



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE REMYHO SEPARÁTORU

DESIGN OF REMY SEPARATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Minx

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Koutecký, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **David Minx**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Koutecký, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce Remyho separátoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Remyho separátor je ortoptická pomůcka sloužící k relaxaci akomodace a konvergence především u akomodativních strabismů (šilhání). Jde jednoduše o přepážku, která odděluje zorná pole obou očí. Pacient si ji jedním koncem přiloží k nosu, druhý konce lišty je ve vzdálenosti 30 cm a jsou na něm dva průhledy s odlišnými obrázky, které se pacient při pohledu do dálky snaží spojit. Při indikaci vhodnosti použití Remyho separátoru je optimální je pravidelné cvičení s touto pomůckou, která je však dostupná většinou pouze v ordinacích ortoptiků.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je návrh a výroba prototypu Remyho separátoru pomocí moderních digitálních technologií (3D tisk, laserové řezání), aby bylo možné zvýšit dostupnost této pomůcky pro ortoptické ordinace nebo domácí použití pacientů.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- rešerše, patentová studie a průzkum trhu,
- přesné stanovení parametrů, požadavků na pomůcku,
- koncepční návrhy Remyho separátoru,
- konstrukce vybraného konceptu a výroba zvolenými technologiemi.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, fotografická dokumentace, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

ZÁBRANSKÁ, Magdaléna, PAPCUNOVÁ, Renáta (ed.). Odlišnosti přístrojového vybavení pro ortoptiku, pleoptiku a diploptiku. Bakalářská práce. Brno: Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, 2018.

ŠENKOVÁ, Kateřina, PŘÍKRÁ, Veronika (ed.). Ortoptika – metodika, princip přístrojů. Bakalářská práce. Brno: Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, 2010.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Rémyho separátor je ortoptická pomůcka, která slouží k léčbě strabismu. V současné době ji v Evropě nikdo nevyrábí ani neprodává. Její hlavní výhodou je jednoduchost cvičení. Tato práce poskytuje obecný přehled o strabismu a aktuálně využívaných modelech Rémyho separátoru. Udává, že důvodem, proč se zařízení nevyrábí, může být omezený počet zákazníků a certifikace. Ukazuje tři koncepční návrhy konstrukce vycházející z původního zařízení, které jsou srovnány na základě funkčnosti, pevnosti, ceny a skladnosti. Detailně popisuje výrobu jednotlivých částí vybraného konceptu za použití 3D tisku a laserového řezání a ukazuje změny provedené na základě zpětné vazby při testování prototypu v ortoptické cvičebně FN Brno. Výstupem práce je funkční zařízení, které může sloužit jako základ pro obnovení jeho výroby.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rémyho separátor, strabismus, certifikace, 3D tisk, testování prototypu

ABSTRACT

The Remy separator is an orthoptic device used to treat strabismus. It is currently not manufactured or sold in Europe. Its main advantage is the simplicity of the exercise. This bachelor thesis provides a general overview of strabismus and the currently used models of Remy separator. It indicates that the reason why the device is not manufactured may be due to the limited number of customers and certification. It shows three conceptual designs based on the original device, which are compared based on functionality, strength, cost and compactness. It describes in detail the fabrication of the individual parts of the selected concept using 3D printing and laser cutting, and shows the changes made based on feedback during testing of the prototype in the orthoptic treatment room of the University Hospital Brno. The result of the work is a functional device that can be the base for resumption of its production.

KEYWORDS

Remy separator, strabismus, certification, 3D printing, prototype testing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MINX, David. *Konstrukce Remyho separátoru*. Online, bakalářská práce. Tomáš KOUTECKÝ (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165924>. [cit. 2025-02-22].

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Tomáši Kouteckému, Ph.D. za vedení bakalářské práce, za jeho cenné rady, za ochotu a za vstřícný a přátelský přístup. Dále bych rád poděkoval paní Jarmile Stehlíkové z FN Brno za poskytnutí odborných informací spojených s Rémyho separátorem.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Tomáše Kouteckého, Ph.D.. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	10
2.1	Binokulární vidění a jeho poruchy	10
2.2	Strabismus	10
2.2.1	Typy	10
2.2.2	Příčiny	11
2.2.3	Diagnostika	11
2.2.4	Léčba	12
2.3	Pleoptika	12
2.3.1	Pleoptické pomůcky	12
2.4	Ortoptika	13
2.4.1	Ortoptické pomůcky	13
2.5	Aktuální situace	14
2.6	Rémyho separátor	14
2.6.1	Historie a aktuální stav	15
2.6.2	Požadavky na pacienty	15
2.6.3	Metody a postup cvičení	15
2.6.4	Materiály	17
2.7	Výrobní technologie	17
2.7.1	Laserové řezání	17
2.7.2	Ohýbání	18
2.7.3	Nýtové spoje	18
2.7.4	Šroubové spoje	18
2.7.5	3D tisk	19
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	20
3.1	Analýza problému	20
3.2	Cíl práce	20
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	22
4.1	Koncept konstrukce A	22
4.2	Koncept konstrukce B	23
4.3	Koncept konstrukce C	23

4.4	Sklička	24
4.5	Srovnání konceptů konstrukce	24
4.5.1	Funkčnost	24
4.5.2	Pevnost	25
4.5.3	Cena	25
4.5.4	Skladnost a přeprava	26
4.6	Srovnání materiálu sklíček	27
4.7	Volba konceptu konstrukce	27
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	28
5.1	Přepážka	29
5.2	Nosič	30
5.2.1	Drážka pro spojení s přepážkou	30
5.2.2	Stupnice s pupilární distancí	30
5.2.3	Drážka pro sklíčka	31
5.2.4	Díry pro distanční tyčinky	31
5.3	Opěrka nosu	31
5.4	Madlo	32
5.5	Distanční tyčinky	32
5.6	Sklička s obrázky	33
5.7	Nastavení a orientace 3D tištěných dílů	33
5.8	Testování prototypu	36
5.9	Výroba finálního zařízení	36
6	DISKUZE	38
7	ZÁVĚR	40
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	43
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	44
11	SEZNAM TABULEK	45
12	SEZNAM PŘÍLOH	46

1 ÚVOD

Rémyho separátor je ortoptická pomůcka, která umožňuje uvolnění akomodace a konvergence očí při pohledu do blízka. Akomodace je schopnost zaostření na pozorované předměty. Konvergence znamená stočení obou očí tak, aby obraz obou očí dopadl na sítnici do místa nejostřejšího vidění. Mezi ortoptisty se jedná o známé zařízení, které má podklady v odborné literatuře. Hlavní výhodou je jednoduchost cvičení, a to z důvodu, že nejčastějšími pacienty ortoptik jsou děti předškolního věku. Nicméně ho nelze v České republice ani v Evropě zakoupit a existující modely jsou vyrobeny v minulém století.

Jedná se o 30 cm dlouhou neprůhlednou přepážku, která se jedním koncem přiloží k nosu. Na druhém konci přepážky je nosič, do kterého se vsunou průhledné obrázky. Pacient se snaží rozdělené obrázky spojit v jeden zrakový vjem. Cvičením se trénuje spolupráce obou očí. Cílem je dosáhnout správného poměru akomodace a konvergence a navodit správné binokulární vidění, což je klíčové u pacientů trpících strabismem.

Při ortoptických cvičeních je důležitá různorodost. Používání více typů pomůcek, pomáhá udržet pozornost dětského pacienta, což umožňuje lepší spolupráci při léčbě poruchy vidění. Ortoptické cvičebny tak přicházejí o zařízení, se kterým se snadno cvičí a které přináší dobré výsledky. I přes nulovou dostupnost Rémyho separátoru se cvičení s ním stále vyvíjí. Souběžně s touto prací vzniká kniha, která popisuje novou metodu cvičení s danou pomůckou.

Při hledání literatury bylo využito vyhledávání v elektronických a patentových databázích. Proběhl kontakt s dodavatelem oftalmologických zařízení a uskutečnil se rozhovor s vedoucí ortoptické cvičebny. Tím se zjistilo, že neexistují žádné platné ani neplatné patenty. Dále byly nalezeny tři české odborné knihy, ve kterých byl Rémyho separátor zmíněn, a to Šilhání od Lady Hromádkové, Strabismus od Gabriely Divišové a Oftalmologie pro speciální pedagogy od Pavla Beneše a Martina Vrubela. Dodavatel oftalmologických zařízení poskytl informaci, že Rémyho separátor nelze v Evropě sehnat. Od vedoucí ortoptické cvičebny bylo zjištěno, jak se s ním cvičí a jaké jsou na něj požadavky.

Bakalářská práce nejdříve pojednává o poruchách vidění. Objasní možné důvody, proč se tato pomůcka nevyrobí. Představuje inovaci konstrukce, její výrobu za použití moderních technologií a uvádí podmínky, za kterých ji bude možné dostat na trh.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Binokulární vidění a jeho poruchy

Binokulární vidění znamená spolupráci obou očí. V místě, kde se protínají zorná pole obou očí, vzniká trojrozměrný obraz. Díky tomu je mozek schopen lépe rozeznat polohu, vzdálenost a orientaci pozorovaného předmětu. [1]

Při poruchách binokulárního vidění je spolupráce očí narušena, což může způsobovat únavu očí, bolest hlavy, dvojitě vidění, ale i problém se čtením a soustředěním. Mezi nejčastější poruchy patří strabismus, při kterém se jedno z očí zaměřuje na jiný bod než to druhé. Tím je způsobeno dvojitě vidění, které se mozek snaží kompenzovat spojením obou obrazů do jednoho. Další poruchou je akomodační porucha, při které má oko problém přestříti na různé vzdálenosti. [2]

2.2 Strabismus

Jedná se o funkční poruchu binokulárního vidění, kde se při zaměření na blízký nebo vzdálený objekt, neprotínají osy vidění ve stejném bodě [3]. Často je navenek viditelné nesouměrné postavení jednoho nebo obou očí [3; 4]. Nicméně jsou případy, kdy je odchylka malá natolik, že není pro běžného člověka rozeznatelná [4]. Dynamický strabismus postihuje 4–6 % narozených dětí [3].

2.2.1 Typy

Strabismů je několik typů. 75 % dětí trpících strabismem má konvergentní strabismus [3]. To znamená, že odchylka očí směřuje směrem k nosu [5]. Zbýlých 25 % dětí trpí divergentním strabismem, kde odchylka směřuje směrem k uším [3].

Rémyho separátor se převážně používá k léčbě konvergentních akomodativních strabismů. Ty se vyznačují dalekozrakostí a nepoměrem mezi akomodační konvergencí a akomodací. Dalekozrakost znamená, že paprsky světla vstupujícího do oka se spojují až za sítnicí. Oko tak vidí rozostřeně na dálku, a ještě více rozostřeně na blízko. Známe tři typy akomodativních strabismů a to typický, atypický a smíšený. U atypického vidí oko rozostřeně jen do blízka. Typický a atypický lze napravit brýlemi. U smíšeného typu je vhodná operace. [3]

Dalším typem, na jehož léčbu se využívá Rémyho separátor je divergentní strabismus excessu divergence. Objevuje se už u dětí v předškolním věku a projevuje se jen při pohledu do dálky, kde se jedno nebo obě oči stočí směrem k uchu. Při běžném vyšetření na vzdálenost pěti metrů ho lze přehlédnout. [3]

2.2.2 Příčiny

V současné době je strabismus považován za funkční senzomotorickou poruchu. Existují čtyři kategorie, které jej mohou způsobovat. První z nich jsou optické překážky, které zhoršují vidění. K nim patří refrakční vady, špatná korekce, zákaly optických prostředí a dlouhodobý ob vaz jednoho oka. Druhé jsou senzomotorické překážky. Do této kategorie patří všechny poruchy zrakové dráhy počínaje sítnicí. Třetí kategorie se nazývá motorické překážky, což jsou poruchy svalů a motorické dráhy od periferních nervů až po jejich jádra. Poslední kategorií jsou centrální překážky. Jedná se o poruchy vyšších mozkových center, která řídí senzomotorickou koordinaci zrakového orgánu. Velkou roli při vzniku strabismu hraje dědičnost. Často bývá jedním ze symptomů u složitých syndromů, které mívají dědičný základ. [3]

2.2.3 Diagnostika

Základem správné diagnostiky je podrobné vyšetření. To lze rozdělit do několika bodů:

