps

Grafické znázornění dat Heatmaps (teplotní mapy) či Attention maps je určeno pro zobrazení „horkých“ a „chladných“ skvrn, které představují místa s největší pozorností uživatelů. Jejich tvorba spočívá v relativní hodnotě pixelu v poli zájmu. To znamená, že když se pohled zaměří na určitý soubor pixelů, tak se jejich hodnota zvýší a vybarví se „teplejšími“ barvami. Nejatraktivnější místa pozornosti jsou nejčastěji zobrazena červeně. Místa s menší pozorností pak postupně oranžově, žlutě, zeleně atd (Farnsworth, 2016).



Obrázek 7: Ukázka HeatMap na stránce učebnice

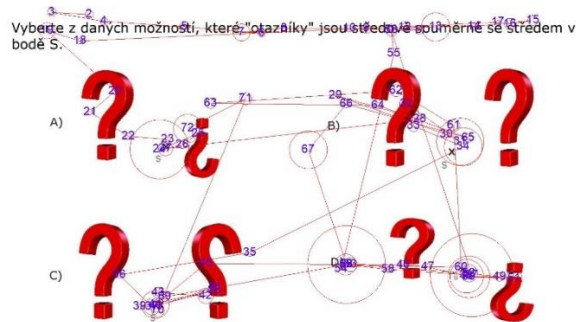
1.8.2 Přehrávání pohledů

Znázornění dat pomocí přehrávání videa, které zobrazuje záznam o fixacích v reálném čase. Tato technika je časově náročná na případné vyhodnocení dat, avšak je velmi efektivní, pokud při rozboru dochází k rozhovoru s respondentem (Marvan, 2013).

1.8.3 Gaze plots

Vizulace dat Gaze plots neboli Scanpath ukazuje umístění, pořadí a čas strávený na určitém místě pohledem. Jejich funkcí je odhalit časovou posloupnost pohledu.

Také znázorňují čas fixace pomocí menších a větších kruhů. Obecně lze říci, že čím větší kruh, tím delší fixace. Postup pohledu je pak očíslován číslicemi jdoucími vzestupně po sobě. Tato metoda vizualizace je vhodnější pro statistické zjištění údajů o malém počtu respondentů, jelikož při vyšším počtu může dojít k překryvu sledovaného obrazu a záznamů předchozích respondentů (Marvan, 2013).



Obrázek 8: Ukázka GazePlot na 4. úloze

2 Učebnice Matematiky

Obecný pojem „učebnice“ má spoustu definic jejichž autoři se více či méně shodují na jejich významu.

„Školní učebnice je druh knižní publikace uzpůsobené k didaktické komunikaci svým obsahem, strukturou a vlastnostmi.“ (Průcha, 1996, s. 13).

„...učebnice vychází z obsahové normy učebních osnov a vymezuje a konkretizuje obsah a rozsah učiva daného vyučovacího předmětu v daném postupném ročníku.“ (Wahla, 1983, s. 12).

„Učebnice představuje prostředek vyučování a učení v knižní formě, ve které jsou určitá odborná témata a okruhy daného předmětu metodicky uspořádány a didakticky ztvárněny tak, že umožňuje učení...“ (Meyers Kleines Lexikon Pädagogik, 1988, s. 259).

„Učebnice je komplexní, kombinovaný typ označovaný někdy jako učební kniha, spojující učebnici, cvičebnici v jeden celek: kniha obsahuje výchozí texty (jazykový materiál pro vyvození pojmů a pouček), výklad učiva nebo alespoň poučení (ve formě pouček) a cvičení; některé učebnice obsahují rejstříky a slovníky pojmů – termínů.“ (Čechová, 1989, s. 81)

Ve správném vymezení pojmu však záleží na systému, s kterým budeme na učebnici nahlížet. Učebnice je členěna do tří kategorií: učebnice jako prostředek ve vzdělávacím programu, učebnice jako prvek v souboru didaktických prostředků a učebnice jako druh školních didaktických textů (Průcha, 1996).

2.1 Funkce učebnic

Funkce učebnic se liší v závislosti na uživateli. Je tedy potřeba důkladně rozlišovat učebnice pro učitele a učebnice pro žáky/studenty.

Učebnice pro učitele mají hlavně napomáhat k plánování obsahu učiva, jeho prezentaci z pohledu verbálního i obrazového a k hodnocení výkonu žáků. Tyto funkce se často označují jako *didaktická vybavenost učebnice* (Tlačilová, 2012).

Učebnice pro žáky by měly být zaměřeny na předávání informací ve srozumitelné struktuře a na rozvíjení klíčových kompetencí žáků. Dále by měla učebnice žáka naučit, jak pracovat s informacemi, rozvíjet jeho fantazii, smysl pro detail a estetičnost.

Funkce učebnice podle Skalkové (1999):

- poznávací a systemizační
- upevňovací a kontrolní
- motivační a sebezvzdělávací (stimuluje k samostatnému osvojování učiva)
- koordinační (mezi různými didaktickými prostředky)
- rozvíjející, výchovná
- orientační (pomocí obsahu, rejstříku, pokynů informuje žáky a učitele)

Funkce učebnice podle Zujeva (1983):

- informační funkce: učebnice vymezuje obsah vzdělávání i z hlediska rozsahu a počtu hodin potřebných pro osvojení si informací žáky
- transformační funkce: učebnice obsahuje didaktickou transformaci informací tak, aby byly žákům přístupné
- systematizační funkce: v učebnici je učivo rozčleněno do určitého systému vzhledem k obsahu, ale i ročníku či stupni školy
- zpevňovací a kontrolní funkce: učebnice je podpůrným prostředkem pro osvojení si určitých poznatků a klíčových kompetencí
- sebezvzdělávací funkce: učebnice umožňuje samostatnou práci žáků s učebnicí a dostatečně je motivuje k určitým potřebám a vzdělávání
- integrační funkce: učebnice integruje různé poznatky z odlišných oborů
- koordinační funkce: učebnice podporuje koordinaci s dalšími didaktickými prostředky na které navazuje či odkazuje
- rozvojově výchovná funkce: učebnice harmonicky vytváří u žáka i jiné rysy (estetičnost, smysl pro detail, rozvoj fantazie)

Učebnice se nemusí lišit od běžné knihy svou strukturou a podobou, ale musí se lišit způsobem užívání. Westbury (1994, s 5233) tvrdí, že učebnice jsou „*integrální součástí všech moderních školských systémů, pro které je učebnice pramenem informací, které jsou obsahem komunikace ve škole, základním prostředkem organizace kurikula a základním nástrojem pro vyučování a učení.*“.

2.2 Struktura a hodnocení učebnic

Učebnice by měly být strukturované a měly by obsahovat určité základní typické komponenty (Sikorová, 2007). Struktura by měla být hierarchicky členěná a propojená. Dále by měla využívat specifických vyjadřovacích prostředků, které odpovídají různé funkci učebnice (Průcha, 1998).

J. Průcha ve své knize vytvořil obecný strukturní model učebnice, kde uvádí základní strukturní prvky. Na tomto modelu je pak založeno jedno kritérium pro hodnocení vhodnosti učebnic – didaktická vybavenost učebnice.

Model strukturní komponenty učebnice (J. Průcha 1998, s. 141):

APARÁT PREZENTACE UČIVA	
Verbální komponenty	<ul style="list-style-type: none">• výkladový text prostý• výkladový text zpřehledněný (přehledová schémata, tabulky apod.)• shrnutí učiva k celému ročníku• shrnutí učiva k tématům (kapitolám, lekcím)• shrnutí učiva k předchozímu ročníku• doplňující materiál (dokumentační materiál, citace, statistické tabulky aj.)• poznámky a vysvětlivky• podtexty k vyobrazením• slovníčky pojmů, cizích slov aj.
Obrazové komponenty	<ul style="list-style-type: none">• umělecká ilustrace• nauková ilustrace (schematické kresby, modely aj.)• fotografie• mapy, kartogramy, plánky, grafy, diagramy aj.• obrazová prezentace barevná (tj. použití nejméně jedné barvy odlišné od barvy běžného textu)

APARÁT ŘÍZENÍ UČENÍ	
Verbální komponenty	<ul style="list-style-type: none"> • předmluva (úvod do předmětu, ročníku pro žáky) • návod k práci s učebnicí (pro žáky a/nebo učitele) • stimulace celková (podněty k zamyšlení, otázky aj, před celkovým učivem ročníku) • stimulace detailní (podněty k zamyšlení, otázky aj. před nebo v průběhu lekcí, témat) • odlišení úrovní učiva • otázky a úkoly za témata, lekcemi • otázky a úkoly k celému ročníku (opakování) • otázky a úkoly k předchozímu ročníku (opakování) • instrukce k úkolům komplexnější povahy (návody k pokusům, laboratorním pracím, pozorováním aj.) • náměty pro mimoškolní činnosti s využitím učiva (aplikace) • explicitní vyjádření cílů učení pro žáky • prostředky a/nebo instrukce k sebehodnocení pro žáky (testy a jiné způsoby hodnocení výsledků učení) • výsledky úkolů a cvičení (správná řešení, správné odpovědi apod.) • odkazy na jiné zdroje informací (bibliografie, doporučená literatura j.)
Obrazové komponenty	<ul style="list-style-type: none"> • grafické symboly vyznačující určité části textu • užití zvláštní barvy pro určité části verbálního textu • užití zvláštního písma (tučné písmo, kurzíva aj.) pro určité části verbálního textu • využití přední nebo zadní stránky obálky pro schémata, tabulky aj.
APARÁT ORIENTAČNÍ	
Verbální komponenty	<ul style="list-style-type: none"> • obsah učebnice • členění učebnice na tematické bloky, kapitoly, lekce aj. • marginálie, výhmaty, živá záhlaví aj. • rejstřík (věcný, jmenný, smíšený)

Existuje řada výzkumů, které se věnují vhodnosti učebnic: Učebnice pod lupou (J. Maňák a D. Klapko, 2006), Učebnice a metody jejich hodnocení (J. Dytrychová, 2007), Rozbor učebnic (R. Šafaříková, 2008), Hodnocení a výběr učebnic v praxi (Z. Sikorová, 2007), Hodnocení obtížnosti textu středoškolských učebnic (P. Benešek, R. Janoušek, M. Novotný, 2009) aj. Většinou se zaměřují na kritéria a faktory, podle nichž lze učebnice hodnotit. Jedná se o schvalovací doložku Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, cenu, vzhled, didaktickou vybavenost, uplatňování didaktických principů a zásad, obsah a rozsah učiva a případné chyby (Molnár, 2007).

Podle Směrnice náměstka ministra pro vzdělávání ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy k postupu a stanoveným podmínkám pro udělování a odnímání schvalovacích doložek učebnicím a učebním textům a k zařazování učebnic a učebních textů do seznamu učebnic jsou za učebnice „...považovány didakticky zpracované texty a grafické materiály, který:

a) *umožňují dosažení očekávaných výstupů vzdělávacích oborů vymezených rámcovými vzdělávacími programy a využití tematických okruhů průřezových témat k rozvoji osobnosti žáka vymezených rámcovými vzdělávacími programy a směřují k utváření a rozvíjení klíčových kompetencí žáků,*

b) *svým obsahem a zpracováním nejsou určeny ke znehodnocení jedním žákem pro další použití (například psaním, kreslením nebo rozstříháním).“ (MŠMT, 2013)*

K udělení schvalovací doložky MŠMT podává podnět nakladatelství případné učebnice. Učebnice musí mít dva kladné posudky dle určených požadavků od vysokoškolského odborníka (zpravidla) a pedagogického pracovníka. Dále musí respektovat Ústavu ČR a právní předpisy, být v souladu s RVP a podporovat klíčové kompetence, odpovídat věku žákům a musí být zpracována na očekávané odborné úrovni s didaktickými postupy. Poté je schvalovací doložka přidělena na 6 let a nakladatel musí uvést na rubové straně titulního listu doslovné znění platné schvalovací doložky (MŠMT, 2013). Seznam učebnic, které mají schvalovací doložku od MŠMT lze nalézt na stránkách www.msmt.cz. K březnu 2018 má schvalovací doložku 22 učebnic matematiky pro střední školy od nakladatelství PROMETHEUS (MŠMT, 2018).

