



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

NÁVRH PRODUKTU PRO ADITIVNÍ VÝROBU

DESIGN OF THE PRODUCT FOR ADDITIVE MANUFACTURING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Diana Ritterová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Škaroupka, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Studentka:	Diana Ritterová
Studijní program:	Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor:	Průmyslový design ve strojírenství
Vedoucí práce:	Ing. David Škaroupka, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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:

Návrh produktu pro aditivní výrobu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Podstatou práce je schopnost provést návrh tak, aby byl atraktivní a zároveň s výhodou vyrobitelný zvolenou technologií aditivní výroby (3D tisku). Produkt je volitelný po dohodě s vedoucím práce. Není omezen tematicky, pouze nutností nadefinovat řešený problém. Může jít o specifické detaily průmyslových zařízení: ventilační mřížky, kryty zařízení, nebo sportovní vybavení: skateboardové prkno, chránič, nebo zdravotnické vybavení: dlaha, ortéza, nebo kancelářské a módní doplňky. Předpokládá se realizace funkčního prototypu s přiznaným povrchem zvolené aditivní výroby.

Typ práce: vývojová – designéřská

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je provést návrh systematizovaným metodickým postupem a realizovat funkční prototyp.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- identifikovat uživatelské nároky produktu a výrobní možnosti,
- navrhnout produkt pomocí zvolených metod zohledňujících pravidla aditivní výroby,
- vyrobit funkční prototyp aditivními technologiemi,
- ověřit funkčnost vyrobeného prototypu.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster.

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

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

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

Seznam doporučené literatury:

GIBSON, I., ROSEN D. W., STUCKER B. Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. New York: Springer, c2010. ISBN 1441911200.

DRUMM, B. Make: 3D printing projects. San Francisco: Maker Media, 2015. ISBN 9781457187247.

FRANCE, A. K. Make: 3D printing. Sebastopol, CA: Maker Media, 2013. ISBN 978-145-7182-938.

LIDWELL, W. a G. MANACSA. Deconstructing product design: exploring the form, function, usability, sustainability, and commercial success of 100 amazing products. Beverly, Mass.: Rockport Publishers, c2009. ISBN 15-925-3345-0.

LIDWELL, W., K. HOLDEN a J. BUTLER. Univerzální principy designu: 125 způsobů jak zvýšit použitelnost a přitažlivost a ovlivnit vnímání designu. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-2-1-3540-2.

GENGNAGEL, C., et al. Computational design modelling proceedings of the Design Modelling Symposium Berlin 2011. Berlin: Springer, 2011. ISBN 978-364-2234-354.

TEDESCHI, A. AAD_Algorithms-aided design: parametric strategies using grasshopper. Brienza, Italy: Le Penseur Publisher, 2014. ISBN 978-88-95315-30-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se věnuje návrhu prototypu ortopedické vložky s důrazem na její prodyšnost a podporu podélné klenby. Vložka bude vyrobitelná technologií 3D tisku FFF z flexibilního plastového filamentu TPU. Tvar vložky vychází z obrysu chodidla. Vnitřní struktura byla navržena v plug-in softwaru Grasshopper a následně zpracována s objemem vložky v Rhinoceros.

KLÍČOVÁ SLOVA

plochoňozí, prodyšnost, ortopedická vložka, 3D tisk, design

ABSTRACT

The thesis deals with the design of an orthopedic insole with emphasis on breathability and support of a longitudinal arch. The insole can be manufactured by using 3D printing technology FFF from a flexible plastic TPU filament. The shape of the insole is based on the contour of a foot. The inner structure was designed in the Grasshopper plug-in and then added to the shape of the insole in Rhinoceros.

KEYWORDS

flat feet (pes planus), breathability, orthopaedic insole, 3D printing technology, design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RITTEROVÁ, Diana. *Návrh produktu pro aditivní výrobu*. Brno, 2020, 62 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Ing. David Škaroupka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracovala samostatně, pod odborným vedením Ing. Davida Škaroupky, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpala, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	Designérská analýza	14
2.1.1	STÉLKA	14
2.1.2	ČÁSTEČNÁ PERFORACE	18
2.1.3	CELOOBJEMOVÁ PERFORACE	19
2.1.4	Zhodnocení designerské analýzy	22
2.1.6	Ergonomické aspekty	23
2.2	Technická analýza	29
2.2.1	FDM/FFF	30
2.2.2	SLS	31
2.2.3	MJF	32
2.2.4	MATERIÁLY	33
2.2.5	Zhodnocení technické analýzy	34
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	35
3.1	Analýza problému	35
3.2	Cíle práce	36
3.3	Cílová skupina	36
3.4	Použité výrobní technologie, možný trh a cena	36
4	VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU	37
4.1	Varianta I	38
4.2	Varianta II	39
4.3	Varianta III	40
5	TVAROVÉ ŘEŠENÍ	41
5.1	Kompoziční řešení	42
6	KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ	47
6.1	Konstrukční a technologické řešení	47
6.1.1	Materiály	47
6.1.2	Příprava 3D tisku	47
6.2	Ergonomické řešení	48

7	BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ	49
7.1	Barevné řešení	49
7.2	Grafické řešení	50
8	DISKUZE	52
8.1	Psychologická a sociální funkce	53
8.2	Ekonomická funkce	53
8.3	Význam práce s parametrizací dílčích komponentů	53
9	ZÁVĚR	54
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	58
12	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	59
13	SEZNAM PŘÍLOH	61

1 ÚVOD

Proces aditivní výroby se stává stále běžnějším a nachází využití v mnoha oblastech. Výhodou je možný individuální přístup k výrobě, který umožňuje řešení konkrétních problémů jedinců. Podstatou práce je využitím aditivní výroby navrhnout ortopedické vložky, které jsou prodyšné a napomohou při redukci plochonoží. Uvádí se, že až 80 % populace disponuje vadným postavením chodidla, zejména poklesem podélné klenby nožní. V práci dochází k prolínání lékařství, zejména medicínského odvětví ortopedie, s konstrukčními technologiemi.

Trh s ortopedickými vložkami disponuje širokou nabídkou produktů, kdy se postupně objevují i vložky vyrobené 3D tiskem, ale tento způsob je stále spíše na experimentální úrovni.

Práce navrhuje řešení pro podporu podélné klenby a zároveň udržet správnou ventilaci vzduchu kolem chodidla. Ortopedická vložka uživateli poskytuje možnost udržet chodidlo ve správném postavení vůči tělu a tím se vyvarovat mnoha dalších poruch, které s sebou přináší plochonoží. Práce využívá technologii 3D tisku, umožňuje tím individuální přístup ke každé vložce zvlášť. A tak dá za vznik vložce, která bude zákazníkovi ideálně pasovat.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Designérská analýza

U vložek se zaměříme na způsob ventilace, podle toho můžeme vložky rozdělit do kategorií, jakým prostředkem tento problém řeší. Cirkulace vzduchu kolem chodidla je důležitá z hlediska hromadění potu a následných zdravotních komplikací způsobených přemnoženými bakteriemi. První skupina vložek řeší prodyšnost pomocí speciálních stélek, které jsou vyráběny z materiálů s antibakteriálními účinky. Další dvě skupiny umožňují cirkulaci díky perforaci. Buď částečné v zatěžovaných oblastech, nebo perforací v celém objemu vložky.

2.1.1 STÉLKA

SVORTO 052

Základ ortopedických vložek Svorto 052 je tvořen pružným korkfantom, který podepírá příčnou a podélnou klenbu. Korkfant je levnější imitací přírodního korku. Používá se v ortopedii k výrobě stélek. [1] Příčná klenba je podepírána vyvýšenou plochou, která je anatomicky tvarována pro levou a pravou nohu. Polštářek pod prsty a v patní části napomáhá k pohodlné chůzi. Povrch vložky je kryt jehněčí usní, která zajišťuje komfort a hygienické vlastnosti. [2]

Vložka je vhodná na použití při nadměrné zátěži nohou a může napomáhat při léčbě plochonoží 1. a 2. stupně. Používání vložek může snižovat únavu a bolest chodidla. Po celodenním nošení je vhodné vložky vybrat z obuvi, vyvětrat a očistit vlhkým hadříkem. [2]



obr. 2-1 Svorto 052 [3]

X-TREME ORTOPEDICKÉ VLOŽKY

Vložky X-treme jsou složeny ze šesti vrstev a jsou vhodné do sportovní a outdoorové obuvi. Je dobře tvarovaná pro pohodlné nošení a rozložení váhy. Povrch vložky je tvořen z prodyšného mikrovláknem příjemného na dotek, který sají vlhkost a tím prodlužuje životnost vložky. Pod mikrovláknem se nachází latexová pěna s paměťovým efektem pro tlumení došlapu. Patní prostor je vyplněn EVA materiálem pro pohlcení nárazů při došlapu. [4] Ethylenvinylacetát (EVA) je kopolymer ethylenu a vinylacetátu, jedná se o měkkou a pružnou pěnu, která se používá jako výplň pro sportovní vybavení [5].