- anamnéza – neboli rozhovor s rodiči dítěte, při kterém se lékař snaží získat informace o zdravotním stavu pacienta
- vyšetření zrakové ostrosti
- zakrývací test – slouží k posouzení vzájemného postavení očí
- orientační vyšetření motility a konvergence – motilitou je myšlena pohyblivost oka
- vyšetření v cykloplegii – čímž je myšleno rozkapání očí, které vyřadí vliv zaostřování akomodace oka, což umožní přesné změření oka
- měření zornicové vzdálenosti
- měření úchylnosti šilhání
- vyšetření kvality jednoduchého binokulárního vidění
- vyšetření sítnicové korespondence

[3]

2.2.4 Léčba

Léčbu lze rozdělit na čtyři kapitoly. První je korekce refrakční vady, která probíhá pomocí brýlí. Brýle zlepšují zrakovou ostrost a zmenšují úchytky. Další způsob léčby je operace, která postaví oči do paralelního postavení a umožní dosáhnout jednoduchého binokulárního vidění v prostoru. Posledními kapitolami jsou pleoptika a ortoptika. [3]

2.3 Pleoptika

Pleoptika se zabývá léčbou tupozrakosti, která způsobuje zhoršenou zrakovou ostrost. Funguje na principu znevýhodnění vedoucího oka, což vede ke zlepšení oka tupozrakého. To je nuceno začít vnímat prostorové vjemy a ostrost předmětů. Dělí se na aktivní a pasivní pleoptické cvičení. Pasivní cvičení se provádí v ortoptických ordinacích. Aktivní cvičení využívá různých aktivit na blízkou vzdálenost, dle věku dítěte. Cvičení by měla být různorodá, zábavná a neměla by přesáhnout délku 30 minut, protože dítě pak hůře udrží pozornost. Mezi jednoduchá pleoptická cvičení patří například obkreslování tvarů, navlékání korálek, sestavování stavebnic nebo vystřihování obrázků. Do aktivní pleoptické léčby lze zařadit i Starkiewiczova lokalizační cvičení, založená na svazku oko – ruka, kam patří míčové hry jako je házená, košíková, stolní tenis, a svazku oko – noha, kam patří kopaná nebo chůze po čáře. [3] Tato cvičení lze provádět pouze pod dozorem, jelikož má pacient zalepené vedoucí oko, tudíž má omezený úhel vidění a nevidí trojrozměrně [5].

2.3.1 Pleoptické pomůcky

Mezi nejčastěji využívané pleoptické pomůcky patří okluzor, jedná se o klapku, která zakrývá zdravé oko. Intenzita nošení okluzoru je určena individuálně dle diagnózy pacienta. K jednoduchým přístrojům pro aktivní pleoptiku zařazujeme:

- Lokalizátor – dítě překrývá prstem otvory v kovové desce, které ortoptista postupně rozsvěcuje. Je možno měnit velikost otvorů.
- Korektor – dítě pomocí kovové tužky, která je zapojena do proudového okruhu obtahuje kontury různých tvarů. V případě, že přetáhne konturu obrázku je upozorněno světelným a zvukovým signálem. Korektor se využívá až po úspěšném zvládnutí cvičení na lokalizátoru.
- Mnemoskop – dítě na šikmém pultu obkresluje promítané obrázky. Jejich velikost se postupně zmenšuje z 25 x 25 cm na 5 x 5 cm. Je možno měnit i osvětlení obrázků a tím trénovat postižené oko i při méně vhodných podmínkách.

[3]

Do přístrojů pro pasivní pleoptiku spadá:

- Pleoptofor dle Bangertera – kombinuje oslnění excentrického místa sítnice s přímou stimulací fovey (už se moc nepoužívá). [3]
- Campellův zrakový stimulátor – jde o sedm kotoučů s černými a bílými poli, které se otáčejí. Pole se postupně zmenšují. Stimulují vidění sítnice. [5]
- Centrofor – upevňuje centrální fixaci, která byla získána cvičením na pleoptoforu. [3]
- Barevná reversační stimulace – jedná se o červené a zelené čtverce, které se rychle střídají a postupně se zmenšuje jejich velikost a zrychluje se střídání barevných polí. Jde o stimulaci vidění centrální krajiny oka. [5]

2.4 Ortooptika

Ortooptika přímo navazuje na pleoptiku [5]. Není ovšem vhodná pro všechny děti trpící strabismem [3]. Zaměřuje se na spolupráci obou očí a na nastolení správného binokulárního vidění. Cvičení probíhá ve specializovaných ortoptických cvičebnách, které vlastní ortoptické přístroje, a je vždy pod dohledem ortoptisty. Cvičebny mohou přístroje půjčit pacientům domů. Většina cvičeben však nemá rezervní a pacienti si je musí zakoupit sami. Cvičení probíhá nejméně jednou týdně a trvá kolem třiceti minut. Navození, prohloubení a upevnění binokulárního vidění vyžaduje měsíce cvičení, občas i déle než rok. [5] Ortoptické přístroje fungují na principu rozdělení obrazu obou očí, kde každé oko pozoruje jiný obrázek [3].

2.4.1 Ortoptické pomůcky

K ortoptickým pomůckám se řadí:

- Troposkop – jedná se o nejdůležitější ortoptický přístroj. Nastává u něj největší disociace. Dítě musí spojovat obrázky, které jsou zasunuty do kovových tubusů. [3]
- Synoptofor – aktuálně se používá místo troposkopu. [5]
- Cheiroskop – používá se k odtlumování a nácviku superpozice. [3]
- Brewsterův-Holmesův stereoskop – slouží ke cvičení fúze a nácviku její šířky. [3]
- Vergenční stereoskop – má stejný účel jako Brewsterův-Holmesův stereoskop. [3]
- Rémyho separátor – slouží k uvolnění akomodace a konvergence. [3]
- Diploskop – využívá se k diagnostice poruch symetrického postavení očí při pohledu z blízka a k správnému poměru akomodace a konvergence. [3]
- Aperturní pravítko – slouží k nácviku kladné a záporné šířky fúze do blízka. [5]

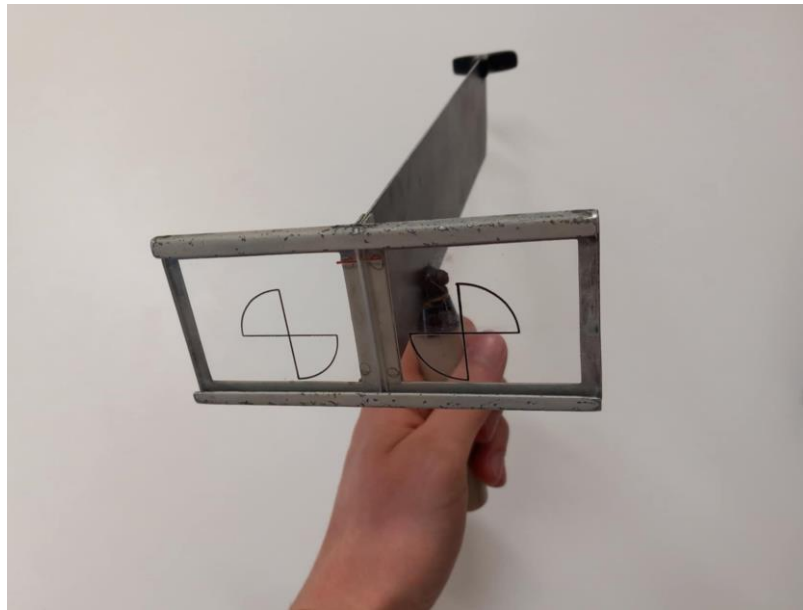
- Bernell scope – používá se k nácviku kladné a záporné šířky fúze do dálky. [5]

2.5 Aktuální situace

V České republice je 67 ortoptických ordinací, které spadají pod Českou společnost ortoptistek [6]. ČSO nemá statistiku množství pacientů na ortoptikách a uvádí, že by bylo velice těžké toto číslo zjistit [7]. Z komunikace s firmou Castor, která je jedním z největších dodavatelů oftalmologických zařízení v ČR, vyplynulo, že Rémyho separátor neprodávají a v Evropě jej nelze sehnat. Na doporučení od firmy Castor se uskutečnilo se i spojení s americkou firmou Bernell, která jej též neprodává. Proběhl kontakt s Ortoptickou ambulancí v Brně v Kohoutovicích, kde Rémyho separátor nemají k dispozici a s ortoptickou cvičebnou FN Brno v Černých polích, kde mají dva kusy. Uskutečnil se rozhovor s vedoucí ortoptické cvičebny Jarmilou Stehlíkovou. Během rozhovoru byl vysvětlen princip a průběh cvičení s danou pomůckou a byly upřesněny požadavky, které má splňovat.

2.6 Rémyho separátor

Hlavní částí zařízení je 30 cm dlouhá neprůhledná přepážka [3; 8]. Je důležité, aby přepážka nebyla lesklá, protože vzniklé odrazy by podstatně ztížily cvičení. Jejím cílem je oddělit zorná pole obou očí [3; 8]. Jedna strana přepážky je zakončena opěrkou, která se přiloží k nosu [3; 8]. Na druhé straně je nosič, do kterého se zasunou sklíčka s obrázky, přes která se pacient dívá do dálky [3; 8]. Jsou dva typy obrázků [5]. První typ obsahuje dva různé obrázky (kříž a kruh), které při cvičení splynou v jeden [3; 5]. Druhý typ obsahuje stejné, jen jinak orientované, obrázky (mašle) [5]. Ty mají stejnou část, která se při cvičení překrývá [5]. V místě těžiště přepážky je umístěno madlo, za které pacient zařízení drží. Poslední součástí jsou distanční tyčinky o tloušťce 2–12 mm, které lze umístit mezi obrázky a tím zvýšit, případně snížit, obtížnost cvičení [3].



Obr. 2-1 Rémyho separátor.

2.6.1 Historie a aktuální stav

Rok vzniku ani autora zařízení se nepodařilo dohledat. V Evropě neexistuje žádná firma, která by jej v současné době prodávala [5]. Firma, která vyrobila modely pro ortoptickou cvičebnu ve FN Brno už neexistuje a její název není znám [5]. Modely jsou starší více než třicet let, i přesto jsou plně funkční a denně využívány [5].

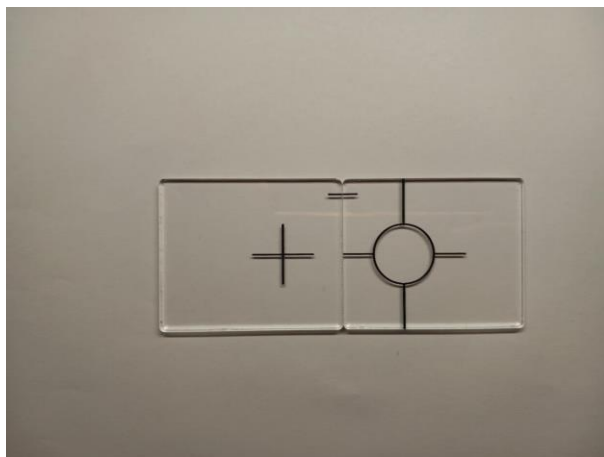
2.6.2 Požadavky na pacienty

Nejčastějšími pacienty ortoptických ordinací jsou děti v předškolním věku [5]. Proto je nutné, aby tomu bylo zařízení přizpůsobeno. Nejdůležitějším faktorem je jednoduchost a srozumitelnost cvičení. Důležitou roli hraje i zábavnost, aby dítě neztratilo zájem o pravidelný trénink. Zároveň je vhodné, aby cvičení s pomůckou bylo pohodlné, například, aby se dobře držela a nebyla příliš těžká. Dále je podstatné, aby ortoptista mohl zkontrolovat, zda dítě cvičí správně a aby bylo možné zařízení individuálně nastavit dle potřeby dítěte. Mělo by být vyrobeno z člověku nezávadných materiálů. Nemělo by obsahovat ostré hrany ani části, o které by se dítě mohlo škrábnout, pořezat nebo je sníst. Mělo by vydržet pravidelné používání a při skladování nezabírat příliš místa.