Cena učebnic matematiky pro různé střední školy a gymnázia se pohybuje průměrně kolem 130 korun. Učitelé by si však měli uvědomit, že neplatí přímá úměrnost mezi kvalitou a cenou učebnic. Jejich výběr je často ovlivněn i ekonomickými důvody školy a zda se k dané učebnici poskytují i doplňkové služby a materiály (vzdělávací texty pro učitele, doplňující CD,

pomůcky do třídy, pracovní sešity atd.). Z výzkumu z roku 2002 provedeném Pedagogickým centrem v Plzni a z výzkumu z roku 2004 provedeným v Moravskoslezském kraji vyplynulo, že cena učebnice není hlavním kritériem výběru učebnic učitelem, ale patří do prvních pěti faktorů (Sikorová, 2007).

2.3 Učebnice geometrie pro SŠ

Výuka geometrie na vyšším gymnáziu a středním odborném vzdělávání podléhá RVP stejně jako ostatní témata. RVP je rozděleno na gymnázia a na kategorie středních odborných škol podle oborů vzdělávání (obory J, E, H, LO a M, konzervatoře a nástavbové studium).

Gymnázia

Dle RVP se na gymnáziích učí geometrie v rovině (rovinné útvary, obvody a obsahy; shodnost a podobnost trojúhelníků; Pythagorova věta a věty Euklidovy; množiny bodů dané vlastnosti; úhly v kružnici, shodná zobrazení (osová a středová souměrnost, posunutí, otočení); stejnolehlost; konstrukční úlohy), geometrie v prostoru (polohové a metrické vlastnosti; základní tělesa, povrchy a objemy, volné rovnoběžné promítání), trigonometrie (sinová a kosinová věta; trigonometrie pravouhlého a obecného trojúhelníku) a analytická geometrie v rovině (vektory a operace s nimi; analytická vyjádření přímky v rovině; kuželosečky - kružnice, elipsa, parabola a hyperbola).

Očekávanými výstupy žáka jsou používání geometrických pojmů, využívání vlastností geometrických útvarů v rovině i prostoru, určování vzájemných poloh lineárních útvarů, využívání náčrtů při řešení problému, řešení polohových a nepolohových konstrukčních úloh užitím všech bodů dané vlastnosti, řešení analytických polohových a metrických úloh o lineárních útvech v rovině aj. (RVP, 2007).

Střední odborné vzdělávání

Obsah učiva se dle kategorií a oborů mírně odlišuje. Většinou se učí pouze planimetrie (základní pojmy, trojúhelník, mnohoúhelník, kružnice a kruh) a výpočet povrchů a objemů těles. Očekávanými výstupy žáka jsou sestavení trojúhelníku, rovnoběžníků a lichoběžníků z daných prvků, určení obvodu a obsahu kruhu, určení vzájemné polohy bodů, přímek a rovin aj. Na některých oborech se matematika nevyučuje vůbec (RVP pro střední odborné vzdělávání, 2009).

Vzhledem k odlišnosti vzdělávání na jednotlivých oborech je potřeba vybrat vhodnou učebnici matematiky, která splňuje požadavky RVP. Dnes je na trhu několik učebnic matematiky, které jsou různě specifické svým vzhledem a obsahem.

2.3.1 Matematika pro Gymnázia – Planimetrie (E. Pomykalová)

Učebnice Planimetrie určená pro gymnázia (i pro jiné střední školy) je součástí řady monotematických učebnic pro gymnázia vytvořených za podpory Jednoty českých matematiků a fyziků. Je vydána v roce 2010 nakladatelstvím PROMETHEUS a jejím autorem je RNDr. Eva Pomykalová.

Její formát je A5, vazba je brožovaná, měkká a lesklá. Na vzhledu obálky se podílel Miloš Jirsa a je typická pro tuto řadu učebnic. Obsahuje 224 stran, 3 kapitoly a 32 podkapitol. Důležité pojmy jsou v učebnici zvýrazněny tučným písmem a definice či důležitá fakta se v učebnici nacházejí v šedých rámečcích. Obsahuje přes 180 názorných obrázků týkajících se buď zadání úkolů či obsahu učiva. Na každém konci podkapitoly se vyskytuje několik neřešených úloh na procvičení látky (výsledky na konci učebnice), obtížnější úlohy jsou označeny *. Ve výkladové části jsou i doplňující úlohy označené otazníkem, které slouží pro prohloubení pochopení látky. V této publikaci se nacházejí i texty označené značkou trojúhelníku, které slouží pro studenty, které chtějí studovat matematiku i na vysoké škole. Součástí učebnice jsou i tři „výlety do historie geometrie“, které se věnují probíranému tématu. Na začátku každé podkapitoly je uvedeno využití znalostí a tím i podstatná část motivace pro žáky. Do roku 2023 má učebnice schvalovací doložku MŠMT jako součást ucelené řady.

2.3.2 Geometrie v rovině a v prostoru pro střední školy (J. Kadleček)

Učebnice geometrie od doc. RNDr. Jiřího Kadlečky, CSc. je určena pro studenty všech typů středních škol a odborných učilišť s nižší hodinovou dotací. V roce 1996 vydalo 1. vydání této učebnice nakladatelství PROMETHEUS. Učebnice Geometrie obsahuje jak část věnující se planimetrii, tak i část věnující se stereometrii.

Vazba učebnice je měkká a matná, vzhled obálky navrhl Karel Horák. Geometrie v rovině a v prostoru je rozdělena na 35 kapitol na celkem 322 stranách. Důležité pojmy a věty jsou zvýrazněny tučným písmem a důležitý (avšak snadno přehlédnutý) text kurzívou. Učebnice ve formátu A5 přináší řadu otázek pro zamyšlení označené trojúhelníkem a více než

340 úloh pro procvičení látky. Dále obsahuje přiměřený počet důkazů určitých tvrzení a na konci každé kapitoly shrnutí s opakováním.

2.3.3 Matematika pro střední školy – Geometrie (A. Keblová a J. Volková)

3. vydání učebnice věnující se planimetrii a stereometrii bylo vydáno nakladatelstvím SEPTIMA v roce 2017. Jejími autory je Alena Keblová a Jana Volková. Učebnice je určena pro studenty 1. až 3. ročníku středních škol.

Formát učebnice je A5, její vazba je měkká a lesklá. Vzhled obálky navrhla Dana Sušánková. Učebnice obsahuje 216 stran a je rozdělena na dvě části. První část věnující se planimetrii je rozdělena do 6 kapitol a druhá část věnující se stereometrii je rozdělena do 4 kapitol. Důležitý text je zde zvýrazněn oranžovým pozadím a definice/věty se nacházejí v oranžovém rámečku. Každá podkapitola obsahuje ukázkové dva až tři vyřešené příklady a několik úloh na procvičení látky. Na konci celé učebnice jsou uvedeny výsledky úloh na procvičení a tabulka s přehledem vzorců pro výpočet objemu, pláště a povrchu těles.

2.3.4 Matematika pro střední odborné školy – Planimetrie (J. Molnár)

Učebnice Planimetrie je součástí řady Matematika pro střední odborné školy z nakladatelství PROMETHEUS. Učebnice pokrývá běžnou středoškolskou látku planimetrie.

Barevnou obálku a grafickou úpravu navrhl Miloš Jirsa. Učebnice je ve formátu A5 a vazba je měkká, učivo je obsaženo na 104 stranách. Na vnitřní straně obálky je uveden přehled vzorců vztahujících se k látce planimetrie. U všech kapitol se nachází bohatý obrázkový materiál a několik příkladů a úloh k procvičení. První kapitola se zabývá základními planimetrickými pojmy, které by student měl znát již ze základní školy. Další kapitoly jsou konstruovány tak, aby bylo učivo předloženo pro studenty i pro aplikaci v každodenním životě. Na konci učebnice se nachází stručná exkurze do historie a rozšiřující učivo. Podstatné části jsou umístěny na žlutém pozadí a důležité pojmy zvýrazněny tučným písmem.

2.3.5 Matematika pro SOŠ a studijní obory SOU – 1. a 3. část (E. Calda, O. Odvárko a J. Řepová)

Učebnice určené pro střední odborné školy a střední odborná učiliště jsou součástí šestidílné řady z nakladatelství PROMETHEUS. 1. část obsahuje shrnutí učiva základní škol,

výrazy, zobrazení, trigonometrie pravoúhlého trojúhelníku a výpočty obsahů a obvodů. Třetí část se věnuje funkcím, goniometrii, trigonometrii a stereometrii.

Učebnice ve formátu A5 mají typickou obálku pro celou řadu a měkkou vazbu. Povinné učivo je od učiva nepovinného a rozšiřujícího odlišeno graficky. Učivo je doprovázeno několika vzorově vyřešenými úlohami a řadou neřešených úloh jejichž výsledky se nacházejí na konci každé kapitoly. V učebnicích se nacházejí klíčové kompetence a průřezová témata.

2.3.6 Matematika pro střední školy 6. díl – Stereometrie (J. Mrázek, I. Šubrtová)

Učebnice z řady Matematika pro střední školy z nakladatelství DIDAKTIS plynule navazuje na učebnici Planimetrie. Učebnice je doporučována studentům na gymnáziích a středních odborných škol.

Učebnice je ve formátu A4, má měkkou a lesklou vazbu. Vzhled obálky je typický pro celou řadu. Učebnice je velmi barevně provedena a důležité pojmy a text je znázorněn tučným písmem. Na pravé straně listu se nacházejí tabulky se zajímavostmi či již probíraném učivem na zopakování. Dále se v učebnici nacházejí přílohy, které obsahují úlohy testující prostorové vidění.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 Cíl výzkumu

Hlavním cílem kvalitativního výzkumu práce je vyhodnocení vhodnosti učebnic geometrie pomocí analýzy získaných dat eye – tracking metodou a prověřit možnost využití této metody pro výzkum strategií řešení geometrických úloh.

Výzkum byl proveden na 10 studentech ze střední odborné školy (1. ročník) a gymnázia (kvinta), kteří neměli žádnou vadu zraku. Školy byly vybrány náhodně a třídy nacházející se v nich nejsou nijak zaměřené. Jednotlivé ročníky byly vybrány tak, aby učivo vyskytující se na stránkách učebnice ještě neprobíraly s učiteli. Pro analýzu výzkumu byla vybrána data od dvou průměrných studentů. Data byla vybrána tak, aby obsahovala všechny strategie, které se opakovaly i u ostatních studentů. Po dohodě se studenty nebudu v této práci uvádět skutečná jména nýbrž fiktivní.

Počet respondentů byl vybrán na základě teorie Kary Pernice a Jakoba Nielsena, kteří ve své publikaci *How to Conduct Eyetracking Studies* uvádí doporučení pro kvalitativní výzkum pomocí eye – tracking metody. Tito odborníci doporučují pro kvalitativní výzkum 5 respondentů (více na: <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>).