Vyztužený prostor příčné i podélné klenby zajišťuje plnou podporu a napomáhá proti vzniku plochonoží. Vložka není olemovaná po okrajích, proto je možné ji zastříhnout a upravit tak velikost. [4]



obr. 2-2 X-treme ortopedické vložky [4]

VLOŽKY SKELET ANTIBACTERIAL

Základ vložky je tvořen termoplastickým materiálem na bázi polyamidu. Je pevný a tenký, takže kvalitně podepírá podélnou klenbu. [9] Minimálně zmenšuje vnitřní prostor obuvi. Měkké latexové srdíčko v prostřední části napomáhá k podpoře příčné klenby. Nárazy na patní kost jsou tlumeny měkkou částí v patní oblasti.

Na povrchu se nachází antistatická stélka z antibakteriálního materiálu s částicemi aktivního uhlí, který se vyznačuje dobrou savostí a zabraňuje šíření bakterií. Absorpce tekutin (především potu) je zajištěna mikroporézní vrstvou s nanočásticemi. [10]



obr. 2-3 Vložky skelet antibacterial [10]

8sole

Pevná část ortopedické vložky 8sole je vyráběna 3D tiskem technologií MJF ve spolupráci s firmou HP (Hewlett-Packard). Vložky jsou skenováním nohy přizpůsobeny jednotlivým zákazníkům. Zaručují komfortní užití a ulehčují chodidlům od bolesti. Jsou vhodné pro všestranné využití. Vyznačují se elegantním a prostorově nenáročným řešením. Při testování podstoupily mnohé cykly mechanického namáhání, při kterých uspěly bez poškození. Výroba nezatěžuje životní prostředí. Výrobce vložek se snaží reagovat na komplexní biomechaniku lidské chůze.

Povrch vložek je překryt vrstvou mikrovlákna, která absorbuje pot a učiní vložku nezapáchající. Snaží se pohlcovat nárazy provázející pohyb a tím podporovat postavení těla. Zákazníkovi je umožněno si zvolit materiál, barvu i vzor dle vlastních preferencí.

Roku 2019 dostaly vložky 8sole ocenění Red Dot Design Awards za produktový a komunikační design. [14]



obr. 2-4 8sole [14]

2.1.2 ČÁSTEČNÁ PERFORACE

SUPERFEET

Vložka Superfeet je vyztužena skořepinou vyrobenou z plastu s příměsí karbonových vláken pro lehkou, ale pevnou oporu. Svrchní vrstva je z lehké a odolné pěny, která pohlcuje nárazy. Tvar vložky zajišťuje stabilitu chodidla, což je důležité pro redukování námahy vyvíjené přes chodidlo na celé tělo.

V přední a prostřední části vložky jsou perforace, které umožňují cirkulaci vzduchu kolem chodidla. Tato perforace odlehčuje zatížení. Vložka se vyznačuje lehkostí použitých materiálů a není náročná na prostor. Je vhodná pro použití při velkém zatížení chodidel. [8]



obr. 2-5 Superfeet [8]

2.1.3 CELOOBJEMOVÁ PERFORACE

KNIXMAX

Vložka Klixmax je vyrobena z EVA materiálu, který se vyznačuje elasticitou a tím absorbuje nárazy. Tvarování vložky napomáhá správnému a stabilnímu držení chodidla, což jsou aspekty vyvarování se přílišnému namáhání chodidla. Prodyšnost vložky je zajištěna svrchní stélkou a otvory ve spodní části.

Firma nabízí dvojí možné krytí horní části vložky. První je mřížkovaná tkanina, která udržuje chodidlo od vlhkosti produkované nohou. Druhou možností je prasečí kůže, která dobře absorbuje pot a tak snižuje množství bakterií. Kombinací svrchní stélky a otvorů je vlhkost odváděna, aby zůstalo chodidlo suché a v příznivé teplotě. Vložka se vyznačuje lehkostí a komfortním dlouhodobým používáním. [6]



obr. 2-6 Knixmax [6]

XXIN

Vložka je vyrobena z elastické gumy s otvory ve tvaru včelích pláství. Tento design je uzpůsoben pro pohlcování nárazů při chůzi a tím ulehčení chodidlu od námahy. Je konstruovaná pro velké zatížení tak, aby byly uchráněny namáhané části těla od poškození. Vyvýšený prostor v oblasti podélné klenby ji podpoří a tvar vložky stabilizuje chodidlo ve správné poloze.

Svrchní stélkou je chodidlo udržováno od vlhkosti a šestiúhelníkové otvory umožňují cirkulaci vzduchu. Vložka je vhodná jak ke každodennímu dlouhodobému používání, tak k náročnějšímu užití při sportech. [7]



obr. 2-7 XXIN [7]

GENSOLES

Vložky Gensole přichází z Velké Británie od firmy Gyrobot. U těchto vložek se využívá FDM proces (nanášení tenkých vrstev materiálu) za použití termoplastického polyuretanu (TPU), který je elastický, měkký a velmi pružný, a termoplastického elastomeru (TPE), který má dobré gumové vlastnosti [11].

Základem pro přesný tvar vložky je naskenování chodidla zákazníka. Tlumení nárazů při chůzi je zajištěno různou hustotou materiálu v namáhaných místech. Povrch vložky je perforovaný pro dobré proudění vzduchu. Tvar vložky je navržen tak, aby pohodlně pasoval do jakékoliv obuvi. [12]



obr. 2-8 Gensole [12]

ORTHOBALTIC

Firma Orthobaltic používá na výrobu vložek techniku Selective Laser Sintering (SLS). Jedná se o techniku 3D tisku, při které se zapéká práškový materiál laserovým paprskem [11].

Vložky jsou navrhovány individuálně podle skenu chodidla, jsou ohebné do všech směrů a ideálně podporují klenbu a pohlcují nárazy. Snižují únavu nohou při dlouhé a namáhavé práci. Vzdušná struktura materiálu umožňuje volnou cirkulaci vzduchu, což snižuje pocení nohou. Použitý materiál je citlivý k pokožce. Vložky jsou velmi odolné, podstoupily mnoho cyklů testování bez výrazného poškození. [13]



obr. 2-9 Orthobaltic [13]

2.1.4 Zhodnocení designerské analýzy

Z rešerše stávajícího trhu vyplívá, že prodyšnost vložky je možno řešit svrchní speciální stélkou či perforací. Stélky mají převážně antibakteriální vlastnosti a tím chrání chodidlo před množением bakterií. Avšak neumožní cirkulaci vzduchu kolem chodidla. U částečné perforace dochází k mírné cirkulaci vzduchu kolem chodidla. Jako nejvhodnější z hlediska prodyšnosti se jeví celoobjemová perforace, vzduchu není bráněno v průchodu skrz vložku. Otvory slouží k odvodu potu od chodidla.

2.1.6 Ergonomické aspekty

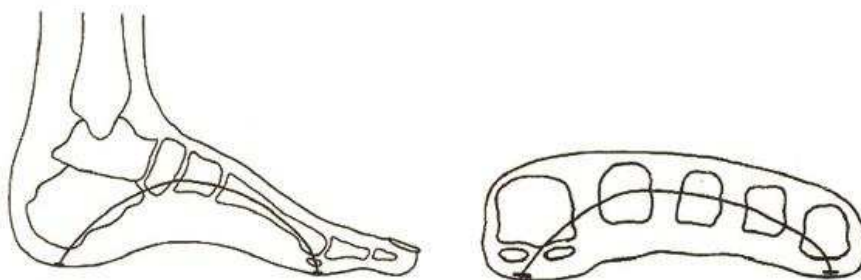
ORTOPEDIE

Ortopedie je chirurgický medicínský obor, který se zabývá prevencí, diagnostikou a léčbou získaných i vrozených poruch a onemocnění pohybové soustavy. Pohybovou soustavou rozumíme především svaly, šlachy, kosti a klouby. Ortopedii můžeme rozdělit do dalších pododborů s vlastními postupy diagnostiky a terapie. Jedná se o interdisciplinární obor, mnohá onemocnění nevycházejí přímo z pohybového aparátu, ale stojí za nimi jiná onemocnění. Proto mohou do ortopedie zasahovat obory jako neurologie či fyzioterapie. Ale může být ovlivněna nemedicínskými obory především reverzním inženýrstvím. Funkčnost pohybového aparátu je pro člověka základní životní potřebou. Člověk s jakoukoliv poruchou pohybu směřuje k nižší soběstačnosti a tím se zvýší i jeho závislost na společnosti. Proto je v ortopedii důležitá prevence a případná rehabilitační cvičení. [15, 16]

ORTOPEDIE NOHY

Noha je část dolní končetiny nacházející se pod hlezenním kloubem, který je složen z kosti lýtkové, holenní a hlezenní. Zajišťuje pro člověka různé funkce. Můžeme je rozdělit na statickou funkci, kdy tvoří oporu vzpřímeného těla. A funkci dynamickou, která je důležitá pro chůzi nebo tlumení nárazů během pohybu. Tyto nárazy se přenášejí na další části těla, kde jsou poté tlumeny páteří. [18, 19, 20, 21]