2.6.3 Metody a postup cvičení

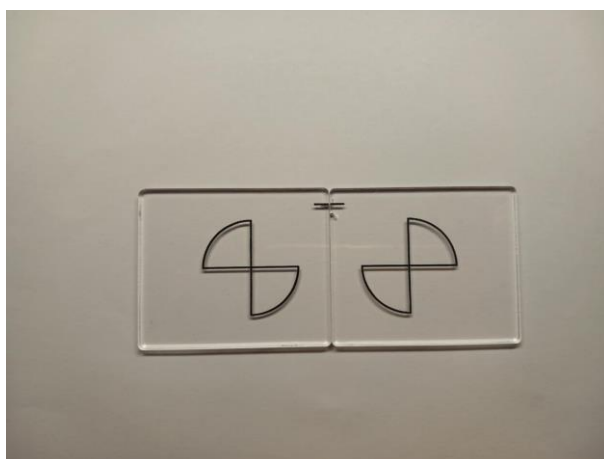
Rémyho separátor se využívá u akomodativních strabismů a strabismů typu excesu divergence [5]. Oba strabismy jsou více popsány v podkapitole 2.2.1 Typy.

V případě léčby akomodativního strabismu si pacient přiloží zařízení ke kořeni nosu, přes průhledná sklíčka se dívá před sebe a zároveň vnímá obrázky, které na nich jsou. Nejprve jsou obrázky u sebe a postupně se oddalují. Pacient se po celou dobu snaží spojit rozdílné obrázky v jeden zrakový vjem. Před pravým okem vidí například kříž a před levým kolečko. Spojením obrazů bude pacient vidět kříž v kolečku. [5]



Obr. 2-2 Sklíčka kříž a kolečko.

U strabismu typu excesu divergence se využívá Nácvičku na Rémyho separátoru dle Stehlíkové. Pacient si opět přiloží zařízení ke kořeni nosu a dívá se přes průhledná sklíčka, na kterých jsou mašličky (viz. Obr. 2-3). Sklíčka jsou zpočátku co nejdál od sebe, čímž se pacientovi usnadní spojení obrázků v jeden zrakový vjem. Pacient se dívá skrze sklíčka do dálky (z okna) a zároveň vnímá obrázky. Sklíčka se postupně přibližují, čímž se zvyšuje obtížnost cvičení. Výsledkem má být dosažení paralelního postavení očí při pohledu na obzor. [5]



Obr. 2-3 Sklíčka mašle.

2.6.4 Materiály

Na výrobu Rémyho separátoru, který je aktuálně používán, bylo využito dvou základních materiálů. Přepážka a nosič jsou vyrobeny z kovu. Ostatní díly, kromě spojovacího materiálu, jsou plastové. Přesné označení materiálů není známo.

2.7 Výrobní technologie

Původní zařízení je vyrobeno řezáním kovů, ohýbáním a nýtováním. Konkrétní metoda řezání kovů není známa. Z plechu je vyřezána přepážka, nosič a obdélník. Díry na nýty jsou buď vyřezány nebo vyvrtány. Horní a spodní část nosiče se ohne tak, aby se do něj daly vsunout sklíčka. Obdélník se ohne do tvaru písmene L. Následně se pomocí nýtů k přepážce připevní obdélník a k němu nosič. Madlo a opěrka nosu jsou pravděpodobně vyrobeny vstříkáním plastů. K přepážce jsou připevněny pomocí nýtů.

Nový prototyp bude vyroben za pomoci 3D tisku a laserového řezání. Ke spojení jednotlivých dílů bude využito buď tvarových nebo šroubových spojů.

2.7.1 Laserové řezání

Funguje na principu spalování nebo protavování řezaného materiálu. Laserový paprsek je soustředěn do místa řezání o průměru 0,02 až 0,25 mm, kde je ohříván na požadovanou pracovní teplotu. [9]

Při řezání spalováním dochází k ohřevu materiálu pomocí laserového paprsku, přičemž následné dělení je způsobeno reakcí řezaného materiálu s kyslíkem, který je přiváděn do místa řezu. [9]

Při řezání protavováním je roztavený materiál z řezu odstraňován proudem neutrálního řezného plynu. Při řezání snadno spalitelných nekovových materiálů se často používá řezný plyn na bázi dusíku. Využívá se i odpařování řezaného materiálu. [9]

Obě metody umožňují vytvářet řezy s velmi přesnými paralelními řeznými plochami, kde poměr šířky řezu k tloušťce řezaného materiálu je přibližně 1:100. Čímž je docíleno vysoké rozměrové i tvarové přesnosti a dobré jakosti řezných ploch, které často nevyžadují další opracování. Mezi další výhody patří schopnost řezat velmi tvrdý, ale i velmi měkké materiály. Laser je vhodný pro řezání rovinných i prostorových tvarů. [9]

2.7.2 Ohýbání

Jedná se o způsob tváření, při kterém dochází k trvalé deformaci materiálu pod různými úhly ohybu s menším nebo větším zakřivením hran. Ohýbání patří do plošného tváření. Nástrojem je ohýbadlo, výrobkem je výlisek. [9]

Při ohýbání dochází k pružně plastické deformaci, která má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose. Vnější vlákna materiálu jsou namáhána na tah a vnitřní na tlak. Dosahují hodnot v oblasti trvalé deformace. Průřezy s delší stranou na výšku jsou více deformovány než průřezy s delší stranou na ležato. Blízko střední části průřezu bývají tahová napětí malá a dosahují pouze meze kluzu. V této části se nachází vlákna, kde nejsou žádná napětí ani deformace. Jejich spojnice se nazývá neutrální osou. Ta se při ohýbání neprodlouží ani nezkrátí, v ohýbané části se posune k vnitřní straně ohybu, a proto není totožná s osou těžiště. U tlustých plechů je potřeba s touto informací pracovat. U tenkých plechů je tento rozdíl zanedbatelný. Rozvinutá délka plechu se určuje pomocí délek rovinných ploch a délky neutrální osy v částech, které se ohýbají. [9]

Vlivem pružné deformace kolem neutrální osy dochází ke zpětnému odpružení, které bývá 3° až 15° . Jeho velikost závisí na tvárnosti materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Lze jej odstranit větším ohnutím materiálu o hodnotu úhlu odpružení. [9]

2.7.3 Nýtové spoje

Jedná se o nerozebíratelný spoj, to znamená, že jej nelze rozebrat bez poškození spojovacích nebo spojovaných součástí. Spoj je s kombinovaným stykem (kombinace tvarového a silového styku). Nýtování se dělí na přímé, kdy je konec jedné ze spojovaných částí zasunut do díry v druhé součásti a následně deformován a nepřímé, kdy se deformují konce nýtů, které jsou vloženy do průchozích děr ve spojovaných součástech. V dnešní době jsou nýtové spoje často nahrazovány svařováním nebo lepením. [10]

Nýtuje se ručně i strojně a za tepla nebo za studena. Nýty lze rozdělit na konstrukční, kotlové, záпустné, drobné a speciální. Do speciálních nýtů patří nýty duté, rozpěrné, výbušné, nýty s trnem a nýtovací matice. [10]

2.7.4 Šroubové spoje

Patří mezi rozebíratelné spoje. Tím je myšleno, že je lze vícekrát rozebrat a smontovat bez poškození jakýchkoli částí. Jedná se o spoje s tvarovým stykem, což znamená, že se síla z jedné součásti přenáší do druhé tvarovou spojovací součástí (šroubem). Při utažení šroubů před zatížením se vytváří osová síla, při které jsou šroub a spojované součásti předepjaty. Vzniká tak silový spoj. Při nadměrném dotažení šroubového spoje může dojít k plastickým deformacím, které se mohou při provozu zvětšovat, což by vedlo k uvolnění spoje. [10]

Šroubové spoje lze rozdělit na tři základní druhy, a to spoj šroubu s hlavou a maticí, spoj šroubem s hlavou zašroubovaným do součásti a spoj závrtným šroubem a maticí. Dále lze šrouby dělit podle typu závitů, např. na metrický, palcový, lichoběžníkový atd.. [10]

2.7.5 3D tisk

Rémyho separátor obsahuje několik plastových dílů. Ty jsou pravděpodobně vyrobeny vstříkáním. Jelikož se nejedná o spotřební zboží, které by bylo vyráběno v řádech tisíců kusů, nabízí se možnost jejich výroby pomocí 3D tisku.

Mezi nejvíce rozšířené technologie tisku patří FDM (Fused Deposition Modeling), kde je materiál vytlačován tryskou a nanáší se vrstvu po vrstvě, SLA (Stereolitografie), kde je pomocí světla vytvrzován tekutý polymer, a SLS (Selective Laser Sintering), která funguje na principu spékání prášku laserem. Hlavní výhodou technologie FDM je nízká pořizovací cena tiskárny i materiálu a jednoduchý tisk. Nevýhodou je menší přesnost v porovnání s ostatními metodami. Výhodami technologie SLA je vysoká přesnost, dobré detaily, hladký povrch a možnost tisknout bez podpor. Nevýhodou je menší tisková plocha a toxicita kapalných pryskyřic. Výhodou technologie SLS je vysoká pevnost, odolnost výrobků a možnost tisknout bez podpor. Hlavní nevýhodou je vyšší pořizovací cena a provozní náklady. [11]

Pro výrobu 3D tištěných modelů se byla zvolena technologie FDM, a to z důvodu její dostupnosti. Výrobní proces začíná tvorbou 3D modelu pomocí CAD softwaru, ten se následně uloží jako síť polygonů, nejčastěji trojúhelníků, a převede se do sliceru. Tam proběhnou úpravy tisku jako je nastavení orientace, výplně, výšky vrstvy, počtu perimetrů, rychlosti a dalších. Slicer následně vygeneruje G-code, který se nahraje do tiskárny.

Na cívce je namotaný filament, který je protlačován vyhřátou tryskou [11]. Ta jej v průběhu tisku taví, což umožňuje jeho nanášení na tiskovou podložku, kde postupně tuhne [11]. Tisková hlava, jejíž součástí je tryska, se pohybuje většinou ve dvou osách. Pohyb ve třetí ose je zajištěn podložkou. Nejprve proběhne tisk jedné vrstvy, následně se tiskárna posune o vrstvu výš a tiskne následující vrstvu. Celý proces se opakuje, dokud není model hotov.

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Rémyho separátor je dostupný pouze v ortoptických ordinacích. Vlastní ho pouze větší ortoptické ordinace, kde zřizovatelem je stát. V soukromých ortoptických ordinacích ho většinou nenajdeme. Dva modely vlastní ortoptická cvičebna ve FN Brno, která se stala spádovým místem pro celý Jihomoravský kraj. Omezený počet kusů neumožňuje ordinacím půjčit danou pomůcku pacientům domů. Pokud je tedy pacientovi doporučeno cvičit s touto pomůckou, musí tak dojíždět do nejbližší ordinace, která ji vlastní. To bývá pro pacienty komplikací, jelikož délka cvičení se pohybuje v řádu měsíců, občas i více než rok, a pacient musí do ortoptické ordinace dojíždět každý týden. [5]

Nebyla nalezena žádná firma, která by v současné době Rémyho separátor vyráběla nebo prodávala. Jedním z důvodů, proč se neprodává může být fakt, že se nejedná o spotřební zboží. Zařízení vydrží správně fungovat desítky let. V kombinaci s omezeným počtem ortoptických ordinací tak nemusí být jeho výroba finančně výhodná. Důležitou roli hraje i certifikace. V případě, že ji bude nutné zhotovit, se významně zvýší počáteční náklady. Cena certifikace se pohybuje v nižších řádech stovek tisíc korun.

V současné době nikdo jiný nedělá kroky k vyřešení problému s nulovou dostupností. Při průzkumu patentových databází bylo zjištěno, že neexistují žádné platné ani neplatné patenty. Nejsou známy ani žádné předpisy nebo normy, které by se k Rémyho separátoru přímo vztahovaly [12]. Zatím není zjištěno, zda je certifikace vyžadována.

3.2 Cíl práce

Hlavním cílem je vyrobit funkční prototyp Rémyho separátoru za pomoci 3D tisku a laserového řezání a tím snížit náklady na jeho výrobu. Výsledkem mělo být zvýšení dostupnosti pro ortoptické ordinace a jejich pacienty. Nicméně při zpracování rešerše bylo zjištěno, že problémem není vysoká pořizovací cena, ale nulová dostupnost.