4 Očekávané závěry

Kvalitativní výzkum je „... *induktivní metoda značně odlišná. Začíná pozorováním, ve kterém pátráme po pravidelnostech, vzorcích, které snad existují v objektivní realitě. Objevené pravidelnosti popíšeme ve formě předběžných závěrů. Ty pak ověřujeme dalším pozorováním. Konečným produktem je nová teorie.*“ (Disman 2002 s. 76)

Předpokládané nově vytvořené předběžné závěry pomocí kvalitativního výzkumu:

Z1: Eye – tracking je vhodná metoda k výzkumu strategií řešení geometrických úloh.

Z2: Eye – tracking je vhodná metoda k výzkumu vhodnosti matematických učebnic.

Z3: Studenti středních škol a gymnázií se nedokáží z učebnic učit bez pomoci učitele.

5 Použité metody a programy

Eye – tracking je jedna z metod, kterou je možné použít ke studiu použitelnosti. Podle standardu je použitelnost definována jako „*Efektivita, účinnost a spokojenost s prostředím, pomocí něhož uživatelé dosáhnou stanovených cílů*“ – tato definice je založena

na principu interakce počítač – člověk. Jedná se také o hlavní atribut vyjadřující, jak je uživatel spokojen s požadavky a ovládním konkrétního uživatelského prostředí (Popelka, 2012) – v tomto výzkumu se jedná o stránky učebnice.

K využití metody eye - tracking byly použity programy EyeTribe UI ke kalibraci přístroje Eye Tribe Tracker s obrazovkou notebooku Asus a OGAMA k sestavení testu, provedení výzkumu a analýze dat.

5.1 Eye Tribe Tracker

Oční kamera od společnosti The Eye Tribe (obr. 1) fungující na principu infračerveného vysílače a snímače odrazu od oka má hmotnost kolem 70g a velikost 20 x 1,3 x 1,6 cm. Využívá se nejen ke snímání až 24palcového displeje počítače, ale i tabletu či mobilního telefonu. Pro kompatibilitu s tabletem či mobilním telefonem lze k přístroji dokoupit i speciální držák. Eye - tracker se připojuje pomocí USB portu 3.0.

Eye Tribe Tracker má přesnost v průměru kolem 0,5 stupně na vzdálenost až 75 cm. To znamená, že jeho nejhorší přesnost se pohybuje do 10 mm. Nejefektivněji tracker pracuje při oblasti snímání cca 65 cm od zařízení (plocha přibližně 45 x 45 cm). Hlavu není potřeba mít zafixovanou, avšak je nutné ji mít v relativně stabilní poloze. Frekvence snímání je 40x či 60x za sekundu a odezva se pohybuje kolem 20ms.



Obrázek 9: Eye Tribe Tracker

5.2 Stavba testu

Jednotlivé stránky testu byly vytvořeny pomocí GIMP 2 (GNU Image Manipulation Program 2) a převedeny do obrázkové formy JPG. V testu se nachází 4 oskenované stránky učebnic a 5 příkladů prověřující pochopení látky z předchozí stránky a prostorovou představivost.

Stránky učebnic byly vybírány tak, aby se odlišovaly svou formou, obsahem, strukturou a doplněním motivačních částí či obrázků. Stránky byly vybrány z následujících učebnic:

- Geometrie v rovině a v prostoru pro střední školy (J. Kadleček)
- Matematika pro střední školy – geometrie (A. Keblová a J. Volková)
- Matematika pro střední školy 6. díl – Stereometrie (J. Mrázek, I. Šubrtová)

Úlohy byly vybrány tak, aby je student dokázal vyřešit po přečtení stránky učebnice nacházející se před úlohou. Některé úlohy byly případně přetvořeny, aby student nemusel nic počítat, rýsovat či zaznamenávat na papír. Čímž bylo zajištěno, že jeho zrak neuhýbal z obrazovky a tím nedocházelo k přerušení nahrávání eye - trackerem.

5.3 Rozhovor

Rozhovor „je metoda získávání dat a ovlivňování druhých osob slovním kontaktem (verbální komunikací)“. Jedná se o nejstarší a nejpoužívanější metodou v kvalitativním výzkumu, která umožňuje získat data od dotazovaných i vytvoření smysluplných sdělení (Kohoutek, 2001).

Obecné výhody a nevýhody rozhovoru (dle Dismana, 2008)

Výhody

- klade menší nároky na iniciativu dotazovaného,
- pro dotazovaného je obtížnější vynechat odpovědi na některé otázky, získaná data jsou komplexnější,
- ve srovnání s návratností dotazníků jde o úspěšnější metodu,
- eliminují se problémy související se špatnou schopností číst,
- umožňují odhalovat řadu detailních informací a dle potřeby vést otázky příslušným směrem.

Nevýhody

- pracná a nákladná technika sběru dat,
- může být časově náročná,
- vyžaduje spolupráci dotazovaných,
- anonymita je pro dotazované málo přesvědčivá,
- rozdíly mezi tazateli a rozdíly v jejich chování mohou vyvolat zkreslení výsledků (platí pro standardizovaný rozhovor).

Po otestování studentů byl s každým proveden rozhovor, který se týkal vhodnosti převážně učebnic matematiky pro střední školy. Otevřené otázky v rozhovoru byly pokládány individuálně v závislosti na předchozích odpovědích studentů.

6 Zpracování výzkumu

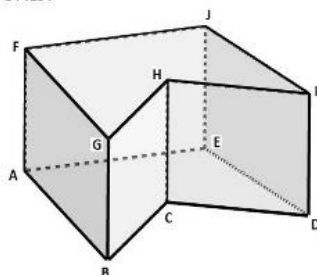
Pro analýzu dat byla použita metoda GazePlot neboli Scanpath a metoda grafického znázornění dat Heatmaps (viz 1.8 Výstupy měření).

6.1 Strategie řešení geometrických úloh

V testu byla zkoumána strategie řešení pěti geometrických úloh, které byly v tomto pořadí:

1. úloha

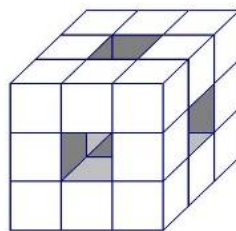
Z uvedených možností A, B, C a D vyberte pravdivé tvrzení týkající se polohy dvou rovin zobrazeného hranolu ABCDEFGHIJ.



- A) Roviny ABD a ABC jsou různoběžné, jejich průsečnice je přímka BE.
- B) Roviny BFJ a AEI jsou rovnoběžné.
- C) Roviny ABJ a AEF jsou různoběžné, jejich průsečnice je přímka AJ.
- D) Roviny ABD a FIJ jsou totožné.

2. úloha

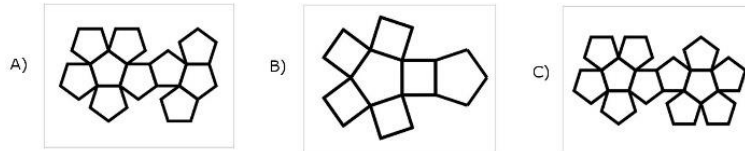
Těleso je sestaveno z krychlí s hranou délky 1 cm. Celé těleso obarvíme červenou barvou a potom rozřežeme na krychle o hraně 1 cm. Kolik těchto krychlí bude mít obarvené 3 stěny červeně? Vyberte správnou odpověď.



- A) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 7 krychlí.
- B) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 8 krychlí.
- C) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 10 krychlí.
- D) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 12 krychlí.

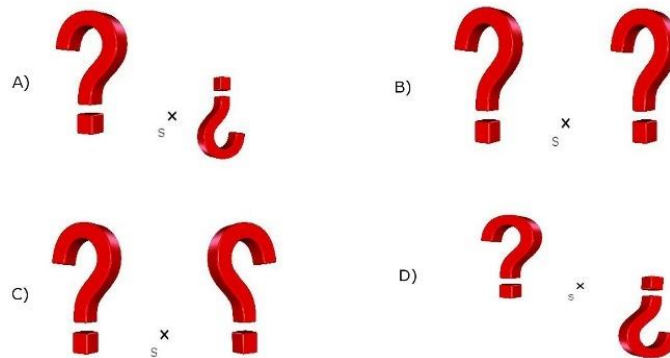
3. úloha

Na obrázku je znázorněno pravidelné těleso. Z možností A, B a C vyberte jeho síť.



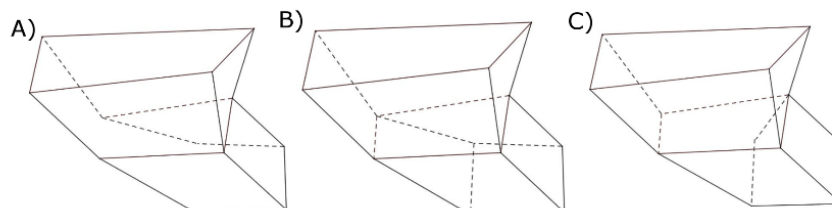
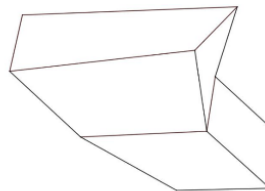
4. úloha

Vyberte z daných možností, které "otazníky" jsou středově souměrné se středem v bodě S.



5. úloha

Na obrázku je zobrazeno nepravidelné těleso. Z možností A, B a C vyberte správné zobrazení tohoto tělesa.



6.1.1 Michal

Při řešení 1. úlohy došlo nejdříve k přečtení zadání a krátkého prohlédnutí si obrázku. Poté se student postupně zabýval uvedenými možnostmi A, B, C a D. Nejdříve si přečetl celou možnou odpověď a na obrázku hledal roviny vyskytující se v této možnosti. Popisem jednotlivých vrcholů tělesa se zabýval až po ověřování si uvedených možností a hledání konkrétních rovin. Což způsobilo, že nejčastěji fixoval vrcholy A a J. Dle analýzy pomocí metody GazePlot lze zjistit, že Michal váhal mezi možnostmi B a C. V rozhovoru po vykonání testu uvedl, že „... těžko se představují roviny, které procházejí šikmo krychlí...“. Z této odpovědi, lze zjistit, že má problémy i s vyjadřováním v matematickém jazyce.

Michal si při řešení 2. úlohy čtyřikrát přečetl zadání (což poukazuje na možnou složitost a náročnost textu) a pozorně si prohlédl těleso (hlavně přední a zadní část). Při čtení zadání se nejvíce věnoval délce hran krychlí vzniklých rozřezáním tělesa. Poté se správně zaměřil na rohové krychle a zadní část tělesa. Po sečtení krychlí s obarvenými 3 stěnami se v uvedených možnostech zaměřil pouze na číslovku a (aniž by dočetl všechny možnosti) odklikl možnost B. V rozhovoru pak uvedl, že dlouho přemýšlel nad tím, zda krychle chybí i v zadní části tělesa, která není vidět. Na otázku, zda by se počet krychlí s obarvenými 3 stěnami změnil, nebyl schopen odpovědět.

Při řešení 3. úlohy, ačkoliv je v zadání poznamenáno, že se jedná o pravidelné těleso, porovnával možnosti B a C. Což opět poukazuje na nedostatky porozumění matematických pojmů. Z AttentionMaps vyplívá, že se Michal zabýval hlavně vrchní částí tělesa a porovnával ji s uvedenými sítěmi.

Ve 4. úloze měl Michal vybrat obrázek s otazníky, který je středově souměrný podle bodu S. Po přečtení zadání si postupně prohlédl všechny možnosti a vždy se nejprve zaměřil na bod S a pak podle něj porovnával určitý bod na otaznících. V možnostech A, B a C si vybral vždy jen jeden bod na otazníku v levé části obrázku a k němu hledal odpovídající bod na otazníku v pravé části obrázku, přičemž vždy procházel zrakem z levého bodu na pravý bod přes bod S. V možnosti D si vybral více bodů a ověřoval si opět jeho domněnku vytvořením „pomyslné úsečky“ z bodu do bodu procházející přes bod S.