Seskupení kostí v noze je pro člověka velmi specifické. Vytváří klenbu, která je konstruována vazy a svaly. Dohromady fungují jako pevný a pružný systém, který zajišťuje fyziologickou funkci nohy. Toto uspořádání kostí, svalů a vazů se nazývá nožní klenba, přičemž rozlišujeme klenbu příčnou a podélnou. Příčná klenba se nachází mezi první až pátou nártní kostí. Podélná klenba je umístěna na vnitřním zevním okraji nohy. [18, 19, 20, 21]



obr. 2-10 Postavení podélné a příčné klenby [17]

Z průzkumů vychází, že až u 80 % obyvatelstva se objevuje chybné postavení nohy. V České republice se uvádí, že 98 % dětí se narodí se zdravýma nohama, ale již v předškolním věku 33 % dětí je postiženo nějakou nožní vadou [20]. Z čehož můžeme vyvodit, že plochá noha vzniká v raném dětství zejména špatným vývojem postavení nohy. Plochnoží v pozdějším věku může vzniknout nadměrným přetěžováním nohou, používáním nevhodné obuvi nebo vrozenou ochablostí svalstva. Známe podélně plochou a příčně plochou nohu. [18, 19, 20, 21]

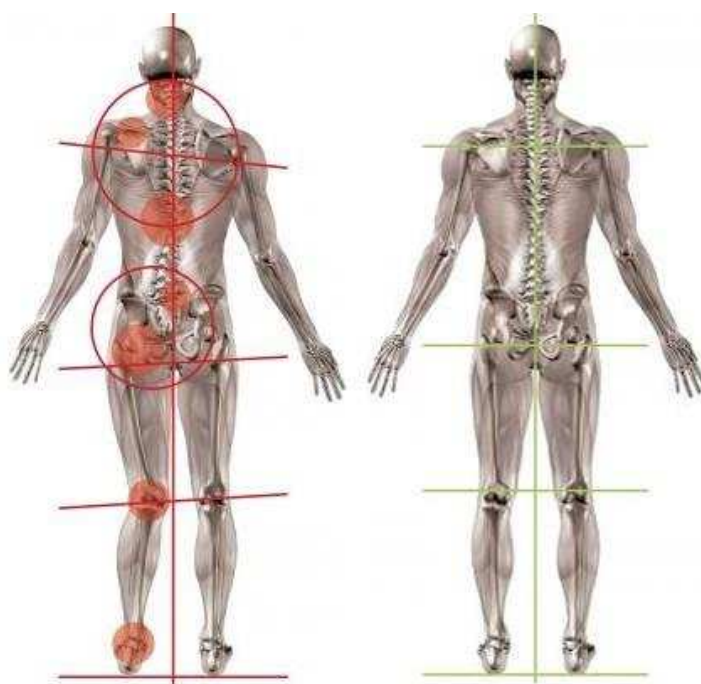
Podélně plochá noha se vyznačuje omezením funkce nožní klenby zejména nedostatečnou pevností vazů, protože dojde k oploštění podélné klenby na vnitřní straně chodidla. Dále může dojít k vbočenému postavení paty, zvýšení únavy nohou s nadměrnou potivostí, pálením, případně tupá bolest, zhoršený krevní oběh nebo otoky. Tato ortopedická vada nohy negativně ovlivňuje chůzi, adaptaci chodidla na nárazy a nerovnosti. Vede ke změnám zatížení kotníku, kloubů dolní končetiny a postavení páteře. [18, 19, 20, 21]

Příčně plochá noha vzniká přetěžováním příčné klenby, kdy dojde k jejímu poklesu a následnému zhoršení její pružnosti, případně se objeví bolesti v oblasti nártu. Příčné plochnoží je způsobeno zejména dlouhodobým nošením obuvi s vysokými podpatky, kdy není zatížení nohy rovnoměrné. [18, 19, 20, 21]



obr. 2-11 Rozdíl zdravého a plochého chodidla [18]

Plochá noha s sebou nese úskalí v tzv. vertikálním řetězení poruch, kdy se mohou projevit další problémy jako vnitřní postavení kolen nebo narušení celé biomechaniky kyčelních kloubů a páteře. Proto je potřebné, aby se problematika plochnoží řešila. Nejdříve je vhodné přistupovat z hlediska konzervativní léčby jako cvičení nebo použití ortopedických vložek než se přiklonit k operativnímu řešení. [18, 19, 20, 21]

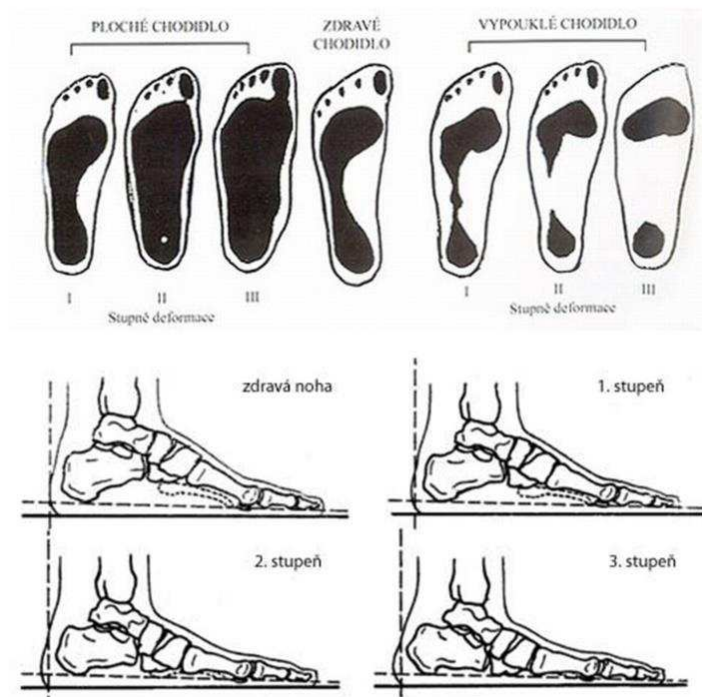


obr. 2-12 Vertikální řetězení poruch [22]

Běžně dělíme plochou nohu do tří stupňů:

1. stupeň: mírně plochá noha se objevuje jen při zátěži a na otisku chodidla je mírné rozšíření plošky, označujeme ji jako nohu ochablou
2. stupeň: u středně ploché nohy se soustřeďuje zatížení na vnitřní straně chodidla, kdy je klenba oploštěná při zátěži i při odlehčení; u tohoto stupně lze plochonoží upravovat cvičením nebo ortopedickými vložkami
3. stupeň: ve stádiu silně ploché nohy je snížená klenba trvale fixovaná, v této fázi je plochonoží bolestivé, chůze se stává těžkopádnou a mohou se projevit bolesti kolenních kloubů a bederní páteře

Ortopedie zná však stupně čtyři, ty určil Stryhal roku 1959. Druhý až čtvrtý stupeň je stejný jako u běžného dělení, jen je doplněn první stupeň označený jako noha přetížená či unavená, kdy je zachován normální tvar nohy, ale po delší námaze dojde k pocitu únavy a bolesti. [20]

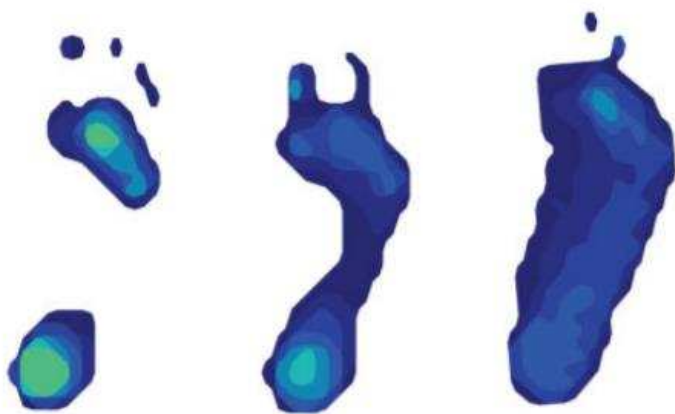


obr. 2-13 Stupně plochosti chodidla [22]

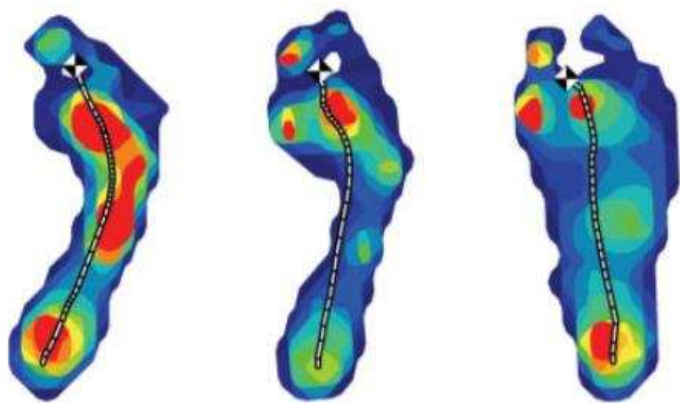
ORTOPEDICKÁ PROTETIKA

Důležitou součástí ortopedie je ortopedická protetika jinak známá jako technická ortopedie. Toto odvětví se zabývá funkčními či kosmetickými náhradami anatomických poruch pohybového ústrojí. Součástí ortopedické protetiky jsou ortopedické vložky, které slouží pro podporu nožní klenby. [31]