Dílčí cíle:

- Zpracování rešerše
- Průzkum trhu
- Patentová studie
- Návrh konceptů
- Konstrukce vybraného konceptu

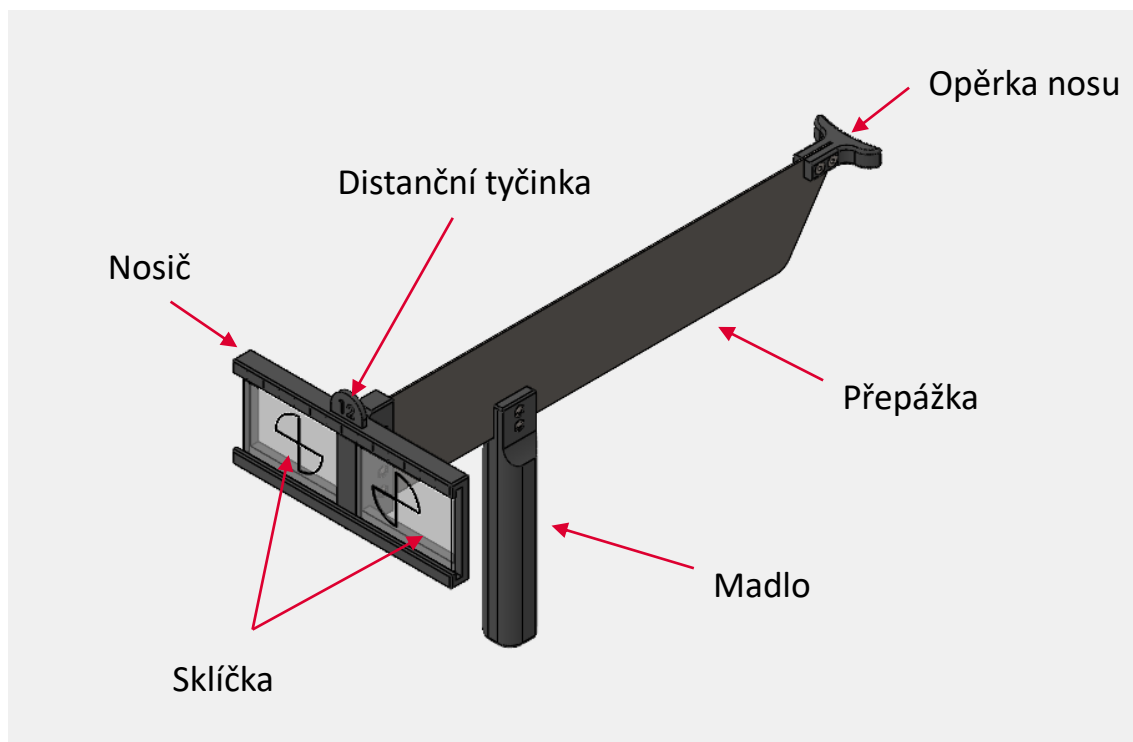
- Výroba prototypu
- Testování
- Úprava prototypu na základě zpětné vazby

Další požadavky na konstrukci:

- Optimalizace pro 3D tisk
- Kompaktnost
- Bezpečnost

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

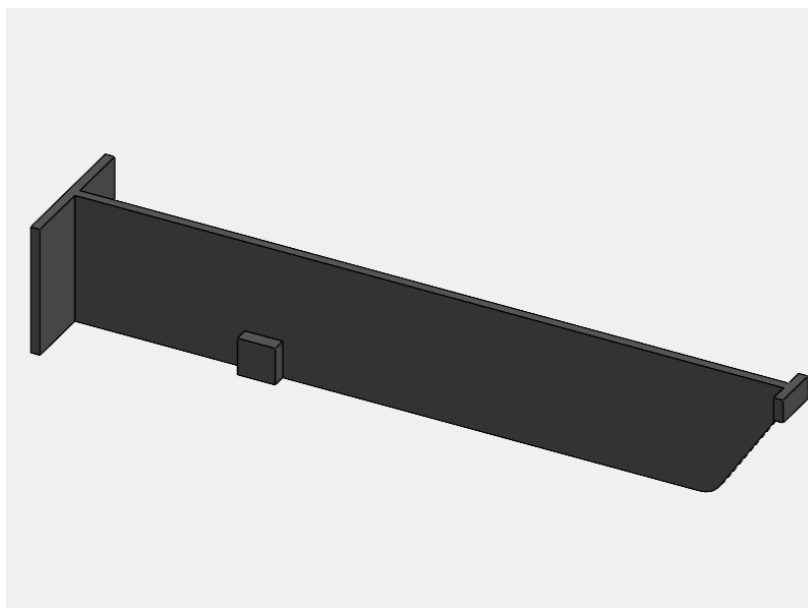
Koncepty byly rozděleny na hlavní konstrukci a sklíčka.



Obr. 4-1 Rémyho separátor s popisem jednotlivých dílů.

4.1 Koncept konstrukce A

U konceptu A je celé zařízení, kromě sklíčků, vyrobeno pomocí 3D tisku a bez použití spojovacího materiálu. Nosič i opěrka nosu jsou opatřeny drážkou ve tvaru písmene T, která není plně průchozí. Přepážka je na obou koncích zakončena negativem zmíněných drážek. V místě, kde bude připevněné madlo je vyrobena čtvercová drážka. Nosič i opěrka se shora nasunou na přepážku. Madlo se připevní k přepážce pomocí čtvercové drážky. Sklíčka jsou nasunuta do nosiče a drží samovolně díky malé vůli.



Obr. 4-2 Přepážka konceptu A.

4.2 Koncept konstrukce B

U konceptu B je přepážka vyrobena z plechu pomocí laserového řezání. Do přepážky jsou vyřezány otvory na šrouby. Ostatní díly, kromě sklíček, jsou tištěné. Tištěné díly obsahují zahloubení pro zápusťné šrouby a matice, kterými jsou spojeny s přepážkou. Sklíčka jsou stejně jako u konceptu A nasunuta do nosiče a drží samovolně díky malé vůli.

4.3 Koncept konstrukce C

Koncept C je replikou původního zařízení, kde jsou přepážka i nosič vyrobeny z plechu. Do nosiče jsou vyřezány otvory a následně je ohnut na požadovaný tvar. Díry na nýty a šrouby jsou buď vyřezány nebo vyvrtány. Součástí zařízení je obdélníkový plech, který je ohnut do tvaru písmene L a který obsahuje díry na nýty. Tento obdélník je snýtovaný s přepážkou a nosičem. Opěrka nosu a madlo jsou vyrobeny vstříkáním plastů. Opěrka je připojena k přepážce pomocí nýtů. Madlo je k přepážce přišroubováno. Sklíčka jsou opět nasunuta do nosiče a drží samovolně díky malé vůli.



Obr. 4-3 Rémyho separátor (původní zařízení).

4.4 Sklíčka

Sklíčka mohou být vyrobená z libovolného průhledného materiálu, na který lze nakreslit obrázky. Běžně se používají průhledné plastové fólie, sklo nebo plexisklo.

4.5 Srovnání konceptů konstrukce

Koncepty konstrukce budou srovnány na základě specifických požadavků na zařízení jako jsou funkčnost, pevnost, cena a skladnost. Následně bude vybrán ten nejlepší koncept, který bude zkonstruován.

4.5.1 Funkčnost

Všechny koncepty konstrukce by měly být funkční. Pouze u konceptu A nastává problém s přepážkou, která má oddělovat zorná pole obou očí. Aby se přepážka nestala rušivým prvkem při cvičení, je důležité, aby nebyla příliš tlustá. To ovšem může být pevnostní problém, jelikož přepážka je 30 cm dlouhá a u konceptu A bude vyrobená z plastu pomocí 3D tisku. Funkčnost konceptu A závisí také na přesnosti funkčních ploch, pomocí kterých budou jednotlivé díly spojeny s přepážkou. Jsou tak kladeny vyšší nároky na přesnost výroby.

Koncepty B a C jsou si z hlediska funkčnosti rovnocenné.

4.5.2 Pevnost

Jak bylo zmíněno v předchozí podkapitole, aby přepážka u konceptu A nebyla rušivým prvkem, nesmí být příliš tlustá, což souvisí s její pevností. Další problém nastává s orientací přepážky při 3D tisku. Jelikož na obou koncích obsahuje přepážka zakončení ve tvaru T, bude muset být tištěna dle Obr.. Což ovlivní celkovou pevnost, protože 3D tištěné díly praskají nejčastěji mezi jednotlivými vrstvami. Optimální orientace vzhledem k pevnosti by tak byla naležato, to ovšem bez použití podpěr není možné. Ostatní díly jsou vzhledem k pevnosti u všech konceptů rovnocenné.

V porovnání s konceptem A se u konceptů B a C se dá předpokládat vyšší pevnost přepážky.

4.5.3 Cena

V této podkapitole není uvažována pouze cena materiálu, ale i náklady spojené s povrchovými úpravami jednotlivých dílů a jejich montáží.

Koncept A je vyroben pouze pomocí 3D tisku. Jelikož u něj není použit spojovací materiál, stačí díly do sebe zasunou. Až na případné odstranění podpěr tak nevzniká žádná další práce spojená s úpravou jednotlivých dílů.

Koncept B je na tom, co se týče výroby nosiče, madla a opěrky nosu, stejně jako koncept A. Rozdíl nastává v přepážce, která je v tomto případě vyrobena z plechu. Cena výroby plechu závisí na materiálu, na který není kladen velký důraz. Může se tedy pohybovat v nižších desítkách korun stejně jako přepážka v konceptu A. Nicméně po vypálení je potřeba zahladit hrany a plech odmastit a nalakovat. Jednotlivé díly je potřeba sešroubovat. V porovnání s konceptem A tak vznikají náklady spojené s barvou, spojovacím materiálem, úpravou plechu a montáží.

U konceptu C jsou opěrka nosu a madlo vyrobeny pomocí vstříkovaní plastů. V případě velkosériové výroby by tato výrobní technologie byla levnější než 3D tisk. Nicméně dané zařízení se bude vyrábět v nižších řádech stovek kusů, takže rozdíl v ceně nebude markantní. V porovnání s ostatními koncepty, obsahuje koncept C ještě malý plech ve tvaru obdélníku. Přepážka, obdélník a nosič budou vyřezány z plechu, obdélník a nosič budou následně ohnuty do požadované podoby. U všech plechových dílů bude potřeba obrousit hrany, odmastit je a nalakovat. Opěrka nosu a nosič jsou k přepážce připojeny nýty, madlo je k ní přišroubováno. V porovnání s konceptem B jsou tu navíc náklady spojené s ohýbáním plechu a nýtováním. Jelikož tu nejsou 3D tištěné díly, tak odpadá práce spojená s odstraněním podpěr.

Pro větší přehlednost nákladů na výrobu jednotlivých konceptů je pod tímto odstavcem umístěna tabulka. Jedná se o rámcové odhady. U 3D tištěných dílů byla počítána pouze cena filamentu a to 0,4 Kč za 1 gram. U lisovaných dílů nebyly do celkové ceny zahrnuty náklady na výrobu forem, které činí přibližně 15 000 Kč za formu. U konceptu C budou potřeba formy dvě. Cena jednoho výlisku u formy s ruční obsluhou činí 7-8 Kč. Odstranění podpor zabere přibližně 10 minut. Obroušení a nanesení barvy na přepážku též. Doba montáže jednotlivých dílů k přepážce trvá v rozmezí 1-2 minut. U konceptu C je odhadovaná doba úpravy dílů 40 minut, jelikož je třeba obrousit a nanést barvu na tři díly a dva z nich ještě ohnout. Hodinová sazba za práci byla určena 200 Kč/hod. U plechových dílů je v ceně za práci započítána i cena barvy, která bude na plech nanášena.

Tab. 4-1 Srovnání nákladů na výrobu jednotlivých konceptů.

Náklady na	Koncept A	Koncept B	Koncept C
Plastové díly	55 Kč	35 Kč	15 Kč
Díly z plechu	-	10 Kč	20 Kč
Spojovací materiál	-	5 Kč	15 Kč
Práce	35 Kč	80 Kč	140 Kč
Celkové náklady	90 Kč	130 Kč	190 Kč

Koncept A je jednoznačně nejlevnější variantou. To je způsobeno převážně minimálními úpravami jednotlivých dílů, do kterých spadá pouze odstranění podpor. Koncept B je proti konceptu A dražší v řádu desítek korun, což je způsobeno náklady spojenými s úpravou přepážky. Koncept C je nejdražší vzhledem k práci spojené s ohýbáním, nýtováním a větším množstvím plechových dílů. Do celkové ceny u konceptu C není započítána výroba forem na výlisky, čímž by se celková cena ještě navýšila.

4.5.4 Skladnost a přeprava

Zařízení má nepraktický tvar, který zabírá hodně prostoru. Koncept C je vzhledem k úspoře místa nejméně vhodný, jelikož jediná část, kterou lze od přepážky odmontovat je madlo.