Při přečtení zadání poslední úlohy si důkladně prohlédl těleso, jehož správné zobrazení měl vybrat z variant A, B a C. Nejdříve se zabýval variantou B, která se nachází hned pod ilustračním obrázkem. Ačkoliv je na všech variantách zobrazeno stejné těleso, Michal

všechny varianty porovnával s tělesem zobrazeným v zadání. A poté se rozhodoval mezi variantami B a C, které porovnával i mezi sebou.

6.1.2 Tereza

Tereza se po přečtení první části zadání 1. úlohy tj. *Z uvedených možností A, B, C a D...* zaměřila na tyto možnosti v dolní části obrazovky a poté dočetla celé zadání. Po důkladném prohlédnutí obrázku tělesa (kdy si těleso prohlíží hranu po hraně a dívá se na popis vrcholů) se postupně zabývala uvedenými možnostmi. Nejdříve si přečetla, o které roviny se v konkrétní větě píše a po nalezení rovin v tělesu si dočetla zbytek věty. Přičemž, pokud nebylo pravdivé tvrzení o poloze rovin, zbytek věty nedočetla. Před výběrem správné odpovědi si svou domněnku několikrát překontrolovala na zobrazeném tělese.

Při řešení 2. úlohy si přečetla nejdříve dvakrát celé zadání. Potom se podívala na jednotlivé krychle tvořící celé těleso a znovu si přečetla druhou část zadání týkající se počtu obarvených stěn nařezaných krychlí. Následně se zabývala odpověďmi A, B, C a D. Přičemž možnosti A a B si přečetla celé a v možnostech C a D pouze uvedenou číslovku. Při řešení úlohy se nejvíce zaměřovala na volné prostory uprostřed tělesa nacházející se mezi rohovými krychlemi. Při rozhovoru uvedla stejně jako Michal, že měla problém s určením, zda v zadní části tělesa prostřední krychle chybí.

Při řešení 3. úlohy postupuje Tereza podobně jako Michal. Ačkoliv si více ověřovala variantu A jako možnou síť určeného tělesa. Rozhodovala se mezi možnostmi B a C. I přes to, že se několikrát během řešení vrátila k pojmu *pravidelné* těleso. Nejvíce fixovala zadní obrazec tvořící plášť tělesa.

Tereza si ve 4. úloze s otazníky po přečtení zadání prohlédla všechny dané možnosti. Při řešení úlohy si představovala pomyslné úsečky z bodů na otaznících přes bod S. Přičemž se rozhodovala mezi možnostmi C a D. Oproti Michalovi si vybírala u všech možnostech více míst, pomocí kterých určovala, zda jsou otazníky na obrázku středově souměrné podle bodu S. Při postupné analýze dat lze zjistit, že Tereza problém s orientací při porovnávání stejných míst na levém a pravém otazníku.

Při řešení poslední úlohy si po přečtení zadání několikrát prohlédla všechny hrany zobrazeného tělesa. Postupně prohlížela v možnostech A, B a C zobrazené zadní hrany tělesa. Přičemž všechny varianty srovnávala s obrázkem v zadání. Tereza si automaticky pohledem doplňovala chybějící hrany při zkoumání možnosti C.

6.1.3 Shrnutí

Studenti si několikrát během řešení úlohy vraceli k zadání, které si celé znova několikrát přečetli. V rozhovorech pak podotkli, že si většinou nedokáží během řešení úlohy zapamatovat obsah zadání a musí se k němu několikrát vracet. Často také postupují při plnění úloh chaoticky a tím jim řešení úloh trvá déle.

Při řešení úloh používali hlavně strategii přeformulování úlohy, kdy se snažili vypustit nadbytečné informace, avšak nedokázali tyto informace správně vybrat. Například v 2. úloze nejčastěji fixovali informace o velikosti hran nařezaných krychlí, ačkoliv tato informace není podstatná. Studenti uvedli, že právě tato úloha se jim jevila jako nejobtížnější, což mohla způsobit jejich špatná prostorová představivost či nevhodná formulace zadání úlohy. Dále řešili úlohy pomocí zavedení pomocných prvků. Většinou studentům trvala vyřešit nejdéle 1. úloha, přičemž v této úloze je nejlépe pomocí trajektorií v GazePlot rozeznat, jak si studenti pomáhají s představením rovin pomocí mentálního dokreslení trojúhelníku s vrcholy určujících rovin. Tento mentální proces je pozorovatelný i při řešení 4. úlohy, kdy studenti řešili úlohu pomocí „pomyslné úsečky obsahující bod S“.

Tab. 1: Záznam odpovědí jednotlivých studentů

	1. úloha	2. úloha	3. úloha	4. úloha	5. úloha
Andrea	A	A	B	D	A
Petra	C	B	C	D	B
Tereza	B	D	C	D	C
Viktorie	A	B	B	D	B
Daniel	B	A	C	C	B
Emil	A	D	C	C	A
Filip	C	B	C	D	B
Jirka	A	D	C	C	C
Michal	B	B	C	D	B
Ondra	C	B	C	D	B

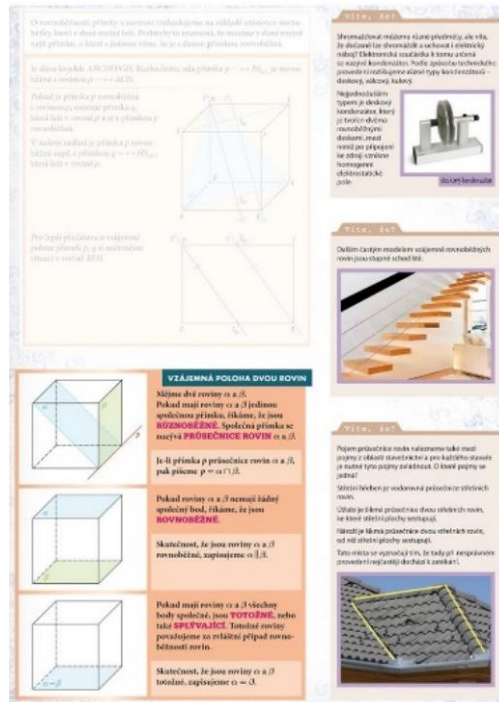
Většinou studentům se zdály úlohy jednoduché, ačkoliv analýza dat ukázala, že jen 3 studenti měli všechny úlohy správně. V rozhovorech studenti uváděli za nejtěžší úlohy 2. a 5., avšak nejméně studentů mělo správně 1. úlohu (3 studenti). Dále uváděli, že měli

problém s úlohou s otazníky, kdy si nebyli jisti mezi možnostmi C a D. Naopak za nejjednodušší úlohu považovaly úlohu týkající se sítě tělesa.

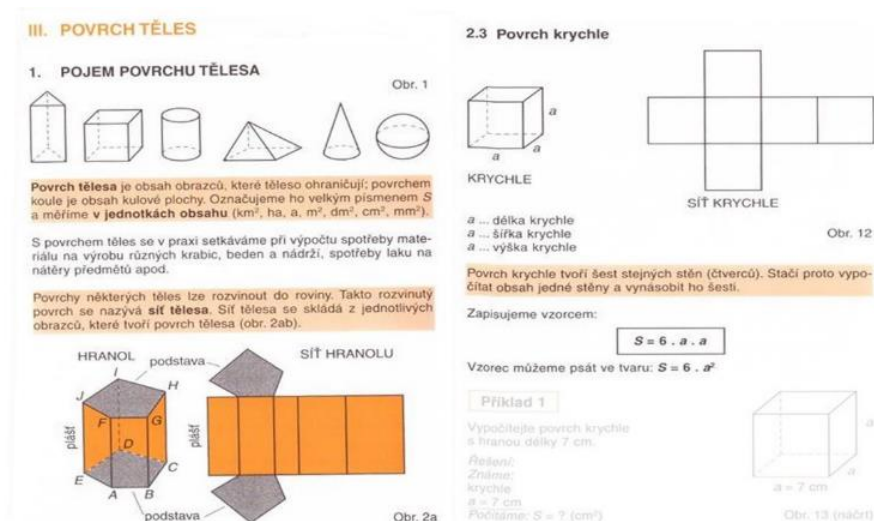
6.2 Vhodnost učebnic

Ve výzkumu byly použity 4 stránky z učebnic uvedených v kapitole 3.2. *Stavba testu* v tomto pořadí:

1. stránka: Matematika pro střední školy 6. díl – Stereometrie (J. Mrázek, I. Šubrtová)



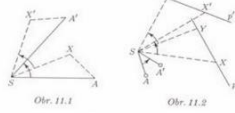
2. stránka: Matematika pro střední školy – geometrie (A. Keblová a J. Volková)



3. stránka: Geometrie v rovině a v prostoru pro střední školy (J. Kadleček)

11. OTOČENÍ A STŘEDOVÁ SOUĚRNOST

Jiné geometrické zobrazení, s kterým jste se již setkali, je **otočení** v rovině okolo bodu, který nazýváme **střed otočení**. Toto zobrazení je jednoznačně určeno svým středem S a jednou dvojicí tvořenou bodem A a jeho obrazem A' , kde $A \neq S$ a $[A'S] = [AS]$. Pro obraz X' libovolného bodu $X \neq S$ pak musí platit, že $[X'S] = [XS]$, $[X'A'] = [XA]$ a velikost úhlu $X'SX'$ je rovna velikosti úhlu $AS A'$ (obr. 11.1).¹⁾

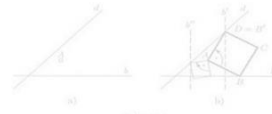


Obr. 11.1 Zobrazení v příslušném papíru první bod X a obdrže, že trojúhelníky SAX a SAX' (obr. 11.1) jsou přímo shodné.

Příklad. Středem obrazu přímky p v otočení středem S a odpovídajícím si body A , A' v náčrtu podle obrázku 11.2.

Řešení. Je-li X libovolný bod přímky p , umíme jeho obraz X' nalézt na nějakém papíru otočení. Stačí tedy na přímce p zvolit dva body X , Y , sestaví jejich obrazy X' , Y' a kladoucí obraz $p' = X'Y'$.

¹⁾ Podmínka $[X'S] = [XS]$ lze ve většině případů nahradit rovinností úhlu $X'SX$ a úhlu $X'SA'$ namísto srovnání velikosti úhlu $X'SX'$ a úhlu $X'SA$. Další bod $X' \neq S$ se volí ležící úhlopříčce S proti A nebo srovnáním úhlu, tj. objevením rovinnosti úhlu $X'SX'$ a úhlu $X'SA$. Je-li X je jeho první obrazem a X' druhý, nacházíme velikost $[X'SX'] = [X'SX]$ (tj. $[X'SA']$) od prvního bodu na směru úhlu $X'SX$. Otáčením vpravo nebo vlevo (obr. 11.1) získáme obraz X' — správně zvolíme vždy orientace úhlu, tzv. signaturu — příslušný směr úhlu.



Obr. 11.3 Úloha 11.6. Jsou dány dvě navzájem rovnoběžné přímky k , l a středem bod A . Sestrojte souměrný trojúhelník ABC s vrcholy $B \in k$ a $C \in l$.