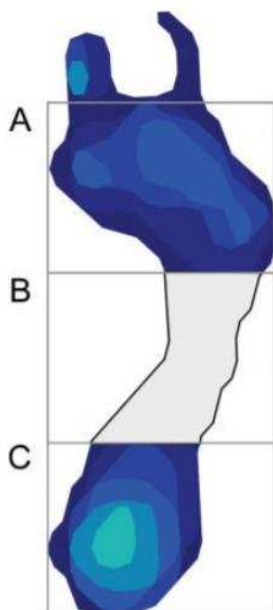
Nejjednodušší metodou diagnostiky plochonoží se jeví otisk mokré nohy na podlaze, který může člověk aplikovat v domácnosti. Lékaři pracují s profesionální diagnostikou za použití podoskopu, což je přístroj, který umožňuje zkoumání zatížení chodidel. Podoskop je vybaven odolnou akrylátovou deskou, která vede polarizované světlo a umožňuje tak odhalit anomálie chodidel při zatížení. Na otiscích se zkoumají opěrné body chodidla, které se prokládají zátěžovou křivkou. Zdravé chodidlo je zatíženo v ose od středu paty, přes vnější stranu nohy k metatarzálním kostem, kde se stáčí dovnitř. [32]



obr. 2-14 Otisk nohou - vysoká klenba, normální chodidlo a plochá noha [33]



obr. 2-15 Otisk chodidla s křivkou zatížení [33]



obr. 2-16 Rozdělení chodidla [33]

Podle vědců z „Association of Planus Foot Posture and Pronated Foot Function With Pain“ je možno chodidlo rozdělit na tři části přední nohu (A), klenbu (B) a patu (C). Z délek těchto částí je možno následně vypočítat tzv. arch index (AI).

$$AI = A/B + B + C$$

Z tohoto vzorce při měření v metrech vyjde hodnota, která po následném odečtení z tabulky ukáže typ chodidla. Uvádí se, že pohlaví jedince má vliv na zatížení chodidla.

Muži:

- 0 – 0,134 vysoké
- 0,135 – 0,272 normální
- 0,273 – 0,565 ploché

Ženy:

- 0 – 0,119 vysoké
- 0,120 – 0,261 normální
- 0,262 – 0,534 ploché [33]

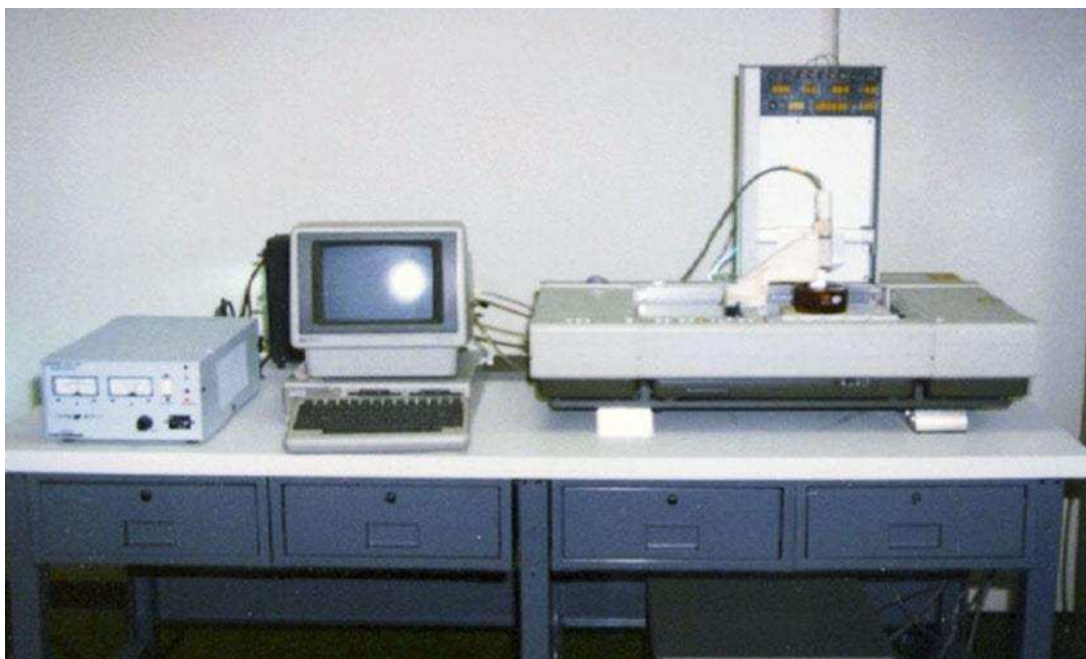
2.1.7 Zhodnocení ergonomických aspektů

Z hlediska ergonomie je důležité, aby nedošlo k propadnutí podélné klenby u lidského chodidla. Plochonoží způsobuje nejen zdravotní problémy u dolních končetin, ale může narušit biomechaniku celého organismu. Pomocí ortopedické protetiky, kam spadají ortopedické vložky, je možno napravovat plochá chodidla.

2.2 Technická analýza

Ortopedické vložky se vyrábí různými způsoby. Běžným způsobem je lisování plastových profilů a následné lepení přidaných vrstev. Možné je vstřikování pěnových směsí do forem. S příchodem nových progresivních metod výroby se objevují produkty, které využívají technologie 3D tisku.

V práci se zaměříme na technologii aditivní výroby. Základem automatizovaného procesu 3D tisku je vytvoření fyzického modelu z digitální předlohy. Zpočátku se tento proces nazýval Rapid Prototyping (tento termín je stále užívaný), kdy napomáhal k výrobě rychlých a poměrně levných prototypů. Velké firmy, dříve než začaly vyrábět produkt sériově, si nechaly vyrobit prototyp, který jim pomohl doladit finální návrh pro sériovou výrobu. Firmy sice ušetřily mnoho vynaložených financí, ale i tak tento způsob výroby prototypů byl finančně náročný a nepřístupný pro běžného uživatele. Roku 1984 si Charles W. Hull nechal patentovat technologii stereolitografie (SLA) a to dalo za vznik technologii 3D tisku jako takové. Poté Charles W. Hull založil firmu 3D Systems a rokem 1992 začal vyrábět a prodávat 3D tiskárny s technologií SLA ke komerčním účelům. [23]



obr. 2-17 První 3D tiskárna [23]

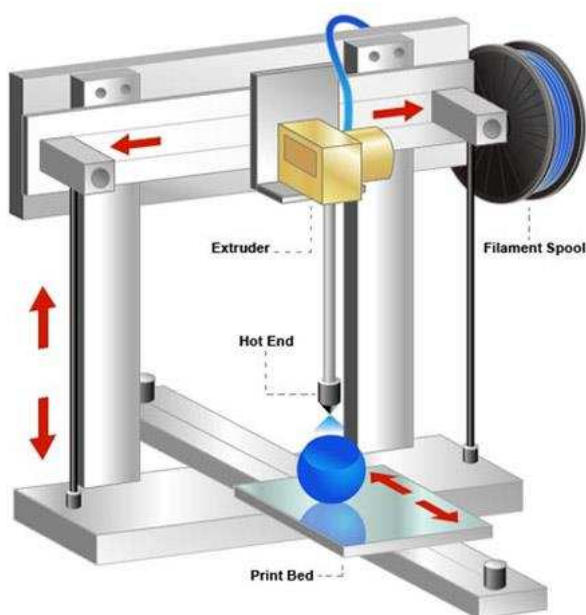
Základním principem 3D tisku je postupné nanášení vrstev materiálu na sebe.