Koncepty A a B jsou v rámci skladnosti stejné. U obou z nich lze jednotlivé díly oddělit a zase spojit. Koncept A je lehce výhodnější, jelikož není potřeba spojovací materiál. Nicméně při opakované montáži a demontáži může dojít k opotřebení dílů a ztrátě funkčnosti.

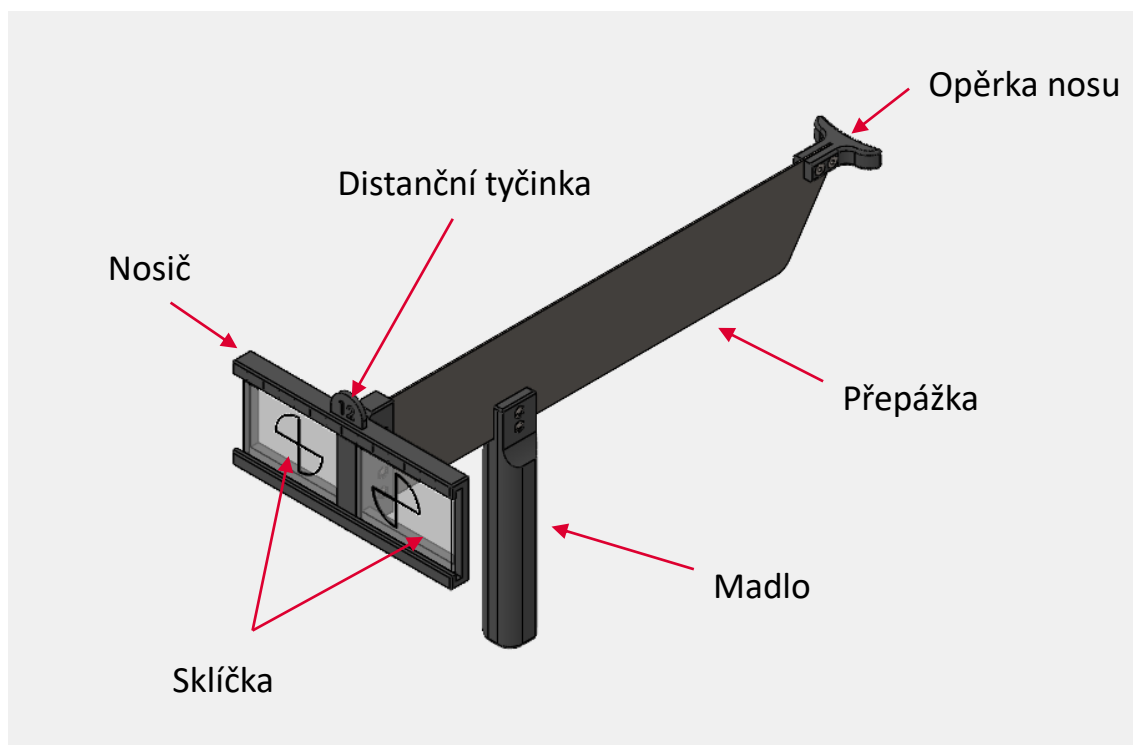
4.6 Srovnání materiálu sklíček

Fólie mají tendenci se lámat nebo ohýbat, což může narušovat průběh cvičení. Zároveň na ně nelze použít gravírování, jelikož jsou příliš tenké. Způsob uchycení fólií není znám, předpokládá se však, že fólie jsou k nosiči připevněny trvale a nelze s nimi tedy hýbat, což by omezovalo funkčnost zařízení. Sklo se nasune do drážek v nosiči a lze měnit jeho pozici. Z hlediska funkčnosti se jedná o vhodného kandidáta, nicméně při manipulaci s ním hrozí nebezpečí pořezání, případné rozbití při pádu. Ideální variantou tak zůstává plexisklo, které je dostatečně pevné, lze jej gravírovat a je bezpečnější než sklo.

4.7 Volba konceptu konstrukce

Jako nejvhodnější byl zvolen koncept B, jelikož nemá žádné úskalí z hlediska funkčnosti. Přepážka je dostatečně tenká a zároveň pevná. Zařízení je skladné a cenově srovnatelné s konceptem A, který je z hlediska výroby nejlevnější.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ



Obr. 5-1 Rémyho separátor s popisem jednotlivých dílů.

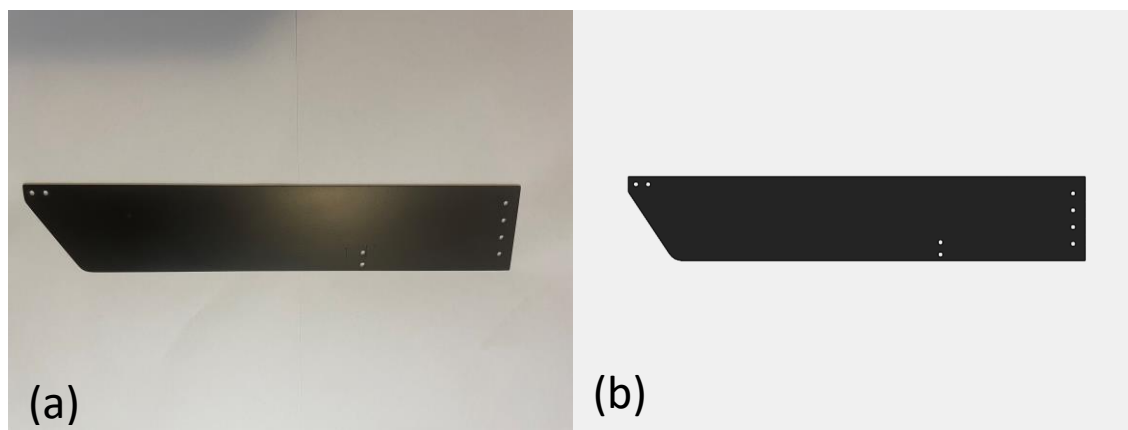
Konstrukce proběhla dle zvoleného konceptu B, kde je přepážka vyrobena z plechu, ostatní díly jsou vytisknuty na 3D tiskárně a spojeny s přepážkou pomocí šroubů. Byl navržen prototyp, který se otestoval v ortoptické cvičebně FN Brno. Na základě zpětné vazby proběhly úpravy a výroba výsledného zařízení.

Díly vyrobené pomocí 3D tisku byly vytisknuty na tiskárně Prusa MK4S [13]. Pro výrobu prototypu se využil materiál PLA, jelikož je všeobecně známý jako snadno tisknutelný a vhodný na prototypování. Výsledné zařízení bylo vyrobeno z PETG, protože je více odolný proti UV záření a méně degraduje než PLA, což je jeden z požadavků na zařízení. V porovnání s PLA je zároveň i pevnější a odolnější. Při tisku PLA byla použita hladká podložka. PETG se tisklo na podložce saténové. Pro uvedené materiály je tiskárna Prusa MK4S plně dostačující a není potřeba využívat tiskáren s vyhřívanou komorou nebo s možností multimateriálového tisku.

Celé zařízení se skládá z přepážky, nosiče, opěrky nosu, madla, skel s obrázky a distančních tyčinek. Jednotlivé části budou blíže popsány v následujících kapitolách. Jako spojovací materiál byly použity šrouby se zápusťnou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 10642 M3x12 a šestihranné matice DIN 934 M3. Všechny tištěné díly, které jsou spojeny s přepážkou pomocí šroubů obsahují díry o průměru 3,2 mm. Na jedné straně je každá díra zkosena pod úhlem 45° do hloubky 1,6 mm, aby se v ní schovala hlava šroubu. Na straně druhé je šestihranné zahloubení pro matici hluboké 2,5 mm a se vzdáleností mezi rovnoběžnými stěnami 5,6 mm. Matice má tloušťku 2,4 mm a vzdálenost mezi rovnoběžnými stěnami 5,5 mm. Mezi stěnou zahloubení a stěnou matice je tedy vůle 0,05 mm.

5.1 Přepážka

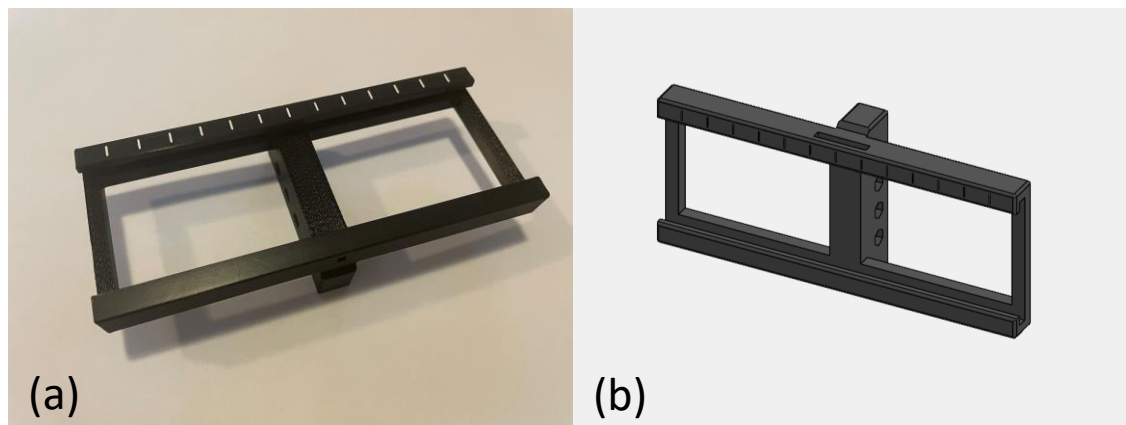
Přepážka je vyrobena pomocí laserového řezání. Polotovarem je plech z korozi-vzdorné oceli X12Cr13 o tloušťce 2 mm. Přepážka je vyřezána včetně otvorů na šrouby. Otvory jsou kruhové, průchozí a mají průměr 3,2 mm. Pozice otvorů, kde bude k přepážce přišroubováno madlo, je určena pomocí těžiště vygenerovaného programem SolidWorks. Brusným papírem jsou zaobleny všechny ostré hrany. Plech je následně nastříkán černou barvou ve spreji Maston ONE black RAL9005 matt. Je důležité, aby barva byla matná. V případě lesklé barvy by pacient při cvičení viděl na přepážce odrazy, což by cvičení podstatně ovlivňovalo. Zmíněná barva ve spreji je vhodná na kov, nanáší se ve dvou vrstvách, má vysokou krycí schopnost a je odolná proti nárazům, úderům a oděru [14].



Obr. 5-2 Přepážka; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.

5.2 Nosič

Jedná se o nejsložitější díl vyrobený pomocí 3D tisku. Skládá se z několika funkčních prvků, mezi které patří obdélníková drážka pro spojení s přepážkou, drážka pro sklíčka, stupnice s pupilární distancí a dvě průchozí díry pro distanční tyčinky.



Obr. 5-3 Nosič; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.

5.2.1 Drážka pro spojení s přepážkou

Jedná se o drážku obdélníkového průřezu s hloubkou 16 mm, která se nasune na přepážku. Mezi drážkou a přepážkou je po celém obvodu vůle 0.125 mm. Spojení nosiče s přepážkou je zrealizováno pomocí zápusťných šroubů a matic a je blíže popsáno v kapitole 5 Konstrukční řešení.

5.2.2 Stupnice s pupilární distancí

Proti původnímu zařízení obsahuje nosič prototypu stupnice s pupilární distancí. Pupilární distance je vzdálenost středů zorniček, kde 1 PD je rovna 1 mm. Lze ji měřit buď od oka k oku nebo od středu nosu k jednotlivým očím. Stupnice je na nosiči vyrobena pomocí obdélníkových drážek o hloubce 0,3 mm. Drážky jsou široké 0,4 mm a vysoké 4 mm. První drážka je umístěna ve středu stupnice. Na levou i pravou stranu od první drážky je dalších šest drážek, jejichž středy jsou odstupňovány po deseti mm. Maximální PD, kterou lze pomocí stupnice nastavit je 120 mm. Pro lepší viditelnost jsou drážky vybarveny akrylovou barvou Revell 36105 white matt.