Otočení o přímý úhel má zvláštní název. Říkáme mu **středová souměrnost**. Lze je popsat také jako zobrazení s jedním samodružným bodem, ve kterém každému bodu X odpovídá takový bod X' , že orientované úsečky SX a SX' leží na jedné přímce, mají stejnou velikost a jsou opačně orientované (obr. 11.4). Jinými slovy, bod S je vždy středem úsečky XX' . Útvary, které se středovou souměrností reprodukuje (tj. zobrazení samy na sebe), nazýváme **středově souměrné**. Např. každá přímka procházející středem S je středově souměrná, toly samodružná v otočení o 180° . (Nepomněli jste na tento případ v zamyšlení za úlohou 11.5?)



Obr. 11.4 Úloha 11.7. Nakreslete několik geometrických obrazů, které jsou středově souměrné, a některé obrazy, které se nerozpoznávají žádnou středovou souměrností (tj. středem středově souměrných).

4. stránka: Matematika pro střední školy – geometrie (A. Keblová a J. Volková)

II. PROSTOROVÉ ÚTVARY, TĚLESA

1. ZOBRAZENÍ PROSTOROVÝCH ÚTVARŮ DO ROVINY

V planimetrii jsme pracovali s rovinnými útvary, které jsme snadno nakreslili na papír, neboť arch papíru představoval část roviny.

Úkol zobrazit do roviny (na papír) **prostorový útvar (těleso)**, je podstatně složitější, protože papír nemá třetí rozměr.

Existuje několik způsobů, jak tento úkol splnit. Nejběžnější bývá **volné rovnoběžné promítání**. Platí pro něj tato pravidla:

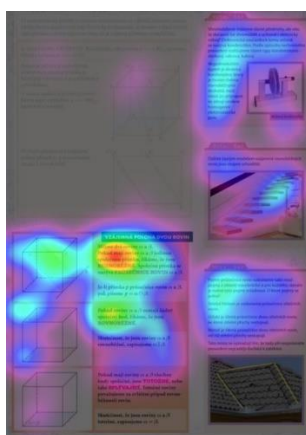
1. Rovina, na kterou kreslíme nebo rýsuje, se nazývá **nákresna** (svislá tabule, kreslicí papír, list v sešitě).
2. Rovinné obrazce, které leží v nákresně a v rovinách rovnoběžných s nákresnou, se zobrazují ve skutečné velikosti a ve skutečném tvaru.
3. Obrazem nespřávjících rovnoběžných přímek jsou rovnoběžné přímky, ve zvláštních případech jediná přímka nebo dva body.
4. Rovnoběžné stejně dlouhé nespřávjící úsečky se zobrazí jako rovnoběžné stejně dlouhé úsečky, ve zvláštních případech jako jediná úsečka nebo dva různé body.
5. Přímky kolmé k nákresně se zobrazují jako přímky, které svírají s dolním okrajem nákresny úhel 45° (popř. 135°). Úsečky kolmé k nákresně se zkracují na polovinu své délky.

Učebnice byly k dispozici i při rozhovorech se studenty společně s Planimetrie – matematika pro střední odborné školy (J. Molnár), Matematika pro Gymnázia – Planimetrie (E. Pomykalová), Matematika pro Gymnázia – Stereometrie (E. Pomykalová) a Deskriptivní geometrie pro střední školy (E. Pomykalová). Na některých stránkách v testu byly překryty úlohy a příklady, které by při výzkumu studenty zbytečně zdržovaly, avšak jejich umístění a význam byly v rozhovoru se studenty prodiskutovány.

6.2.1 Eye - tracking metoda

Z analýzy dat získaných eye - tracking metodou bylo zjištěno, že studenti nejvíce fixují tučně zvýrazněné pojmy a několikrát se k nim vrací během čtení stránky. Také větší pozornost

věnují textu, který je zvýrazněn barevným pozadím. Například text „*Povrch tělesa je obsah obrazců, které těleso ohraničují...*“ (Matematika pro střední školy – geometrie od A. Keblové a J. Volkové) nacházející se na oranžovém pozadí si studenti přečetli vícekrát než text z učebnice J. Kadlečka pojednávajícím o otočení a středové souměrnosti. V souvislém a nezvýrazněném textu se i často stávalo, že si studenti text nedočetli celý nebo se v něm ztráceli a některé úseky tak četli vícekrát po sobě. Nejvíce se soustředili při čtení textu nacházejícího se pod nadpisem kapitoly (učiva), avšak postupně jejich soustředěnost klesala (obr. 4). Tudíž se stávalo, že text nacházející se na konci stránky přečetli rychleji a už se k němu nevraceli, ačkoliv obsahoval důležité pojmy.



Obrázek 10: Heatmap a 1. stránky, na které je vidět postupná ztráta soustředěnosti studenta Y

Zajímavé je, že Michal se při čtení stránek jako jediný nezabýval obrázky týkající se učiva, ale prohlédl si obrázky z učebnice Matematika pro střední školy 6. díl – Stereometrie (J. Mrázek, I. Šubrtová), které se nacházely v tabulkách *Víte, že...* Ostatní studenti si nejdříve přečetli text a pak si prohlédli názorné obrázky, týkající se určité problematiky. Co se týče první stránky vybrané z učebnice od J. Mrázka a I. Šubrtové při analýze dat bylo také zjištěno, že si studenti nejdříve prošli text nacházející se v tabulce *Víte, že?* a pak si pečlivěji přečetli informace o vzájemné poloze dvou rovin.

6.2.2 Vyhodnocení rozhovorů

Rozhovory byly vedeny převážně nad učebnicemi geometrie, ale získané informace se dají použít na všechny učebnice matematiky.

První otázky rozhovoru se týkaly celkového vzhledu učebnice. Z odpovědí vyplynulo, že studentům vyhovují učebnice formátu A5 s tvrdými deskami, jelikož zabírají méně místa

a jejich desky déle vydrží. Také preferují učebnice s barevnými a nápadnými deskami. Z uvedených učebnic si nejvíce vybíraly vzhled desek učebnic Planimetrie od J. Molnára a Matematika pro střední školy 6. díl – Stereometrie od J. Mrázka a I. Šubrtové.

Následovaly otázky týkající se obsahu učebnic a jejich porozumění. Většina studentů v rozhovoru uvedla, že jim nejvíce vyhovují učebnice, které mají důležitý text zvýrazněný tučným písmem a barevným pozadím. Dále uváděly, že se lépe orientují, když se obrázky nacházejí vedle textu než pod textem. Na otázku, zda preferují souvislý text či text rozdělen na části, odpověděly, že se jim lépe orientuje v textu rozděleném např. odrážkami. Jirka však na tuto otázku odpověděl: *„Pokud je text napsán srozumitelně pro studenty vyhovuje mi spíš souvislý text, který není přerušovaný obrázky. Vadí mi, když je text přerušen obrázkem a pak pokračuje například na druhé straně. To mám pak problém s porozuměním textu a musím se zbytečně vracet k tomu, co jsem už přečetl a zdržuje mě to. Ale v učebnici geometrie bych naopak chtěl, aby určité kroky byly rozděleny a ke každému kroku byl doplněn obrázek, který vystihuje danou fázi úlohy...“*. Někteří potvrdili, že se méně soustředí na text nacházející se v dolní části stránky. Někteří studenti by v učebnicích matematiky chtěli i důkazy vět či odvození vzorců, aby si je lépe zapamatovali či je uměli v případě zapomenutí odvodit.

Dále často poznamenávali, že jim v učebnicích matematiky chybí využití probírané látky v praxi (úlohy převedené do běžného života) a shrnutí učiva na konci kapitol. Studenti gymnázia chválili, když se v učebnicích nacházela tabulka s přehledem vzorců objemů a obsahů těles či jiná tabulka shrnující učivo. Na otázku, zda rozumí učivu i bez pomoci učitele, nejčastěji odpovídali následovně: *„Nedokážu si představit, že bych se měl učit pouze z učebnice bez vysvětlení učitelem. Většinou nevím, co si mám pod určitým pojmem představit.“*. Petra v rozhovoru podotkla, že *„...bez učitele bych nebyla schopna rozumět učivu i díky tomu, že se v učebnicích nevyskytuje shrnutí předchozího učiva z minulého ročníku a ani otázky či úkoly, které by mi ho připomněly... Například v učebnici stereometrie je jen zmínka o tom, že se navazuje na planimetrii, ale o opakování planimetrie tady není ani stránka...“*. Tuto skutečnost potvrzují i výsledky úloh, které byly zařazeny v experimentu přímo za odpovídajícími stránkami učebnic, ve kterých se nacházely potřebné informace k vyřešení úlohy.

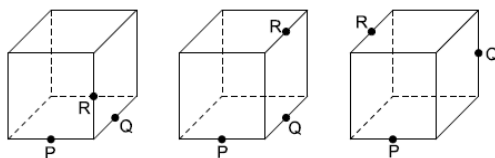
7 Diskuze

Provedením výzkumu bylo zjištěno, že eye – tracking metodu je možné použít pro výzkum vhodnosti učebnic. Pomocí analýzy eye – tracking dat a rozhovorů se studenty lze studovat nejen procesualní stránky učebnic, ale i jejich užívání samotnými studenty. Tato metoda by mohla jednoznačně podpořit výzkum učebnic a přinést do tohoto problému nový pohled. S porovnáním s ostatními metodami, které se používají při výzkumech učebnic, je eye – tracking výjimečná metoda, která poskytuje pohled na učebnice přímo očima studentů. Tímto pohledem na učebnice se věnuje i článek Petra Knechta a Veroniky Najvarové *How Do Students Rate Textbooks? A Review of Research and Ongoing Challenges for Textbook Research and Textbook Production*, kde podporují zahrnutí studentů do výzkumu učebnic.

Také je možné metodu eye - tracking provést i pro výzkum strategií řešení geometrických úloh, což dokazuje i provedený výzkum Jany Škrabánkové a Tomáše Moravce v roce 2015. Výzkum *Výzkumná sonda do oblasti matematicko-logické inteligence žáků 1. stupně základní školy (s využitím eye trackingu)*, využívající metodu eye – tracking, je založen na otázce, zda lze analyzovat matematicko – logickou inteligenci u nadaných dětí už na 1. stupni základní školy. Škrabánková a Moravec vytvořili soubor příkladů (ve kterých se vyskytovaly i geometrické úlohy), které jsou zaměřeny na matematicko – logickou inteligenci a jsou vystavěny v linii *znalost → logický údudek → pozornost*. Pomocí metody eye – tracking pak dokázali, že nadané děti dokáží řešit úlohy, s kterými se dosud nesetkaly díky tomu, že disponují matematicko – logickou inteligencí a dokáží u těchto úloh udržet pozornost. Přičemž s rostoucí náročností úloh, roste i jejich pozornost.

Z analýzy dat získaných testováním úloh a z rozhovorů se studenty lze poukázat na možný přetrvávající problém s prostorovou představivostí. K hlubší analýze tohoto problému by však bylo potřeba obsáhlejšího výzkumu a větší různorodosti úloh. Na tento problém jsou prováděny výzkumy již několik let. Jedním z nich je i výzkum provedený Františkem Kuřinou v roce 2011 věnující se představivosti rovin a řezy těles ve stereometrii. Ve své publikaci *Matematika a řešení úloh* pokazuje na nedostatky vědomostí studentů i v základních vztazích geometrie pomocí zadané úlohy, v které měl určitý okruh studentů překreslit tři dané krychle (obr. 11) a sestrojít v nich řez roviny PQR. Přičemž P, Q, R jsou středy hran. Ačkoliv se jedná o typickou geometrickou úlohu, správně jí vyřešily pouze 4 % testovaných studentů. Tato úloha by ve vhodné modifikaci mohla být použita v případném obsáhlejší výzkumu provedeném pomocí metody eye – tracking. Upadající matematickou gramotnost studentů potvrzuje i bývalá ministryně školství Valachová v Interview ČT24 z 8.3.