Možné použitelné metody:

- 1. Tisková hlava vytlačuje materiál v podobě tiskové struny přes rozeřátou trysku. Nejznámější je technologie FDM (Fused Deposition Modeling) /FFF (Fused Filament Fabrication), jedná se prakticky o totožný způsob.
- 2. Ve vrstvách na určitých místech je materiál vytvrzován světelným paprskem (UV laser či DLP projektor). Do této skupiny patří sterolitografie (SLA).
- 3. Materiálem je jemný prášek, který je spékán (sinterován). Jako zástupce můžeme uvést technologii SLS (Selective Laser Sintering) či MJF (Multi Jet Fusion). [23, 24, 25]

2.2.1 FDM/FFF

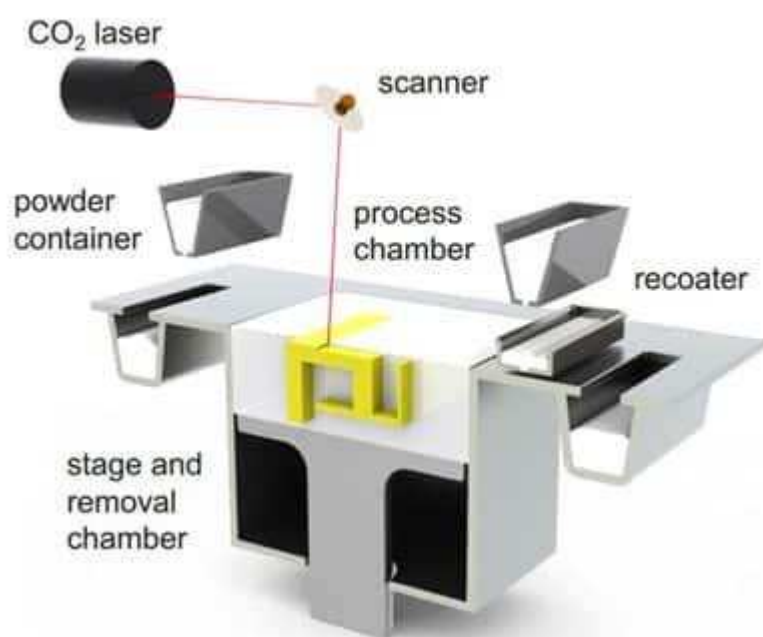
FDM či FFF technologie je nejrozšířenější a nejdostupnější způsob 3D tisku používán na výrobu funkčních modelů a prototypů. Materiálem pro tisk je plastová tisková struna, která se taví a postupně vrství na sebe. Nejčastěji se používají struny o průměru 1,75 mm, která vytvoří na výtisku viditelné vrstvy, jejichž výška se pohybuje kolem desetin milimetrů. Práce s tímto typem filamentu (náplně) je bezpečná a jednoduchá. [23, 24, 25]



obr. 2-18 FDM tiskárna [26]

2.2.2 SLS

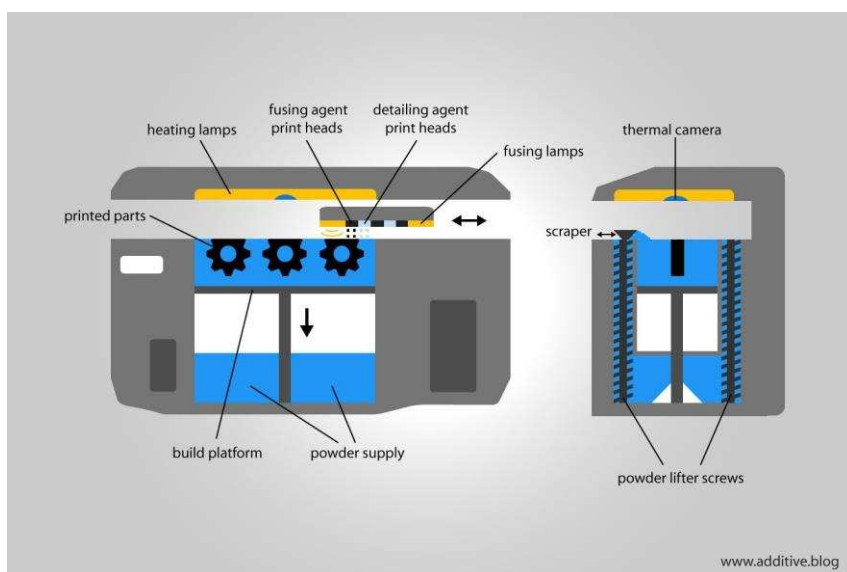
Materiálem SLS technologie tisku je jemný prášek. Tisk probíhá tak, že je každá nová vrstva nanesea a laserovým paprskem spečena (sintrována) v přesných místech podle předlohy. Výsledný model je zcela zasypán tiskovým materiálem. Komplikace nastávají při tisku dutého produktu, kdy se musí přihlídnout k potřebě otvorů pro vysypání nevytvrzeného prášku. Přebytný prášek se dá znovu použít k dalšímu tisku, nedochází k velké spotřebě tiskového materiálu. U modelu, který vychází z této technologie, nejsou patrné tištěné vrstvy. [23, 24, 25]



obr. 2-19 SLS tiskárna [35]

2.2.3 MJF

Technologie MJF je patentem firmy HP. Pracuje na bázi práškového polyamidu, do kterého je přidáváno činidlo zajišťující působením UV záření spojení částic. Není využíváno spojení laserovým paprskem. Tímto způsobem se postupně tisknou vrstvy pevného polyamidu. Vyznačuje se nižší pórovitostí oproti laserovému sintrování a tím je i pevnější. Vytisknutý produkt má hladký povrch bez viditelných vrstev. Výhodou této technologie je tisk možný bez přidaných podpor. Naopak produkt musí disponovat otvory, které umožní vysypání tiskového prášku z vnitřních částí modelu. [30, 36]



obr. 2-20 MJF tiskárna [30]

2.2.4 MATERIÁLY

Trh s tiskovými strunami nabízí velké množství materiálů se specifickými vlastnostmi a rozdílnými barvami. Dostupná je široká nabídka strun od různých druhů plastů (PLA, PETG, ASA) a měkkých flexibilních materiálů až ke kompozitním materiálům, které připomínají kovy či dřevo. Každý tiskový materiál se vyznačuje specifickými vlastnostmi a potřebami pro tiskové nastavení. Může se stát, že stejný typ filamentu od různých výrobců má rozdílné vlastnosti. Dokonce různé barvy téhož materiálu se mohou lišit. Aby byla kvalita tisku co nejvyšší, je nejvhodnější se řídit výrobcem předepsanými doporučeními. Až v případě nekvalitního výsledku se přikloníme k experimentování s nastavením tisku. [23, 24, 25]

PLA

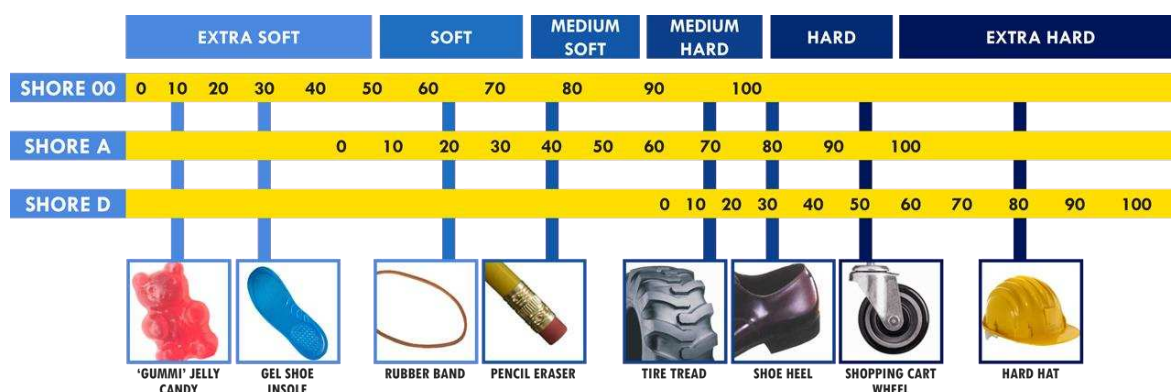
PLA je nejrozšířenějším filamentem v oblasti 3D tisku, díky zajištění kvalitního povrchu výsledného modelu. Vyrábí se z kukuřičného nebo bramborového škrobu. Využívá se zejména pro tisk malých a detailních objektů. Pro svou malou teplotní roztažnost nedochází ke kroucení tisku či odlepení od podložky a prasknutí, což je vhodné při tisku velkých objektů. Jedná se o cenově nejdostupnější materiál s širokou barevnou škálou. V průběhu procesu tištění materiálem PLA nevzniká žádný zápach. Avšak podléhá-li materiál mechanickému namáhání, neohne se, ale spíše praskne. Což je způsobeno tvrdostí, ale zároveň křehkostí materiálu. Není odolný vůči povětrnostním vlivům, pohlcuje okolní vlhkost a je náchylný k vyšším teplotám, již kolem 60°C začne materiál měknout. [23, 24, 25]

PETG a ASA / ABS

Na rozdíl od PLA jsou tyto materiály stabilnější při mechanickém namáhání a pružnější, tudíž jsou schopné se do určité míry ohnout. PETG není náročný na tisk a v porovnání s PLA má kvalitnější povrch, ale v průběhu tisku může tvořit nežádoucí slabá vlákna materiálu. Materiál ASA byl prvním materiálem využitým pro 3D tisk. Postupným vývojem vznikl ABS, který je jakýmsi nástupcem materiálu ASA. Jejich vlastnosti jsou z velké části stejné, ale mohou se objevit jisté rozdíly. Při tisku z těchto materiálů vzniká nepříjemný zápach. Problém může způsobit jejich velká teplotní roztažnost, kdy se model při tisku začne kroutit a odlepovat od podložky. Tento problém je zřejmější u ABS. ASA je UV stabilnější s menší teplotní roztažností. Povrch modelů z materiálů ASA a ABS je možno vyhladit nebo dokonce slepit jednotlivé části acetonem. [23, 24, 25]