5.2.3 Drážka pro sklíčka

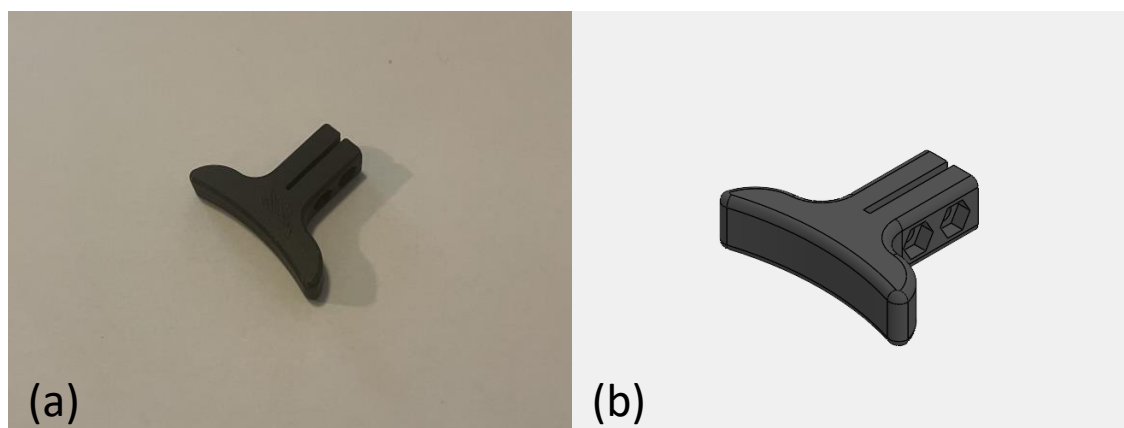
Součástí nosiče je drážka pro sklíčka s obrázky. Ty musí jít do drážky zasunout a držet v nastavené pozici. Jelikož pozice skel v drážce bude proměnná, nelze je zajistit pomocí díry a závlačky. Nejjednodušší variantou z hlediska konstrukce i cvičení je vyrobít drážku dostatečně přesnou natolik, aby sklíčka držela samovolně. Proto byla zvolena šířka drážky 3,5 mm. Tloušťka skel jsou 3 mm.

5.2.4 Díry pro distanční tyčinky

V horní části nosiče je průchozí díra o šířce 3,2 mm. Tato díra slouží k zasunutí a zajištění distančních tyčinek. Její délka je 12,4 mm. Součástí díry je i zahlobení o stejné šířce, které je hluboké 2 mm a dlouhé 20,3 mm. Účelem tohoto zahlobení je omezení případného pohybu distančních tyčinek. V dolní části nosiče je průchozí díra o šířce drážky pro sklíčka s délkou 2,4 mm. Do díry se zasouvá spodní část distančních tyčinek, pro snadnější zasunutí je díra opatřena zkosením $1 \times 45^\circ$.

5.3 Opěrka nosu

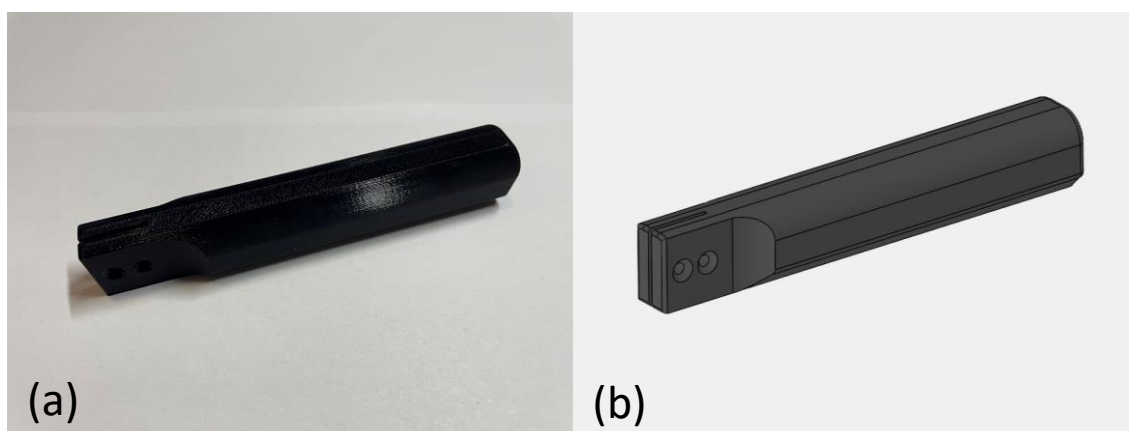
Opěrka nosu je dalším dílem vyrobeným pomocí 3D tisku. Na jedné straně má drážku, která se nasune na přepážku. Vůle mezi stěnami drážky a přepážky je 0,05 mm. K přepážce se připevní pomocí zápusných šroubů a matic. Spojení je blíže popsáno v kapitole [5 Konstrukční řešení](#). Druhá strana opěrky se přikládá ke kořeni nosu (mezi obočí). Pro pohodlné přiložení na ní realizováno zaoblení, které je přizpůsobeno dětské hlavě.



Obr. 5-4 Opěrka nosu; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.

5.4 Madlo

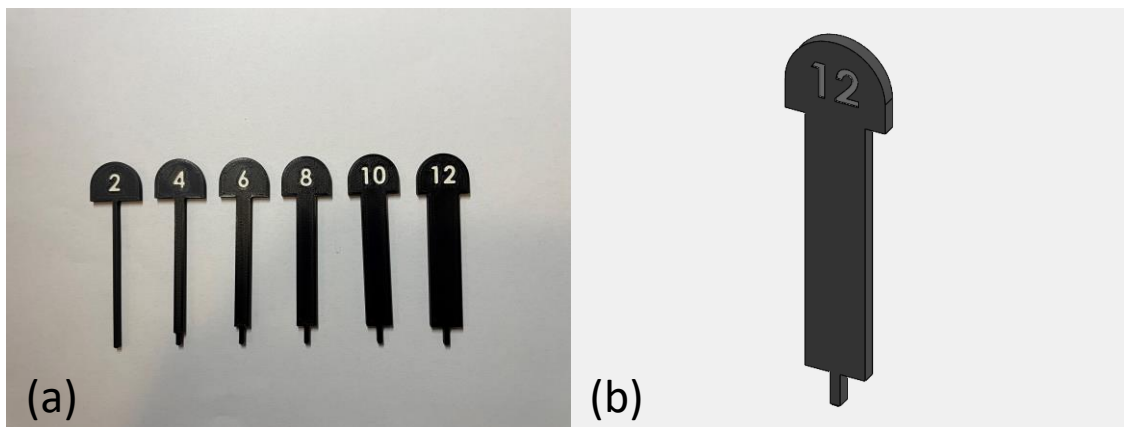
Madlo je vyrobeno pomocí 3D tisku. Původně bylo navrženo s kruhovým průřezem. Nicméně i přes zarovnání plochy, která je při tisku v kontaktu s podložkou, nebylo možné rádius vytisknout s dobrou kvalitou povrchu. Dalšími testovanými variantami byl průřez ve tvaru elipsy a čtverce se zaoblenými hranami, kde výsledný povrch byl lepší v porovnání s kruhovým průřezem, ale nebyl dostačující. Finální madlo má čtvercový průřez, kde jsou zkoseny hrany blíže k tiskové podložce a zaobleny hrany od podložky vzdálenější. Velikost zkosení je $5 \times 45^\circ$. Zaoblení má poloměr 8 mm. Pro plynulejší přechod jsou hrany zkosení zaobleny poloměrem 2 mm. Madlo obsahuje drážku, kterou je nasunuto na plech. Vůle mezi stěnou drážky a přepážky je 0,1 mm. Spojení je blíže popsáno v kapitole 5 Konstrukční řešení.



Obr. 5-5 Madlo; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.

5.5 Distanční tyčinky

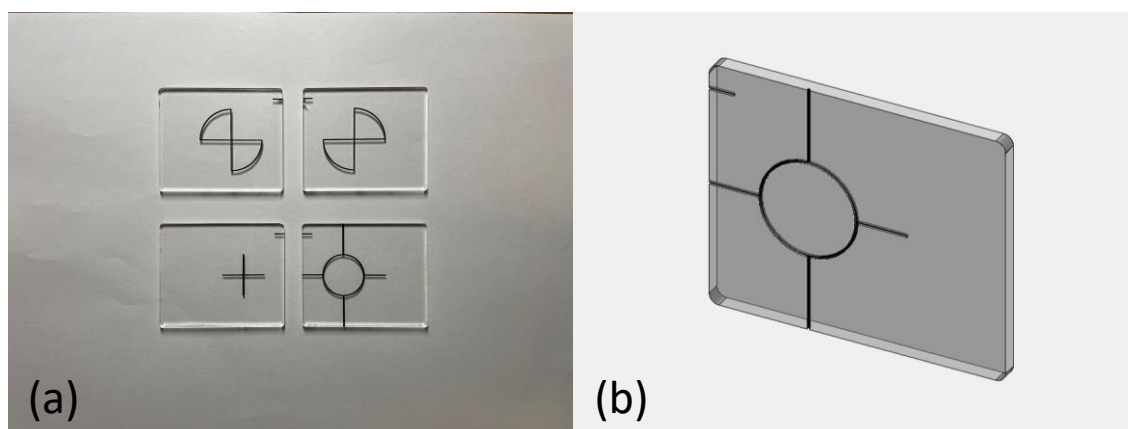
Jedná se o poslední díly vyrobené pomocí 3D tisku. Tyčinky jsou v rozmezí 2-12 mm odstupňovány po dvou mm. Zasunují se do nosiče a slouží ke zvýšení vzdálenosti mezi skly. Při nové metodě nácviku na Rémyho separátoru dle Stehlíkové nejsou distanční tyčinky využívány. Slouží tedy spíše jako doplněk pro běžné cvičení u akomodativních strabismů, který usnadňuje nastavení vzdálenosti, ale lze cvičit i bez nich. Tyčinky jsou tlusté 2,8 mm. V horní části obsahují plochu zakončenou půlkružnicí, na které je zahloubení s číslem šířky tyčinky. Zahloubení je pro lepší viditelnost vybarveno akrylovou barvou Revell 36105 white matt. V dolní části je zúžení široké 2 mm.



Obr. 5-6 Distanční tyčinky; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.

5.6 Sklíčka s obrázky

Sklíčka jsou vyrobena na laserové řezačce BRM-B90130X-150W s pomocí softwaru LightBurn. Polotovarem je 3 mm široké plexisklo, na které se nejprve vygravírovaly požadované obrázky s tloušťkou čáry 0,5 mm. Následně byl vyřezán obrys 60x50 mm. Výsledné rozměry jsou o něco menší a dosahují hodnot 59,6x49,4 mm. Vygravírované plochy jsou pro lepší viditelnost vybarveny akrylovou barvou Revell 36108 black matt.

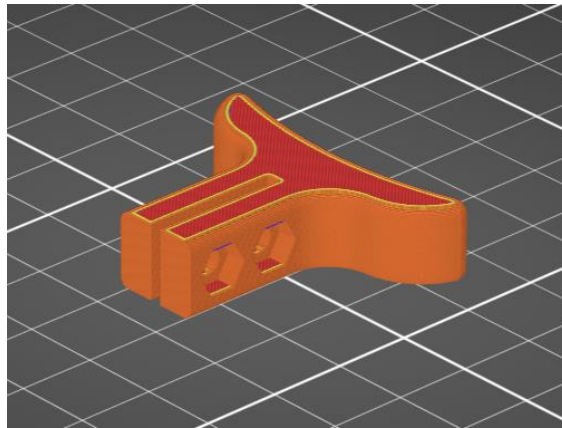


Obr. 5-7 Sklíčka s obrázky; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.

5.7 Nastavení a orientace 3D tištěných dílů

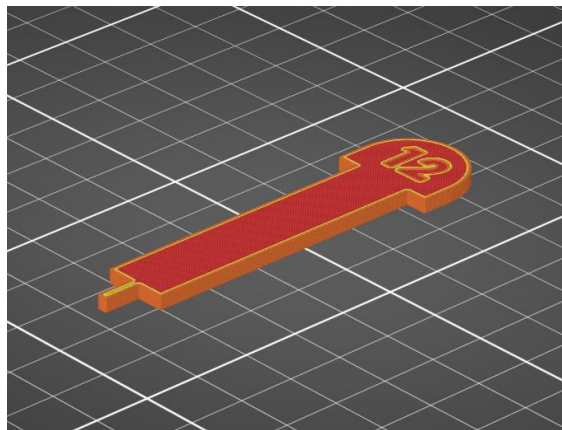
3D tištěné díly jsou tisknuty na tiskárně Prusa MK4S. Bylo využito nastavení tisku 0,15mm STRUCTURAL, kde se upravila výplň na 30 % a počet perimetrů na 3, čímž se zajistila vyšší pevnost jednotlivých dílů.

- Opěrka nosu byla umístěna na podložku buď horní nebo spodní stranou. Vzhledem k symetrii opěrky jsou obě varianty rovnocenné.