2017. Ve svém rozhovoru zdůrazňuje, že se matematická gramotnost u studentů a jejich výsledky jsou nejhorší z okolních zemí. K úplnému potvrzení tohoto předpokladu by však bylo potřeba použít metodu eye – tracking přímo na úlohách prověřující prostorovou představivost.



Obrázek 11: Zadané krychle ve výzkumu F. Kuřiny

Dále bylo z analýzy dat zjištěno, že studenti mají většinou problém již s pochopením zadání a zapamatováním si důležitých informací. Problém může nastat kvůli špatné formulaci zadání autorem. Ale také je potřeba studenty vést nejen ke správnému splnění úlohy, ale i k porozumění matematického jazyka a ke správné separaci důležitých informací. Jelikož vzhledem k odpovědím na položené otázky studentům, lze předpokládat, že problém s porozuměním mají i v jiných matematických úlohách. A proto je vhodné používat ve výuce i příklady, které u studentů podporují matematickou gramotnost. Některé úlohy lze nalézt v publikaci *Úlohy pro rozvoj matematické gramotnosti* od Milana Hejného, Dariny Jirotkové a kol., která se věnuje i rozboru výzkumů PISA a OECD od roku 2000 – 2009.

8 Doporučení pro praxi

Výzkum ukázal, že je možné metodu eye – tracking použít nejen pro vyhodnocení vhodnosti učebnic, ale i k výzkumu strategií řešení geometrických úloh. Je však potřeba k této metodě přidat i jiný způsob, jak lépe porozumět myšlenkám respondentů. Doporučovala bych použít jednu z metod k zjištění použitelnosti: průzkum cílové skupiny, rozhovor, přímé pozorování, přemýšlení nahlas, retrospektivní přemýšlení nahlas, zachycení obrazovky atd. (Popelka, 2015).

V praxi je tato metoda použitelná pro výzkum provedený na velkém počtu respondentů, pomocí kterého by se dalo zjistit více informací, které by žákům usnadnili porozumění a práci s učebnicemi matematiky. Pro obsáhlejší výzkum bych doporučila vytvořit dva podobné testy s rozlišným umístěním obrázků, textů, možnosti výběru, zadání atd. Čímž by se dalo zjistit, jaké rozložení studentům vyhovuje nejlépe. eye – tracking metoda by mohla být využita i pro zjištění úrovně matematické gramotnosti studentů nejen v oblasti geometrie. Je však potřeba myslet na skutečnost, že není vhodné, aby respondenti museli opustit zrakem obrazovku.

Vzhledem k nízké pořizovací ceně eye – trackerů a snadnému ovládní by tato metoda mohla pomoci i samotným učitelům zjistit, jak jejich studenti řeší úlohy a v čem mají nedostatky. Tím by pro učitele bylo snadnější zaměřit se na konkrétní problémy vyskytující se u studentů i v samotném postupu řešení zadaných úloh.

Závěr

Hlavním cílem práce bylo ověřit, zda metoda eye – tracking je vhodná pro vyhodnocení vhodnosti učebnic a k výzkumu strategií řešení geometrických úloh.

K dosažení cílů bylo nutné vybrat nejvhodnější metodu k analýze eye – tracking dat. Tou se podle autorčina mínění stala metoda pomocí HeatMap a GazePlot. Použitím těchto metod se získaly následující informace:

- Studenti od učebnic matematiky očekávají moderní grafické zpracování (nápaditá obálka, různé úrovně nadpisů, různé druhy písma, poutavé a vtipné obrázky, ...), ale i modernizaci obsahu (moderní témata, úlohy týkající se nynější doby, zajímavé informace, úlohy přiměřené jejich věku a zájmům, zábavné úlohy a úkoly, ...). Dále by se jim líbilo, kdyby se v učebnicích nacházely různé příběhy (o vědcích, vzniku problémy, ...) či zajímavá vyprávění týkající se probíraného učiva. Také vyžadují logickou posloupnost učiva a jeho jasnou formulaci psanou srozumitelným jazykem. Nové pojmy pro studenty by měly být dobře vysvětleny, ačkoliv by se nemělo opomíjet na rozvoj matematické gramotnosti studentů a jejich vývoji v porozumění matematického jazyka. Dále se jim nejlépe orientuje v učebnicích s důležitým textem/pojmem zvýrazněným tučným písmem či barevným pozadím. Dle analýzy výzkumu by se tento text měl nacházet v horní části stránek kvůli postupně klesající pozornosti „čtenářů“. Ilustrace vztahující se k učivu by se měly vyskytovat na stejné stránce jako odkazující text. A měla by doplňovat výklad názornější formou (např. kroky konstrukce geometrických úloh by měla být rozděleny do více barevných ilustrací). V učebnicích by se měly vyskytovat i přehledná schémata či tabulky, které studenti považují za jedno z nejlepších shrnutí učiva (osobně bych doporučila v učebnicích matematiky uvádět i slovníčky pojmů).
- Studenti mají problém s porozuměním učiva v učebnicích bez vysvětlení a pomoci učitele. Tato skutečnost může být způsobena špatným zvolením typu učebnice vzhledem k věku a zaměření studentů, jejich nesrozumitelným obsahem, špatnou strukturou, její přílišnou odborností,...
- Studenti v řešení úloh postupují chaoticky a nedokáží si předem utřídit postup řešení. Také mají problém s porozuměním samotného zadání a se separací důležitých informací.

Vzhledem k výsledkům výzkumu lze předpokládat potvrzení očekávaných závěrů:

Z1: Eye - tracking je vhodná metoda k výzkumu strategií řešení geometrických úloh.

Z2: Eye - tracking je vhodná metoda k výzkumu vhodnosti (nejen) matematických učebnic.

Z3: Učebnice geometrie nejsou pro studenty středních škol a gymnázií srozumitelné bez pomoci učitele.

Ačkoliv se jedná o ojedinělý výzkum v České republice, kdy pomocí eye – tracking metody byla hodnocena vhodnost učebnic matematiky, dle výsledků výzkumu lze předpokládat, že metoda eye – tracking je použitelná společně s doplňující metodou použitelnosti i pro všechny typy učebnic z ostatních oborů.

Zdroje

- BEST, A. E.:** *Pourfour Du Petit, Francois*. Encyclopedia.com. 2008. [cit. 01.02.2018]
Dostupné z: <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/pourfour-du-petit-francois>
- CRANE, H. D.;** Steele C. M.: *Generation-V dual-Purkinje-image eyetracker*. Applied Optics, Vol. 24, No. 4, 527-537, 1985.
- DREWES, H.:** *Eye Gaze Tracking for Human Computer Interaction*. Mnichov, 2010. Disertační práce. LMU. LFE Medien – Informatik.
- DUCHOWSKI, A.:** *Eye Tracking Methodology*. Theory and Practice. 2. Vyd. Springer, 2007. ISBN 978-1-84628-608-7. e – ISBN 978-1-84628-609-4.
- ERKELENS, C. J.:** *Coordination of smooth pursuit and saccades*. Vision Research, 2006, Vol. 46, Is. 1-2, s. 163 – 170. [cit. 15.12.2017] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042698905003159>
- FARNSWORTH, B.:** *How to Analyze and Interpret Heat Maps*. Imotions, 2016. [cit. 10.02.2018]. Dostupné z: <https://imotions.com/blog/analyze-heat-maps/>
- FONTANA, J. a kolektiv:** *Funkce buněk a lidského těla*. Multimediální skripta. 2015. [cit. 20.03.2018] Dostupné z: <http://fb.lt.cz/>
- GLENNOVÁ, M.:** *Leonardo da Vinci*. Artmuseum.cz, 2008. [cit. 15.12.2017] Dostupné z: http://www.artmuseum.cz/umelec.php?art_id=681
- HANÁK, P.:** *Hippokrates z Kósu – zakladatel moderní medicíny*. Pohled do historie medicíny, 2015, 16(3), s. 201 – 202. [cit. 15.12.2017] Dostupné z: <https://www.pediatricpropraxi.cz/pdfs/ped/2015/03/18.pdf>
- HUTYROVÁ, I.:** *Zorné pole*. Brno, 2007. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Lékařská fakulta. Optika a optometrie.
- CHVÁTAL, A.:** *Discovering the Structure of Nerve Tissue: Part 2: Gabriel Valentin, Robert Remak, and Jan Evangelista Purkyně*. Journal of the History of the Neurosciences 24:4,2015, str. 326-351
- JEDLIČKA, L.:** *Základní úvod do Eye Trackingu*. VLET.osu.cz: Ostrava, 2014. [cit. 15.02.2018] Dostupné z: <http://vlet.osu.cz/e-tracking.htm>

- JENDSEN, A. R.; RUDELLE, R. B.:** *University of California: In Memoriam 1994*. Guy Thomas Buswell, Education: Berkeley. California Digital Library, 2017. [cit. 20.03.2018] Dostupné z: <http://arthurjensen.net/wp-content/uploads/2014/06/1994-jensen-2.pdf>
- JOŠT, J.:** *Oční pohyby, čtení a dyslexie*. 1. vyd. Praha: Fortuna, 2009. 173 s., ISBN 978-80-7373-055-0
- KAŇA, M.:** *Automatická detekce pohybu očí*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav automatizace a měřicí techniky.
- KOUSALOVÁ, A.:** *Medicína ve starověkém Římě*. Brno, 2013. Diplomová práce. Masarykova Univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav antropologie. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/104620/prif_m/doc2_upr.pdf
- KRÁLOVÁ, M.:** *Lidské oko* | Eduportál Techmania. Eduportál | Eduportál Techmania [online]. Copyright © Techmania Science Center, o.p.s. [cit. 10.02.2018]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/svetlo/lidske-oko>
- KŘIVÁNKOVÁ, M.; HRADOVÁ, M.:** *Somatologie: učebnice pro střední zdravotnické školy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. ISBN 9788024729886.
- LEGGETT, D.:** *A Brief History of Eye-Tracking* [online]. UX Booth, 2010. [cit. 15.02.2018] Dostupné z: <http://www.uxbooth.com/articles/a-brief-history-of-eye-tracking/>
- LUPU, R. G.; UNGUREANU, F.:** *A Survey of Eye Tracking Methods and Applications*. “Gheorghe Asachi” Technical University of Iași, Faculty of Automatic Control and Computer Engineering, 2013. Bul. Inst. Polit. Iași, t. LIX (LXIII), f. 3.
- MARVAN, L.:** *Využití eye trackingu v internetovém marketingu*. Zlín, 2013. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta multimediálních komunikací. Ústav marketingových komunikací.
- MOLNÁR, J.:** *Učebnice matematiky a klíčové kompetence*. 1. Vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. 74 s. ISBN 978-80-244-1722-6.
- NAKLÁDALOVÁ, I.:** *Ebersův papyrus*. Starověký Egypt, 2016. [cit. 15.12.2017] Dostupné z: <http://www.starovekyegypt.net/zajimavosti/ebersuv-papyrus.php>