FLEX

Souhrnný název FLEX označuje skupinu flexibilních materiálů, které se vyznačují vlastnostmi podobnými gumě. Při namáhání ohybem neprasknou, ale ohnou se. Flexibilní filamenty jsou dostupné v různých stupních tvrdosti, ale o čím měkčí materiál se jedná, tím složitější je jeho tisk. Mezi flexibilní materiály patří různé modifikace termoplastického elastomeru (TPE). Jsou kombinací tvrdých plastických polymerů a měkkých gumových materiálů. Nejběžněji využívaným je termoplastický polyuretan (TPU). U flexibilních materiálů se měří tvrdost plastu – Shore, kdy se vtlačuje hrot tvrdoměru do materiálu. Používají se dva hroty: A pro měkčí plasty a D pro ty tvrdší. [23, 24, 25]



obr. 2-21 Stupnice tvrdosti Shore [34]

PA12/PA12 GB

Tyto materiály se využívají při MJF tisku. PA12 je odolný termoplastický prášek, který se nejčastěji využívá pro tisk pevných dílů. Je vhodný na výrobu složitějších dílů pro své vlastnosti jako odolnost vůči chemickým látkám (oleje, tuky, alifatické uhlovodíky, zásady). PA12 GB je levnější variantou PA12, jedná se o směs s 40 % skla. Vyznačuje se kvalitními mechanickými vlastnostmi a dobrou recyklovatelností. [29, 37]

2.2.5 Zhodnocení technické analýzy

Z technické analýzy vyplívá, že nejvhodnějším způsobem aditivní výroby bude FFF technologie tisku, je běžně přístupná. Manipulace s tímto druhem tiskáren není náročná. Vhodným materiálem pro tisk ortopedické vložky bude TPU flexibilní filament. I když tisk z flexibilních filamentů je náročnější než z obyčejných plastových strun, je vhodnější pro vložku do obuvi.

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Práce je tvořena s důrazem na prodyšnost vložky, které zachovají přirozenou cirkulaci vzduchu kolem chodidla pro minimální potivost nohy. Příliš zpocená noha je ideálním prostředím pro kumulaci bakterií, kterým vyhovuje vlhké a teplé prostředí v obuvi. Bakterie vedou k porušení celistvosti kůže a usnadní šíření plísňové infekce. Nejčastějším řešením prodyšnosti vložky je pokrytí svrchní části speciálními stélkami, které absorbují pot. Jiným způsobem ventilace vzduchu kolem chodidla mohou být otvory v určitých částech či v celém objemu vložky. Tyto otvory fungují jako ventilace vzduchu a jsou schopné pot odvádět od chodidla. Z hlediska prodyšnosti je vhodná celobjemová perforace, která nejlépe povede vzduch.

Dospělá populace se potýká s problematikou plochonoží, kterou se snaží ortopedické vložky napravit. Primárním řešením se nabízí použití ortopedických vložek před operačním zákrokem. Ortopedická vložka by měla svým tvarem navazovat na anatomickou stavbu chodidla a z ergonomického hlediska udržet zdravý postoj nohy vůči tělu, kvalitně podpořit příčnou i podélnou klenbu. Pro nohu je potřebný dostatek místa v obuvi, proto není vhodné, aby byla vložka mohutná a zabírala mnoho prostoru.

Důležitý je výběr kvalitního materiálu pro výrobu. Materiál musí být citlivý k lidské pokožce, dostatečně funkční pro podporu chodidla a tlumení nárazů. Nejvhodnějším materiálem pro výrobu vložek aditivní technologií se jeví flexibilní filament TPU (termoplastický polyuretan). Vyznačuje se měkkostí, elasticitou, jemností a ohebností. Přesto je silný a odolný. Je vhodný pro využití ve zdravotnictví, je netoxický. TPU se tiskne technologií FFF postupným vrstvením materiálu z filamentových strun.

Aditivní výroba umožňuje parametrizaci dle konkrétního zákazníka, dává za vznik produktům lépe vyhovujícím individuálním požadavkům. Trh nabízí mnohé vložky se zmiňovanou podporou klenby, ne každá je dostatečně tvarovaná. Mnohé vložky jsou náročnější na údržbu při dlouhodobějším užívání. Vložky lepené z několika vrstev se mohou pravidelným užíváním rozlepit a stát se tak nefunkčními.

3.2 Cíle práce

Cílem práce je navrhnout systematizovaným metodickým postupem prototyp produktu, který zohlední pravidla a možnosti aditivní výroby. Podstatná je identifikace nároků uživatele na produkt a výrobní možnosti.

Dílčím cílem práce je navržení ortopedické vložky, která bude vyrobena aditivní technologií. Umožní individuální přizpůsobení produktu zákazníkovi, což je při ortopedické vložce značnou výhodou. Bude pomůckou při prevenci a nápravě plochonoží s ohledem na potřebnou prodyšnost.

3.3 Cílová skupina

Produkt je zaměřen pro dospělou populaci starající se o zdraví svých chodidel. Využít ji můžou osoby plochonožím. Vložky jsou určeny k běžnému používání bez nutnosti speciální péče, která by mohla zákazníka obtěžovat.

Majitelé 3D tiskáren mají možnost vytisknout si vložku v pohodlí domova. V případě zájmu o vložku si může zákazník vyhledat dostupnou 3D tiskárnu ve svém okolí a vložku si vytisknout. Předpokládá se prodej dat obsahující podklady k vlastnímu tisku. Jedná se o dobrou příležitost pro nadšence, kteří budou mít dobrý pocit, že si vložku mohou vytisknout sami.

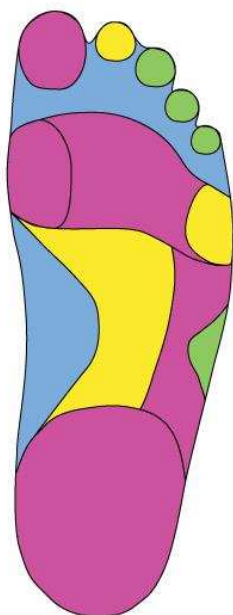
3.4 Použité výrobní technologie, možný trh a cena

Ortopedická vložka bude vyrobena aditivní výrobou 3D tiskem technologií FFF za použití flexibilního filamentu TPU, který je odolný vůči mechanickému namáhání. Touto metodou výroby je možno vložky vyrábět dle individuálních požadavků zákazníka, bez nutnosti zvýšení nákladů. 3D tiskem se eliminuje množství odpadního materiálu, který vzniká při výrobě běžným způsobem. Za předpokladu uniformity vložek se mohou vyrábět sériově na tzv. tiskových farmách. Cena vložky se odvíjí od ceny flexibilního materiálu, ze které se dá přepočtem přes váhu vytištěného produktu vypočítat jeho cena. Dále se musí vzít v úvahu lidská práce na vývoji a výrobě. Popřípadě pořizovací cena tiskárny.

4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

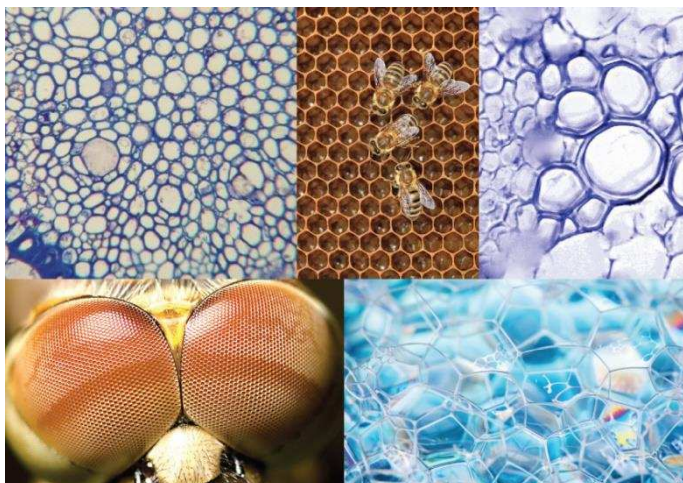
Tato kapitola se věnuje variantním návrhům, které vedou k finálnímu designu vložky. Základní tvar vložky je odvozen od tvaru chodidla a potřeby vytváření podpory pro podélnou klenbu. Vnitřní prostor vložky je navrhován s ohledem na potřebnou prodyšnost.