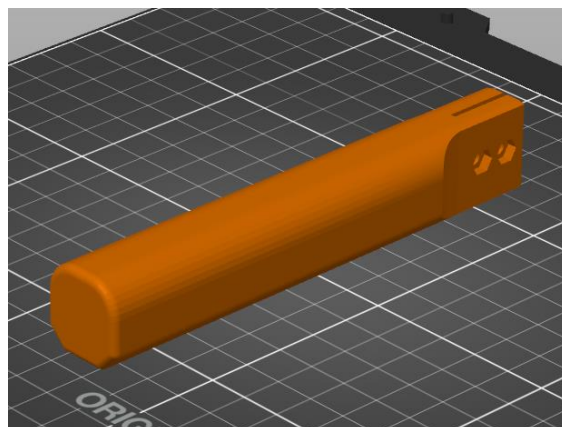
Obr. 5-8 Opěrka nosu ve sliceru.

- Distanční tyčinky se tiskly plochou s čísly nahoře.



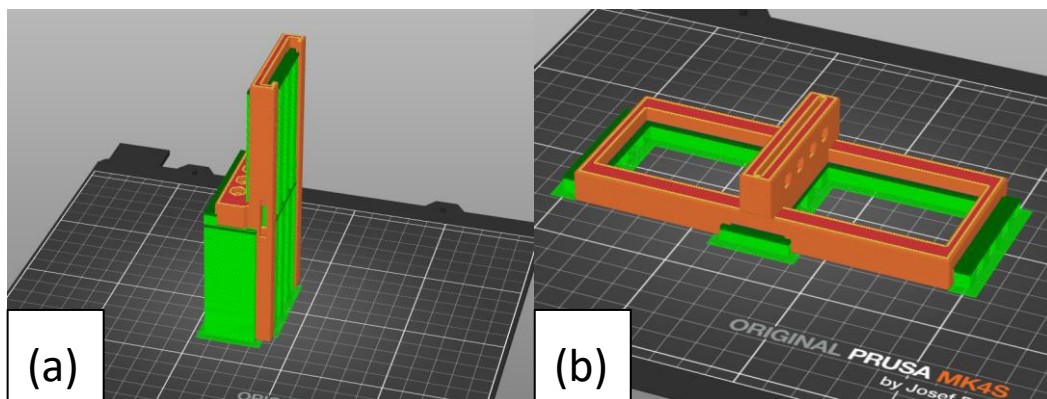
Obr. 5-9 Distanční tyčinka ve sliceru.

- Madlo bylo orientováno tak, aby v kontaktu s podložkou byla plocha sousedící se zkosenými hranami.



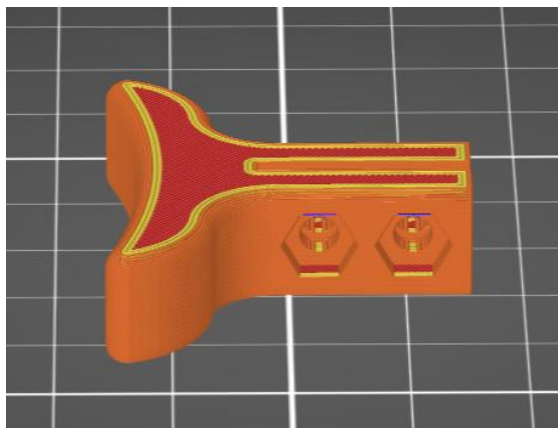
Obr. 5-10 Madlo ve sliceru.

- Nosič byl jediný díl, který při tisku vyžadoval podpěry. Proběhly dvě varianty umístění nosiče na podložku. První variantou byl tisk nosiče na výšku. Při druhé variantě byla na tiskovou podložku umístěna plocha se stupnicí. Pro obě varianty proběhl tisk s různým nastavením podpěry. Výslednou orientací byla druhá varianta s nastavením stylu podpěr na mřížku, mezerou nad podpěrami v ose Z 0,2 mm, roztečí podpěr 6 mm a počtem vrchních kontaktních vrstev 5. Díky rozteči podpěr 6 mm se ušetřil materiál a podpěry šly dobře odstranit. Mezera nad podpěrami 0,2 mm zajistila snazší oddělení kontaktních vrstev od zbytku dílu. Vyšší počet kontaktních vrstev zajistil pevnější plochu, kterou bylo možné jednotně odstranit.



Obr. 5-11 Nosič ve sliceru; (a) orientace na výšku; (b) orientace stupnicí k podložce.

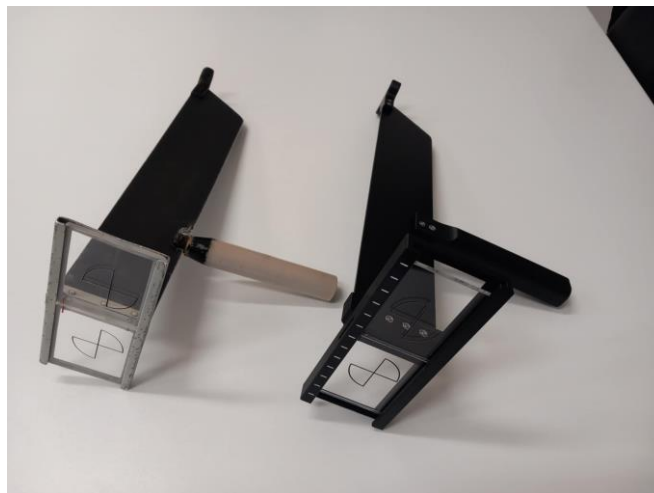
- Zhloubení pro matice byly na všech dílech umístěny tak, aby horní a spodní plocha byly rovnoběžné s tiskovou podložkou.



Obr. 5-12 Orientace zhloubení pro matice.

5.8 Testování prototypu

Prototyp byl propůjčen na testování do ortoptické cvičebny FN Brno v období od 24.3.2025 do 25.4.2025. Prototyp se ukázal jako plně funkční. Ze zpětné vazby vyplynuly dva problémy. Prvním z nich byla vyšší hmotnost zařízení, která mohla být pro dětské pacienty při delším cvičení problémová. Druhým problémem bylo vypadávání sklíček s obrázky při nahnutí zařízení.

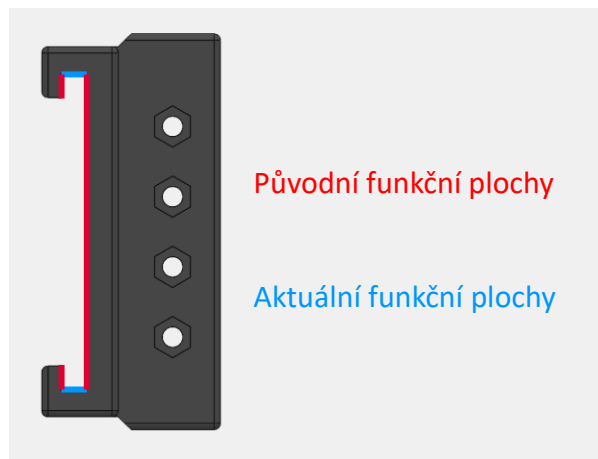


Obr. 5-13 Fotografie původního zařízení a prototypu.

5.9 Výroba finálního zařízení

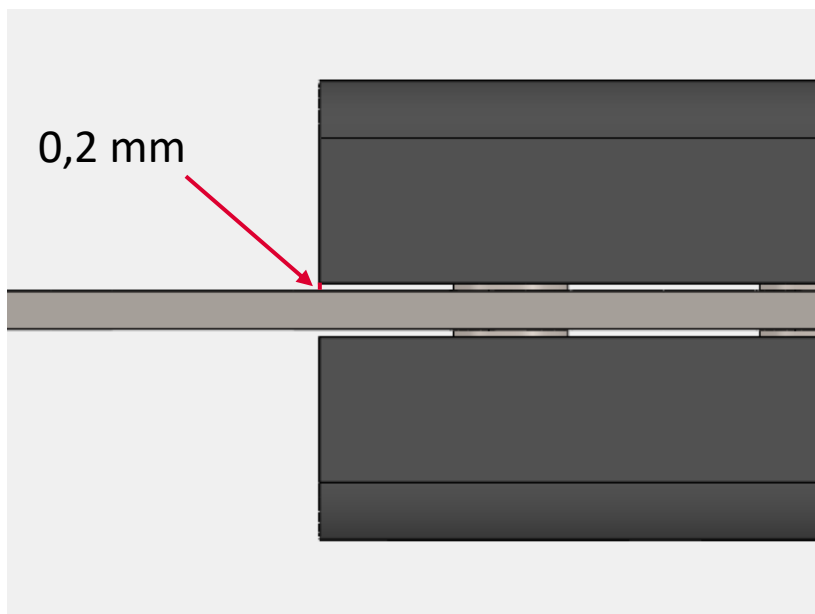
Při výrobě finálního zařízení proběhly úpravy vycházející ze zpětné vazby, nicméně konstrukčně je finální zařízení stejné jako prototyp. Všechny provedené změny jsou popsány v této podkapitole. Na základě zpětné vazby byla tloušťka přepážky snížena ze 2 mm na 1 mm. Zároveň byl materiál přepážky změněn z korozivzdorné oceli na ocel DC01.

Důvodem, proč sklíčka u prototypu vypadávala byl s největší pravděpodobností fakt, že funkční plocha nosiče, která měla zajistit sklíčka v požadované poloze neměla dostatečně kvalitní povrch. To bylo způsobeno podporami, na kterých byla tato plocha tisknuta. Proběhly úpravy nosiče, kde šířka drážky pro sklíčka byla změněna z 3,5 mm na 4 mm, aby mělo sklíčko větší vůli. Výška drážky pro sklíčka byla upravena z 50 mm na 49,5 mm. Vůle mezi plochami drážky a sklíček je nahoře i dole 0,05 mm. Plochy drážky mají dostatečně kvalitní povrch na to, aby sklíčka udržela v požadované pozici.



Obr. 5-14 Změna funkčních ploch.

Ukázalo se, že při nanesení barvy na přepážku jdou 3D tištěné díly z přepážky obtížně sundat a mohou tak poškrábat barvou nastříkaný povrch. Všechny vůle mezi přepážkou a tištěnými díly byly proto upraveny na hodnotu 0,2 mm.



Obr. 5-15 Vůle mezi plechem a 3D tištěnými díly.

Poslední změnou je materiál tisku, kde bylo PLA nahrazeno materiálem PETG. Ostatní nastavení tisku zůstalo stejné. Výsledná hmotnost zařízení klesla z původních 343 gramů na 229 gramů. Došlo tedy ke snížení hmotnosti o 33,2 %. Sklíčka už nemají tendenci z nosiče vypadávat a 3D tištěné díly lze bez větší námahy sundat z přepážky.

6 DISKUZE

V rámci této bakalářské práce byly navrženy tři koncepční návrhy konstrukce Rémyho separátoru. Návrhy byly inspirovány původním zařízením. Při jejich zpracování byl kladen důraz na to, aby je bylo možné vyrobit za pomoci moderních technologií jako je 3D tisk a laserové řezání.

Koncept konstrukce A by byl až na sklička vyroben pouze za použití 3D tisku. Tento koncept se z počátku jevil jako nejvhodnější volba. Nicméně v průběhu zpracovávání rešerše se ukázalo, že přepážka musí být co nejtenčí. V případě, že by byla příliš tlustá, mohla by při cvičení působit rušivě a tím negativně ovlivňovat jeho kvalitu. Od tohoto návrhu se tedy upustilo a jako nejvhodnější byl zvolen koncept B, kde je přepážka vyrobena z plechu. Díky tomu dosahuje přepážka při menších tloušťkách vyšší pevnosti, než přepážka vyrobena z plastu a nehrozí u ní riziko přelomení. Důležitým faktorem, ke kterému se přihlíželo byla i cena a doba výroby jednotlivých konceptů. Koncept A se opět ukázal jako nejlepší, ale bylo od něj upuštěno kvůli už dříve zmíněné tloušťce přepážky. Dalším důvodem bylo riziko ztráty funkčnosti při opakované montáži a demontáži, jelikož všechny díly byly nasunuty na přepážku pomocí drážek. Varianta B, která využívá šrouby tak byla bezpečnější volbou z hlediska životnosti produktu.

Proběhla konstrukce a následná výroba prototypu podle konceptu B. 3D tištěné díly byly vytištěny na 3D tiskárně Prusa MK4S z materiálu PLA, který je obecně známý jako vhodná volba na prototypování. Po sestavení se objevilo několik drobných problémů. Ty ovšem zásadně neovlivňovaly funkci zařízení, a proto se přešlo na fázi testování.