- OREL, M.; FACOVÁ, V.:** *Člověk, jeho smysly a svět*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-802-4729-466
- OTČENÁŠKOVÁ, M.:** *K čemu je barevné vidění*. Český rozhlas Plus, 2010. [cit. 15.12.2017]
Dostupné z: <https://plus.rozhlas.cz/k-cemu-je-barevne-videni-6651153>
- PRŮCHA, J.:** *Učebnice: teorie a analýzy edukačního média: příručka pro studenty, učitele, autory učebnic a výzkumné pracovníky*. 1. Vyd. Brno: Paido, 1998. 148 s. ISBN 80-859-3149-4.
- ROPER – HALL, G.:** *Historical Vignette: Louis Émile Javal (1839 – 1907): The Father of Orthoptics*. Board of Regents of the University of Wisconsin System, American Orthoptic Journal, Volume 57, 2007, ISSN 0065-955X. [cit. 15.12.2017] Dostupné z: <http://aoj.uwpress.org/content/57/1/131.full.pdf>
- REICHL, J.:** *Teorie trojbarevného vidění*. Optika – základy kolorimetrie. Encyklopedie fyziky, 2011. [cit. 15.12.2017] Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/545-teorie-trojbarevneho-videni>
- SIKOROVÁ, Z.:** *Hodnocení a výběr učebnic v praxi*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2007. 71 s. ISBN 978-80-7368-412-6.
- SKOPALÍK, A.:** *Oko a brýle*. Brno, 2003. Příspěvek z konference doktorského studia. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Soudní Inženýrství. [cit. 01.02.2018] Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-05-251-253.pdf>
- SMOLÍK, T.:** *Automatická segmentace objektů s využitím dat získaných ze zařízení pro sledování pohybu očí*. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta aplikovaných věd. Katedra kybernetiky.
- SOUKUP, V.:** *Dějiny antropologie* (Encyklopedický přehled dějin fyzické antropologie, paleoantropologie, sociální a kulturní antropologie). 1. vyd. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0337-3
- SVAČINA, Š.; ŠKRA, J.; TRČ, T.:** *Jan Evangelista Purkyně*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 2017. 522 s., ISBN 978-80-204-4669-5
- SÝKORA, M.:** *Učebnice: její úloha v práci učitele a ve studijní činnosti žáků a studentů*. Praha: EM-Effect Praha, 1996. 75 s. ISBN 80-900-5661-X

SYNEK, S.; SKORKOVSKÁ, Š.: *Fyziologie oka a vidění*. 2. dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. 96 s. ISBN 978-80-247-3992-2.

ŠPAJDÍKOVÁ, M.; MAĎA, P.; FONTANA, J.: *Zrakový systém*. Funkce buněk a lidského těla. Praha, 2013. Multimediální skripta. Univerzita Karlova. 3. lékařská fakulta. [cit. 15.12.2017] Dostupné z: <http://fb.lt.cz/skripta/xiii-smysly/1-zrakovy-system/>

TATLER, B.W.; WADE N.J.; KWAN, H.; FINDLAY, J. M.; VELICHKOVSKY, B. M.: *Yarbus, eye movements, and vision*. I-Perception, 2010, 1(1): 7-27. doi:10.1068/i0382 [cit. 03.04.2018] Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3563050/>

TLAČILOVÁ, J.: *Komparace učebnic marketingu pro střední školy*. České Budějovice, 2012. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Pedagogická fakulta. Katedra pedagogiky a psychologie.

TILLEUIL, O.; DE BRUYNE, J.; BERISAVLJEVIČ, U.; JOVANOVIČ, B. M.: *Eye Tracking Through History*. EyeSee, 2014. [cit. 15.02.2018] Dostupné z: <http://eyeseer-research.com/blog/eye-tracking-history/>

VIDĚNÍ.cz: *Anatomie lidského oka*. Vidění.cz, 2010. [cit. 15.12.2017] Dostupné z: <http://www.videni.cz/oko/32-anatomie-oka>

WOLFOVÁ, L.: *Optické vlastnosti lidského oka*. Ústí nad Labem, 2012. Semestrální projekt. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem. Pedagogická fakulta. Dostupné z: http://www.fch.vut.cz/~zmeskal/obring/presentace_2003/02_opticke_vlastnosti_oka

Zdroje obrázků

Pokud u obrazového materiálu není uveden zdroj jedná se o obrázek z vlastního archivu autora této práce.

Obr. 1 Struktura oka: ANONYM: 4.3. *Základní součásti geodetických přístrojů*. GIS ZČU.

Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch04s03.html>

Obr. 2 Fotoreceptory sítnice: FONTANA, J. a kolektiv: *Funkce buněk a lidského těla*.

Multimediální skripta. 2015. Dostupné z: <http://fbt.cz/skripta/xiii-smysly/1-zrakovy-system/>

Obr. 3 Vznik obrazu na sítnici: SOVOVÁ, V.: *Přístroj zvaný oko*. Informace z fyziky.

Dostupné z: <http://veronika.sovova.sweb.cz/interest/oko.htm>

Obr. 4 Schéma okoohybných svalů: ROZPRÁVKOVÁ, A.: *Vývoj a stavba oka*. Cviky pro

oči. Dostupné z: <http://www.cvikyprooci.cz/vyvoj-a-stavba-oka/>

Obr. 5 Druhy očních pohybů: JOŠT, J.: *Oční pohyby, čtení a dyslexie*. 1. vyd. Praha: Fortuna,

2009. 173 s., ISBN 978-80-7373-055-0

Obr. 6 Výzkum A. Yarbuse: TATLER, B.W.; WADE N.J.; KWAN, H.; FINDLAY, J. M.;

VELICHKOVSKY, B. M.: *Yarbus, eye movements, and vision*. I-Perception, 2010, 1(1): 7-27.

doi:10.1068/i0382. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3563050/>

Obr. 9 Eye Tribe Tracker: ALEXA: *EyeProof: Affordable Eye Tracking*. IPPINKA. 2016.

Dostupné z: <https://www.ippinka.com/blog/eyeproof-affordable-eye-tracking/>

Obr. 11 Zadané krychle ve výzkumu F. Kuřiny: KUŘINA, F.: *Matematika a řešení úloh*.

České Budějovice, 2011. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta.

ISBN 978-80-7394-307-3

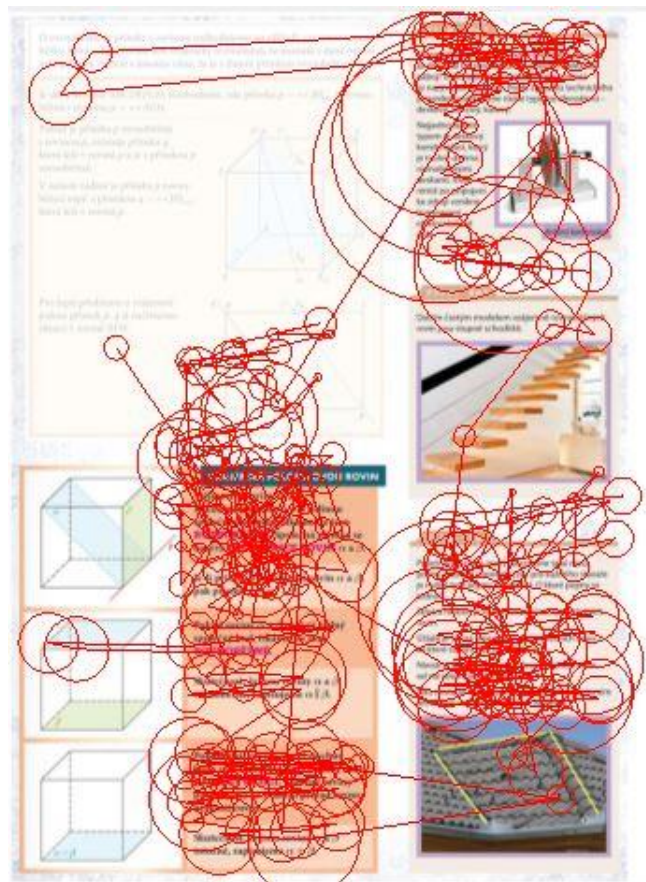
Seznam příloh

Příloha I: Data Michal zpracována pomocí GazePlot bez označení čísla

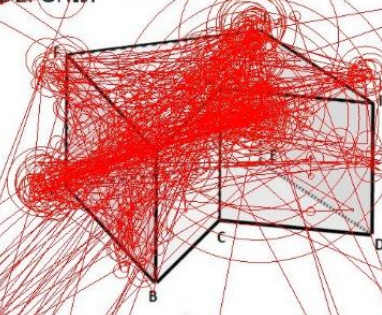
Příloha II: Data Tereza zpracována pomocí AttentionMaps

Příloha I

Data Michal zpracována pomocí GazePlot bez označení čísla



Z uvedených možností A, B, C a D vyberte pravdivé tvrzení týkající se polohy dvou rovin zobrazeného hranolu ABCDEFGHIJ.

- 
- A) Roviny ADD_1 a BCC_1 jsou různoběžné, jejich průsečnice je přímka BE .
 - B) Roviny BEF a AED jsou rovnoběžné.
 - C) Roviny ABJ a AED jsou různoběžné, jejich průsečnice je přímka AJ .
 - D) Roviny ABD a FHJ jsou totožné.

III. POVRCH TĚLESA

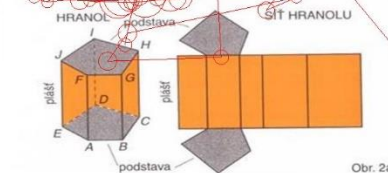
1. POJEM POVRCHU TĚLESA



Povrch tělesa je obsah obrazců, která tvoří hranici tělesa (koulí, koule, krychle, hranol, válec, kužel, jehlan, těleso).
a) ... obsah povrchu tělesa (m², cm², dm²).

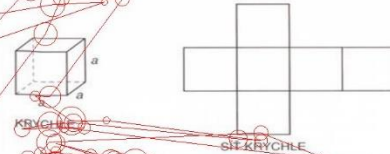
S povrchu tělesa se v praxi setkáváme při výrobě spotřební materiálu (výroba papíru, krabic, beden a nádrží), spotřebě laku na nábytek, atd.

Povrch některých těles lze rozvinout do roviny, jako rozvinutý povrch (povrch síť tělesa). Síť tělesa se skládá z jednotlivých obrazců, která tvoří povrch tělesa (obr. 2a).



Obr. 2a

2.3 Povrch krychle



KRYCHLE
a ... délka hrany
a ... síť krychle
a ... výška krychle

Povrch krychle tvoří šest stejných čtverečků (krychle). Stačí proto vypočítat obsah jedné stěny a vynásobit ho šesti.

Zapišme vzorec:

$$S = 6 \cdot a^2$$

Vzorec můžeme psát ve tvaru: $S = 6 \cdot a^2$

Příklad 1

Vypočítejte povrch krychle s hranou délky 7 cm.

Řešení:

Známe:

krychle

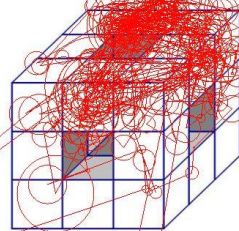
$a = 7$ cm

Počítáme: $S = 6 \cdot 7^2$ (cm²)



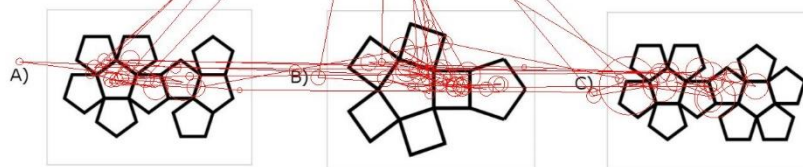
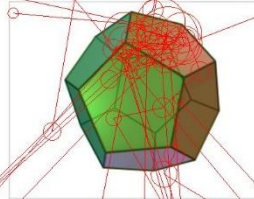
Obr. 13 (náčrt)

Těleso je sestaveno z krychlí s hranou délky 1 cm. Celé těleso obarvíme červenou barvou a potom rozřešíme na krychle o hraně 1 cm. Kolik těchto krychlí bude mít obarvené 3 stěny červeně? Vyberte správnou odpověď.