Celý tvar a struktura vložky se odvíjí od otiskových obrazů chodidla z podometru. Varianty designu reagují na barevně rozlišené oblasti velkého zatížení a míst potřebné podpory. Růžově je znázorněna oblast největšího zatížení chodidla. Žlutě a zeleně místa, kde se chodidlo dotýká podložky, tedy by mělo být zatížení u zdravého chodidla menší. Oblast potřebné opory, místa, kde se nachází klenby nožní, jsou označena modrou barvou.



obr. 4-1 Barevné rozdělení zatížení chodidla

4.1 Varianta I



obr. 4-2 Inspirativní koláž varianty I

První varianta návrhu ortopedické vložky vychází z organických tvarů, které se běžně vyskytují v přírodě. Jedná se o bublinový vzhled, strukturu podobnou rostlinným pletivům. Návaznost bublin může evokovat strukturu včelích pláství. Tvar vložky vychází z tvaru chodidla a prostoru, který je oporou podélné klenbě. Vložka pracuje s bublinovou strukturou v oblastech největšího zatížení chodidla.

Bublinová struktura byla vytvořena v programu Rhinoceros za pomoci přidruženého modulu pro generativní parametrické modelování Grasshopper. Následně byla aplikována do tvaru vložky. Prodyšnost kolem chodidla zabezpečují otvory v klenbové podpoře, uvažuje se, že tento prostor nebude zatěžovaná plnou vahou jedince a umožní lepší cirkulaci vzduchu kolem nohy.



obr. 4-3 Bublinová struktura

4.2 Varianta II



obr. 4-4 Inspirativní koláž varianty II

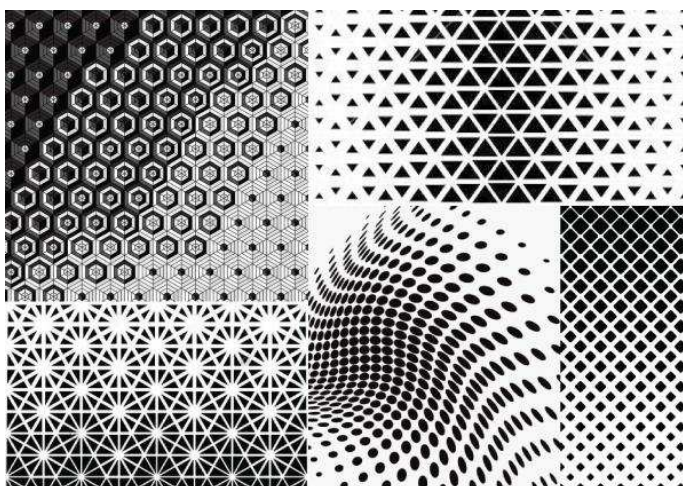
Druhá varianta se inspiruje letokruhy ve dřevě nebo soustřednými kružnicemi na vodní hladině. Struktura pracuje se soustřednými oblými křivkami, které se postupně do středu vložky zmenšují. Vykrojené tvary mohou evokovat rozpraskanou kůru či dřevo.

Základní tvar vložky vychází z tvaru chodidla. Soustředné křivky z tvaru otisku chodidla. Prostor potřebné podpory je vyvýšen, aby vytvořil prostor pro klenbu. V této oblasti jsou otvory skrz vložku pro cirkulaci vzduchu kolem chodidla. Každá mezera mezi soustřednými křivkami je snížena až do míst, která jsou nejvíce zatížená. Snižováním vrstev vznikne prostor pro podporu příčné klenby.



obr. 4-5 Vložka se strukturou letokruhů

4.3 Varianta III



obr. 4-6 Inspirativní koláž varianty III

Třetí varianta pracuje s geometrickými tvary. Základem je rovnostranný trojúhelník, který je považován za symbol stability a rovnováhy. Velikost trojúhelníkových otvorů se odvíjí od zatěžovaných oblastí. S otiskových obrazů jsou patrná místa zatížení podle barev. Perforace je malá v oblasti podpor kleneb a velká v místech největšího zatížení. Jedná se o jednoduché a funkční řešení s důrazem kladeným na prodyšnost vložky.

Trojúhelníková struktura je vytvořena pomocí plug-in softwaru pro Rhinoceros Grasshopper. Nejdříve je vymodelována trojúhelníková síť, ve které se pomocí bodových atraktorů trojúhelníky zmenšují podle míst největšího zatížení. Vložka je vytvarována podle chodila s oblastí, která podporuje podélnou klenbu. Cirkulace vzduchu kolem chodidla je umožněna trojúhelníkovými otvory.



obr. 4-7 Vložka s trojúhelníkovou strukturou

5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

Finální tvar vložky vychází z anatomie lidského chodidla a z postavení příčné a podélné klenby. Vnitřní struktura vložky reaguje na místa největšího zatížení a na místa, kde je potřebné tlumení rázů. To vše je patrné z tlakového otisku, kde jsou barevně rozlišená místa rozdílných tlaků. Kdy červená znázorňuje oblasti největšího tlakového zatížení.

Vnitřní struktura vychází ze třetí varianty, která se vyznačuje dobrou prodyšností a reakcí na tlak. Trojúhelníky jsou z hlediska zatížení náchylnější k poškození. Ostré úhly v rozích mohou působit jako vrub, to je nebezpečné místo protrhnutí. Proto byl jako vhodnější tvar výřezu zvolen kruh bez ostrých rohů. Kruhová struktura se v místě potřebné podpory zmenšuje, až zaniká úplně. Naopak v místech, kde je potřebné odpružení se struktura zvětšuje a zajišťuje tak měkkost materiálu.

Prodyšnost je u finální varianty řešena celobjemově, otvory pro cirkulaci vzduchu slouží jako měkčení pro zatěžované oblasti.

Vložka jako celek je schopná se přizpůsobit velikosti chodidla jedince a reaguje na potřebné zaklenuť podporující klenby. V oblasti podélné klenby je prostor zvednut a vyztužen více materiálem, aby měla klenba dostatečnou oporu. V oblasti paty je vložka po obvodu mírně vyvýšena pro lepší držení chodidla ve správné poloze vůči tělu.



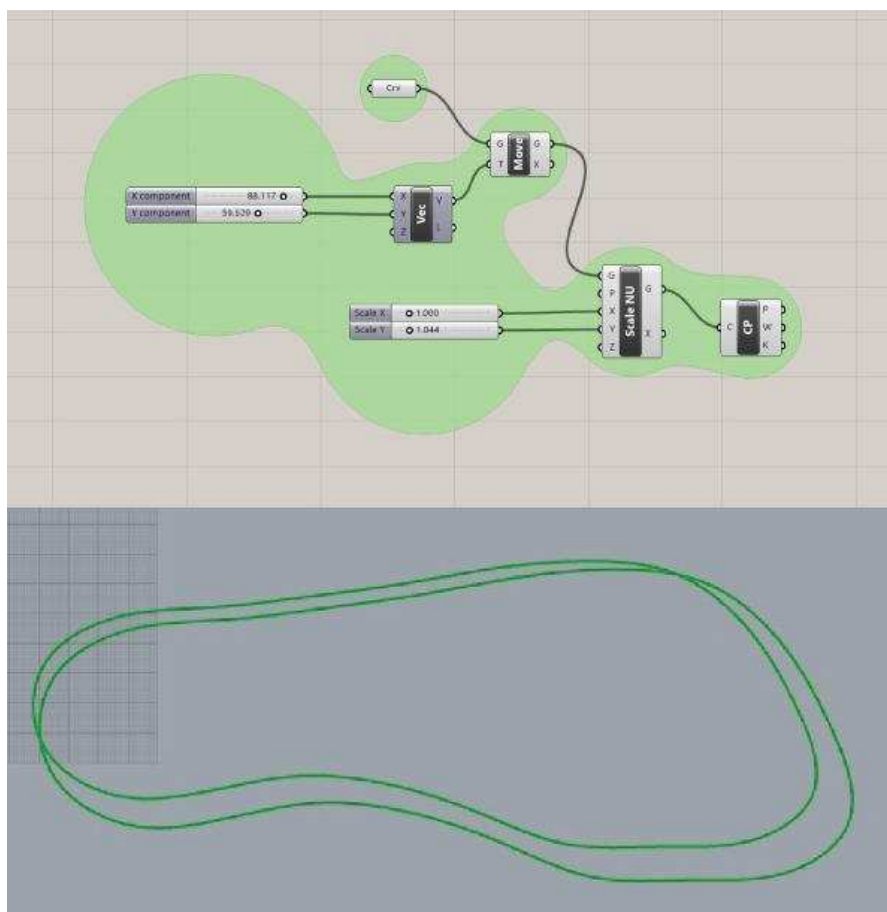
obr. 5-1 Tvarové řešení

5.1 Kompoziční řešení

Obrys vložky a vnitřní struktura byly zpracovány v plug-in softwaru Grasshopper, který umožňuje algoritmické modelování. Grasshopper pracuje na základě funkcí, které se postupně propojují do funkčních schémat.