Prototyp byl propůjčen do ortoptické cvičebny FN Brno v období od 24.3.2025 do 25.4.2025. Ze zpětné vazby vyplynuly dva problémy. Prvním byla vysoká hmotnost zařízení a druhým vypadávání sklíček při cvičení. Vysoká hmotnost zařízení byla způsobena použitím 2 mm tlustého plechu z nerezové oceli pro výrobu přepážky. Sklička vypadávala z důvodu špatného zvolení funkční plochy, která je měla držet v požadované poloze. Zvolená funkční plocha měla nekvalitní povrch vlivem podpor, které byly nezbytné pro vytištění nosiče sklíček. Dalším problémem, o kterém se vědělo už před testováním byly malé vůle mezi plastovými díly a přepážkou. Plastové díly tak bylo velmi obtížné z přepážky sundat a při opakované montáži a demontáži se stávalo, že byla narušena vrstva barvy na přepážce.

Před výrobou finálního zařízení proběhly změny na základě problémů zmíněných v předchozím odstavci. Pro výrobu plastových dílů bylo opět využito 3D tiskárny Prusa MK4S, nicméně materiál PLA byl nahrazen materiálem PETG, který je více odolný proti UV záření a méně degraduje. Přepážka se vyrobila z plechu o tloušťce 1 mm a proběhla změna materiálu z korozivzdorné oceli na ocel DC01, čímž bylo dosaženo snížení hmotnosti přepážky o více jak 50 %. Všechny vůle mezi plastovými díly a přepážkou byly sjednoceny a zvýšeny na hodnotu 0,2 mm. Vlivem této změny lze plastové díly z přepážky snadno sundat i je na ni nasunout. Narušení barvy se výrazně snížilo, nicméně v okolí hran se stále objevují místa, kde se vrstva barvy při montáži a demontáži poškozuje. To může být vyřešeno dodatečným navýšením vůle mezi plastovými díly a přepážkou. Aby se zabránilo vypadávání sklíček, tak byla změněna funkční plocha, která je měla držet v požadované poloze. Při tisku této plochy nebylo využito podpor, což zajišťuje vyšší kvalitu povrchu. Zároveň byly provedeny mírné úpravy rozměrů drážky, které odpovídaly změně funkční plochy. Tím se odhalil nový problém, kterým je rozdílná výška sklíček, kde pravé sklíčko je o 0,3 mm vyšší. To je způsobeno odskokem, který vznikl buď při nájezdu nebo výjezdu laserového paprsku. Problém je vyřešen zbrúšením odskoku. Při opakované výrobě sklíček jej lze vyřešit změnou orientace sklíčka při řezání o 90°. Po zbrúšení odskoku lze obě sklíčka nasunout do nosiče a libovolně s nimi pohybovat, aniž by měla tendenci vypadávat.

Z praxe víme, že u původního zařízení sklíčka drží v nastavené poloze, lze s nimi jednoduše manipulovat a nemají tendenci vypadávat ani po letech používání. Otázkou tedy zůstává, zda drážka pro sklíčka vyrobená z plastu bude i po letech používání funkční nebo zda se vychodí a sklíčka z ní budou vypadávat. Další vývoj by se tedy mohl zabývat jinými způsoby, jak zajistit volný pohyb sklíček v nosiči, u kterého by nehrozilo opotřebení.

Velkou neznámou zůstává certifikace, která je pravděpodobně jedním z hlavních důvodů, proč zařízení není na trhu. Otázka její potřebnosti je sporná, jelikož zařízení není invazivní a nezasahuje přímo do těla pacienta. Dalším důvodem, proč by certifikace nemusela být nutná, je fakt, že cvičení s danou pomůckou probíhá v prostoru, kde pomůcka slouží výhradně jako držák sklíček s obrázky, přes která se pacient dívá. Zařízení lze tedy přirovnat k dioptrickým brýlím, které běžně v drogeriích stojí nižší řády stovek korun a které nemají žádnou certifikaci. Nedává tedy smysl, proč by pomůcka podobného charakteru, která navíc neobsahuje dioptrie, musela certifikaci mít. [15]

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce byl návrh a následná konstrukce Rémyho separátoru, což je ortoptická pomůcka určená k léčbě strabismu, za účelem zvýšení jeho dostupnosti. Do dílčích cílů byla zahrnuta rešerše, průzkum trhu, návrh konceptů, konstrukce a výroba vybraného konceptu, testování a následné úpravy zařízení na základě zpětné vazby.

Při zpracovávání rešerše bylo dosaženo důležitého poznatku, že zařízení nelze v Evropě sehnat. Na základě této informace byly lehce pozměněny cíle práce. Upustilo se od zvýšení dostupnosti, jelikož nelze zvyšovat něco, co neexistuje a zmizel i cíl vyrobit zařízení levněji než ostatní, jelikož jej nikdo nevyrábí. Novým cílem bylo objasnit, proč tomu tak je. Došlo se ke dvěma zásadním důvodům, kde prvním je omezený počet zákazníků, což jsou převážně ortoptické ordinace. V České republice je 67 ortoptických ordinací, které spadají pod Českou společnost ortoptistek. Jedná se o většinu ortoptických ordinací u nás. Počty ostatních ortoptických ordinací nejsou dohledatelné. Druhým důvodem je certifikace, která může být nákladná a její zřízení může stát nižší jednotky stovek tisíc korun.

Navzdory informacím zmíněným v předchozím odstavci vznikly tři koncepty vycházející z původního zařízení. Jako nejvhodnější byl vybrán koncept B, kde hlavní částí je přepážka vyrobená z plechu, ke které jsou pomocí zápusných šroubů připevněny 3D tištěné díly. Tento koncept byl následně vyroben za použití 3D tisku a laserového řezání. 3D tištěné díly byly vytisknuty z materiálu PLA na 3D tiskárně Prusa MK4S. Prototyp byl propůjčen do ortoptické cvičebny ve FN Brno v období od 24.3.2025 do 25.4.2025, kde se ukázal jako plně funkční. Drobné nedostatky byly upraveny.

Na základě zpětné vazby bylo vyrobeno finální zařízení, kde byl materiál tištěných dílů změněn z PLA na PETG. Byly upraveny vůle mezi sklíčky a nosičem, aby sklíčka neměla tendenci vypadávat. Proběhla změna tloušťky přepážky ze 2 mm na 1 mm a změna materiálu z korozivzdorné oceli na ocel DC01, čímž bylo dosaženo snížení hmotnosti celého zařízení o 33,2 %.

V blízké době lze očekávat zvýšení zájmu o Rémyho separátor, jelikož souběžně s touto prací vzniká kniha, která popisuje novou metodu cvičení. Autorkou této knihy i metody je vedoucí ortoptické cvičebny FN Brno Jarmila Stehlíková.

Hlavní cíl i dílčí cíle byly splněny v plném rozsahu. V budoucnu se pozornost zaměří na to, zda certifikace je, či není nutná a jestli bude možné dané zařízení dostat na trh.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NÁRODNÍ ZDRAVOTNICKÝ INFORMAČNÍ PORTÁL [NZIP]. *Binokulární vidění*. Online. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/5191>. [cit. 2025-04-18].
- [2] ALEŠ ŽEJDL OČNÍ STUDIO. *Poruchy binokulárního vidění*. Online. Dostupné z: <https://www.aleszejdl.cz/binokularni-videni-proc-je-dulezite-a-co-delat-pri-poruchach/>. [cit. 2025-04-18].
- [3] HROMÁDKOVÁ, Lada. *Šilhání*. Vyd. 3., nezměněné. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011. ISBN 978-80-7013-530-3.
- [4] NÁRODNÍ ZDRAVOTNICKÝ INFORMAČNÍ PORTÁL [NZIP]. *Šilhání u dětí*. Online. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/386-silhani-u-deti>. [cit. 2025-04-23].
- [5] STEHLÍKOVÁ, Jarmila. Vedoucí ortoptické cvičebny FN Brno. [ústní sdělení]. Brno, 21.11.2024.
- [6] ČESKÁ SPOLEČNOST ORTOPTISTEK. *Ortoptiky v ČR*. Online. Dostupné z: <https://www.ortoptika.cz/>. [cit. 2025-04-25].
- [7] MISTROVÁ, Adéla. *Počty pacientů*. [elektronická pošta]. Message to: minxdavid@seznam.cz. 15.5.2025 16:45. [cit. 2025-05-19].
- [8] DIVIŠOVÁ, Gabriela. *Strabismus*. 2. uprav. vyd. Praha: Avicenum, 1990. ISBN 80-201-0037-7. Dostupné také z: <http://krameriusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:d6db0bd0-2a85-11ed-af34-5ef3fc9bb22f>.
- [9] HLUCHÝ, Miroslav; KOLOUCH, Jan a PAŇÁK, Rudolf. *Strojírenská technologie* 2. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3244-8.
- [10] KŘÍŽ, Rudolf et al. *Stavba a provoz strojů I: Části strojů*. Řada strojírenské literatury. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977.

- [11] SHARPLAYERS. *3D tisk*. Online. 2023. Dostupné z: <https://eshop.sharplayers.cz/a/technologie-3d-tisku>. [cit. 2025-04-26].
- [12] KRÁTKÝ, Jakub. *Remy separator*. [elektronická pošta]. Message to: minxdavid@seznam.cz. 18.3.2025 9:24. [cit. 2025-05-20].
- [13] PRUSA RESEARCH. *Prusa MK4S*. Online. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/kategorie/original-prusa-mk4s/>. [cit. 2025-05-16].
- [14] HORNBACH. *Barva ve spreji*. Online. Dostupné z: https://www.hornbach.cz/p/barva-ve-spreji-one-400ml-cerna-mat-ral9005/6005600/?gad_source=1&gad_campaignid=21050677359&gbraid=0AAAAADpnzc1uNWOa1jBLgYdkc6IDxIX_y&gclid=Cj0KCQjwrPHABhCIARIsAFW2XBOvQD2KmSWLGG-hDHg2I_OxZ5j65Q7sBYoajuJp4qEz9nmXHKjT_eAaAhonEALw_wcB. [cit. 2025-05-08].
- [15] CHLEBOVSKÝ, Vít. Proděkan pro vnější vztahy VUT FP. [ústní sdělení]. Brno, 31.3.2025.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

atd.	a tak dále
CAD	computer aided desing
ČR	Česká republika
ČSO	Česká ortoptická společnost
DIN	Deutsche Institut Norm
FDM	fused deposition modeling
FN	fakultní nemocnice
ISO	International Organization for Standartization
Kč	koruna česká
PD	pupilární distance
PETG	polyethylentereftalát-glykol
PLA	polylaktid
SLA	stereolitografie
SLS	selective laser sintering
UV	ultrafialové
3D	trojdimenzionální
cm	centimetr
mm	milimetr

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Rémyho separátor.	15
Obr. 2-2 Sklíčka kříž a kolečko.....	16
Obr. 2-3 Sklíčka mašle.....	16
Obr. 4-1 Rémyho separátor s popisem jednotlivých dílů.	22
Obr. 4-2 Přepážka konceptu A.	23
Obr. 4-3 Rémyho separátor (původní zařízení).	24
Obr. 5-1 Rémyho separátor s popisem jednotlivých dílů.	28
Obr. 5-2 Přepážka; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.	29
Obr. 5-3 Nosič; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.	30
Obr. 5-4 Opěrka nosu; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.	31
Obr. 5-5 Madlo; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.	32
Obr. 5-6 Distanční tyčinky; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.	33
Obr. 5-7 Sklíčka s obrázky; (a) fotografie reálného dílu; (b) SolidWorks model.	33
Obr. 5-8 Opěrka nosu ve sliceru.....	34
Obr. 5-9 Distanční tyčinka ve sliceru.....	34
Obr. 5-10 Madlo ve sliceru.....	34
Obr. 5-11 Nosič ve sliceru; (a) orientace na výšku; (b) orientace stupnicí k podložce.....	35
Obr. 5-12 Orientace zahloubení pro matice.	35
Obr. 5-13 Fotografie původního zařízení a prototypu.	36
Obr. 5-14 Změna funkčních ploch.....	37
Obr. 5-15 Vůle mezi plechem a 3D tištěnými díly.....	37

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 4-1 Srovnání nákladů na výrobu jednotlivých konceptů.	26
---	----

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Model Rémyho separátoru
Příloha 2	Výkresová dokumentace