- A) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 7 krychlí.
- B) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 8 krychlí.
- C) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 10 krychlí.
- D) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 12 krychlí.

Na obrázku je znázorněno pravidelné těleso. Z možností A, B a C vyberte jeho síť.



II. PROSTOROVÉ ÚTVARY TĚLESA

1. ZOBRAZENÍ PROSTOROVÝCH ÚTVARŮ DO ROVINY

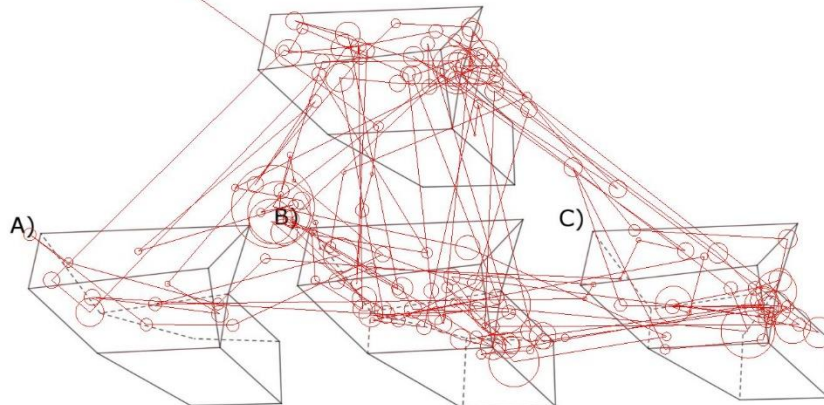
V planimetrii jsme pracovali s rovinnými útvary, které jsme snadno nakreslili na papír, neboť arch papíru představoval část roviny.

Úkol zobrazit do roviny (na papír) **prostorový útvar (těleso)**, je podstatně složitější, protože papír nemá **žádné rozměry**.

Existuje několik způsobů, jak tento úkol splnit. Nejběžnější bývá **voľné rovnoběžné promítání**. Platí pro něj tato pravidla:

1. Rovina, na kterou kreslíme nebo rysujeme, se nazývá **nákresná** (svísta tabule, kreslicí papír, list v ššířité).
2. **Rovinné obrazce**, které leží v **nákresně** a v rovinách rovnoběžných s **nákresnou**, se zobrazují ve skutečné velikosti a ve skutečném tvaru.
3. Obrazem nespřívajících rovnoběžných přímek jsou rovnoběžné přímky, ve zvláštních případech jediná přímka nebo dva body.
4. **Rovnoběžné stejně dlouhé nespřívající úsečky** se zobrazí jako **rovnoběžné stejně dlouhé úsečky**, ve zvláštních případech jako jediná úsečka nebo dva různé body.
5. **Přímky kolmé k nákresně** se zobrazí jako **přímky**, které svírají s **dolním okrajem nákresny** úhel 45°. Úsečky kolmé k **nákresně** se kreslí na **úhlopěči své délky**.

Na obrázku je zobrazeno nepravidelné těleso. Z možností A, B a C vyberte správné zobrazení tohoto tělesa.



Příloha II

Data Tereza zpracována pomocí AttentionMaps

O vzájemné poloze dvou roviny v prostoru rozhodujeme na základě vzájemné polohy jejich ústředních prvků. Pokud jsou tyto ústřední prvky roviny v jedné přímce, je rovina rovnoběžná s druhou roviny, pokud jsou v jiné přímce, jsou si různoběžné. Pokud jsou ústřední prvky roviny v jedné přímce, je rovina rovnoběžná s druhou roviny, pokud jsou v jiné přímce, jsou si různoběžné.

Vlastní roviny v prostoru mohou být rovnoběžné, různoběžné nebo se protínají v jedné přímce. Vlastní roviny v prostoru mohou být rovnoběžné, různoběžné nebo se protínají v jedné přímce.

Příklad: roviny α a β jsou rovnoběžné, pokud mají společnou přímku p .

Příklad: roviny α a β jsou různoběžné, pokud mají společnou přímku p .

SHRABKOVÁNÍ

Shrabkovávat můžeme různá předměty, ale více, je účinnější pro shrabkování a uchování elektrické náboje. Elektrony se soustředí k tomu, aby se na povrchu koncentrovaly. Podle způsobu technického provedení rozlišujeme různé typy kondenzátorů – deskový, válcový, kulový.

Negativně nabitým systémem je deskový kondenzátor, který je tvořen dvěma rovnoběžnými deskami, mezi nimiž po připojení ke zdroji vznikne homogenní elektrostatické pole.

DESKOVÝ KONDENZÁTOR

Dalším častým modelem vzájemně rovnoběžných rovin jsou stupně schodiště.

PRŮSEČNICE

Pojem průsečnice rovin nazýváme taká množina bodů z obou rovinností a pro každého stavu je rovná této množině bodů. U každé množiny se jedná o

Střední rovinností je vodivostní průsečnice stělních rovin. Užívají se dvě průsečnice dvou stělních rovin, ke které stělní plochy sestupují. Náměstí je dvě průsečnice dvou stělních rovin, od ní stělní plochy sestupují. Tato místa se vyznačují tím, že každý při nesprávném provedení není aniž dochází k zatečení.

VZÁJEMNÁ POLOHA DVOU ROVIN

Máme dvě roviny α a β . Pokud mají roviny α a β jedinou společnou přímku, říkáme, že jsou **RŮZNOBĚŽNÉ**. Společná přímka se nazývá **PRŮSEČNICE ROVIN** α a β .

Je-li přímka p průsečnice rovin α a β , pak píšeme $p = \alpha \cap \beta$.

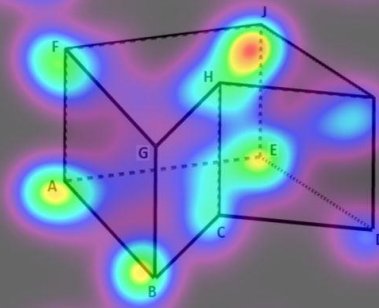
Pokud roviny α a β nemají žádný společný bod, říkáme, že jsou **ROVNOBĚŽNÉ**.

Skutečnost, že jsou roviny α a β rovnoběžné, zapisujeme $\alpha \parallel \beta$.

Pokud mají roviny α a β všechny body společné, jsou **TOTOŽNÉ**, nebo také **SPLÝVAJÍCÍ**. Totéž roviny považujeme za zvláštní případ rovnoběžnosti rovin.

Skutečnost, že jsou roviny α a β totožné, zapisujeme $\alpha = \beta$.

Z uvedených možností A, B, C a D vyberte pravdivé tvrzení týkající se polohy dvou rovin zobrazeného hranolu ABCDEFGHIJ.



- A) Roviny ABD a ABC jsou různoběžné, jejich průsečnice je přímka BE.
- B) Roviny BFJ a AEI jsou rovnoběžné.
- C) Roviny ABJ a AEF jsou různoběžné, jejich průsečnice je přímka AJ.
- D) Roviny ABD a FIJ jsou totožné.

III. POVRCH TĚLES

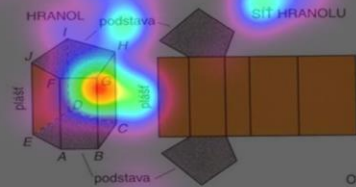
1. POJEM POVRCHU TĚLESA



Povrch tělesa je obsah obrazců, které těleso ohraničují; povrchem koule je obsah kulové plochy. Označujeme ho velkým písmenem S a měříme v jednotkách obsahu (km^2 , ha , a , m^2 , dm^2 , cm^2 , mm^2).

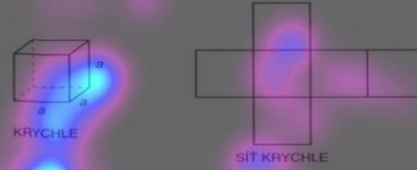
S povrchem těles se v praxi setkáváme při výpočtu spotřeby materiálu na výrobu různých krabic, beden a nádrží, spotřeby laku na natěry předmětů apod.

Povrchy některých těles lze rozvinout do roviny. Takto rozvinutý povrch se nazývá síť tělesa. Síť tělesa se skládá z jednotlivých obrazců, které tvoří povrch tělesa (obr. 2a).



Obr. 2a

2.3 Povrch krychle



KRYCHLE

a = délka krychle
 a = šířka krychle
 a = výška krychle

SÍŤ KRYCHLE

Obr. 12

Povrch krychle tvoří šest stejných stěn (čtverců). Stačí proto vypočítat obsah jedné stěny a vynásobit ho šesti.

Zapíšeme vzorcem:

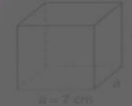
$$S = 6 \cdot a \cdot a$$

Vzorec můžeme psát ve tvaru: $S = 6 \cdot a^2$

Příklad 1

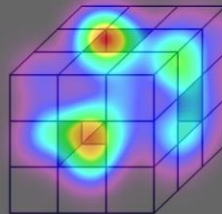
Vypočítejte povrch krychle s hranou délky 7 cm.

Řešení:
 Známe:
 krychle
 $a = 7$ cm
 Až dosadíme: $S = 6 \cdot 7^2$ (cm²)



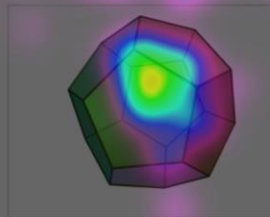
Obr. 13 (část)

Těleso je sestaveno z krychlí s hranou délky 1 cm. Celé těleso obarvíme červenou barvou a potom rozřešíme na krychle o hraně 1 cm. Kolik těchto krychlí bude mít obarvené 3 stěny červeně? Vyberte správnou odpověď.



- A) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 7 krychlí.
- B) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 8 krychlí.
- C) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 10 krychlí.
- D) Tři stěny obarvené červenou barvou bude mít 12 krychlí.

Na obrázku je znázorněno pravidelné těleso. Z možností A, B a C vyberte jeho síť.



- A)
- B)
- C)

II. PROSTOROVÉ ÚTVARY, TĚLESA

1. ZOBRAZENÍ PROSTOROVÝCH ÚTVARŮ DO ROVINY

V planimetrii jsme pracovali s rovinnými útvary, které jsme snadno nakreslili na papír, neboť arch papíru představoval část roviny.

Úkol zobrazit do roviny (na papír) **prostorový útvar (těleso)**, je podstatně složitější, protože papír nemá třetí rozměr.

Existuje několik způsobů, jak tento úkol splnit. Nejběžnější bývá **volné rovnoběžné promítání**. Platí pro něj tato pravidla:

1. Rovina, na kterou kreslíme nebo rysujeme, se nazývá **nákresna** (svíslá tabule, kreslicí papír, list v sešitě).
2. Rovinné obrazce, které leží v nákresně a v rovinách rovnoběžných s nákresnou, se zobrazují ve skutečné velikosti a ve skutečném tvaru.
3. Obrazem nesplývajících rovnoběžných přímek jsou rovnoběžné přímky, ve zvláštních případech jediná přímka nebo dva body.
4. Rovnoběžné stejně dlouhé nesplývající úsečky se zobrazí jako rovnoběžné stejně dlouhé úsečky, ve zvláštních případech jako jediná úsečka nebo dva různé body.
5. Přímky kolmé k nákresně se zobrazují jako přímky, které svírají s dolním okrajem nákresny úhel 45° (popř. 135°). Úsečky kolmé k nákresně se zkracují na polovinu své délky.

Na obrázku je zobrazeno nepravidelné těleso. Z možností A, B a C vyberte správné zobrazení tohoto tělesa.