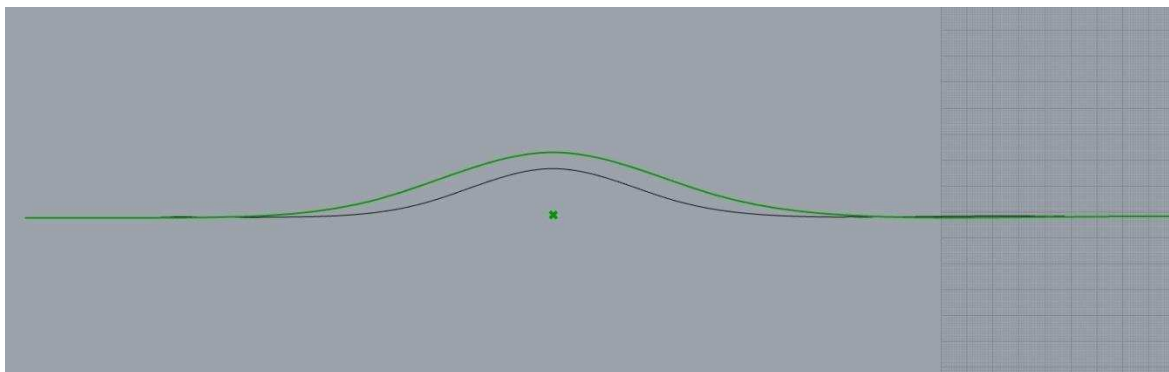
Základem vložky je křivka kopírující obvod chodidla. Tato křivka byla zakomponována do Grasshopperu, kde bylo vytvořeno schéma, které zpracovává šířku a délku chodidla podle reálně pořízených otisků. Výchozí rozměry jsou pro chodidlo velikosti 42 – délka 270 mm a šířka 103 mm. Následně je možné poměrem délky a šířky pohybovat stupnicí pro vytvoření různých rozměrů.

Nejjednodušším způsobem zjištění rozměrů chodidla je jeho obkreslení na papír a následné změření základních rozměrů. Velikost vložky se odvíjí od velikosti chodidla, která se udává v různých jednotkách. Systém platný pro USA je rozdílný od toho evropského. Asie i Velká Británie používají vlastních jednotek. Proto vložka pracuje na bázi číselné škály, která nejlépe funguje za využití poměru milimetrů.



obr. 5-2 Schéma pro změnu velikosti obrysu chodidla

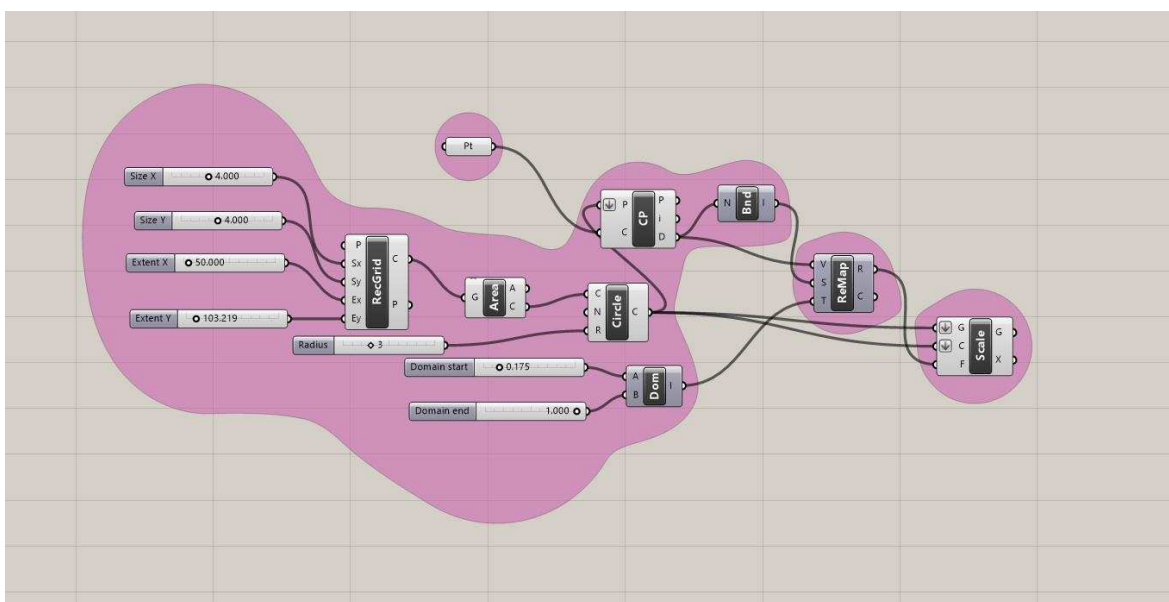
Výška a velikost křivky, slouží jako základ tvorby vyvýšeného prostoru pro podporu podélné klenby, je možno přizpůsobit. Slouží k tomu schéma s poměrovým přepočtem, které dokáže primární křivku zvětšit či zmenšit dle potřeby.



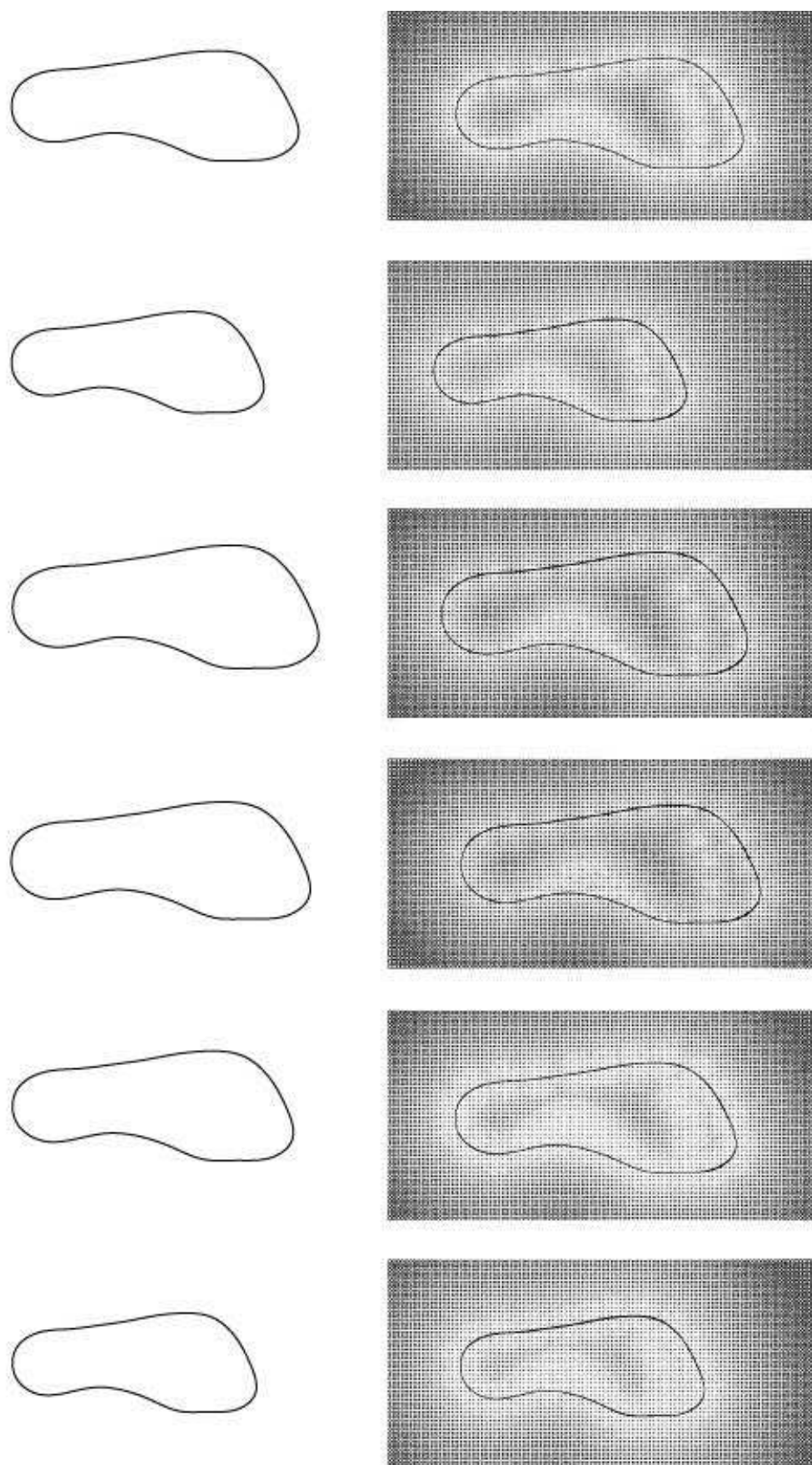
obr. 5-3 Pohyb křivky pro podélnou klenbu

Dalším krokem bylo vytvoření vnitřní struktury vložky vycházející ze čtvercové sítě. Ve čtvercích byly nalezeny středy, kolem kterých byly vytvořeny kružnice. Velikosti průměrů kružnic jsou ovlivněny bodovými atraktory rozmístěnými podle potřeby podpory příčné a podélné klenby. V těchto místech je kružnicová síť řidší, než v místech většího zatížení.

Pokynem „Bake“ struktura převedla do Rhinoceros, kde byla zpracována s modelem vložky.



obr. 5-4 Schéma kružnicové struktury

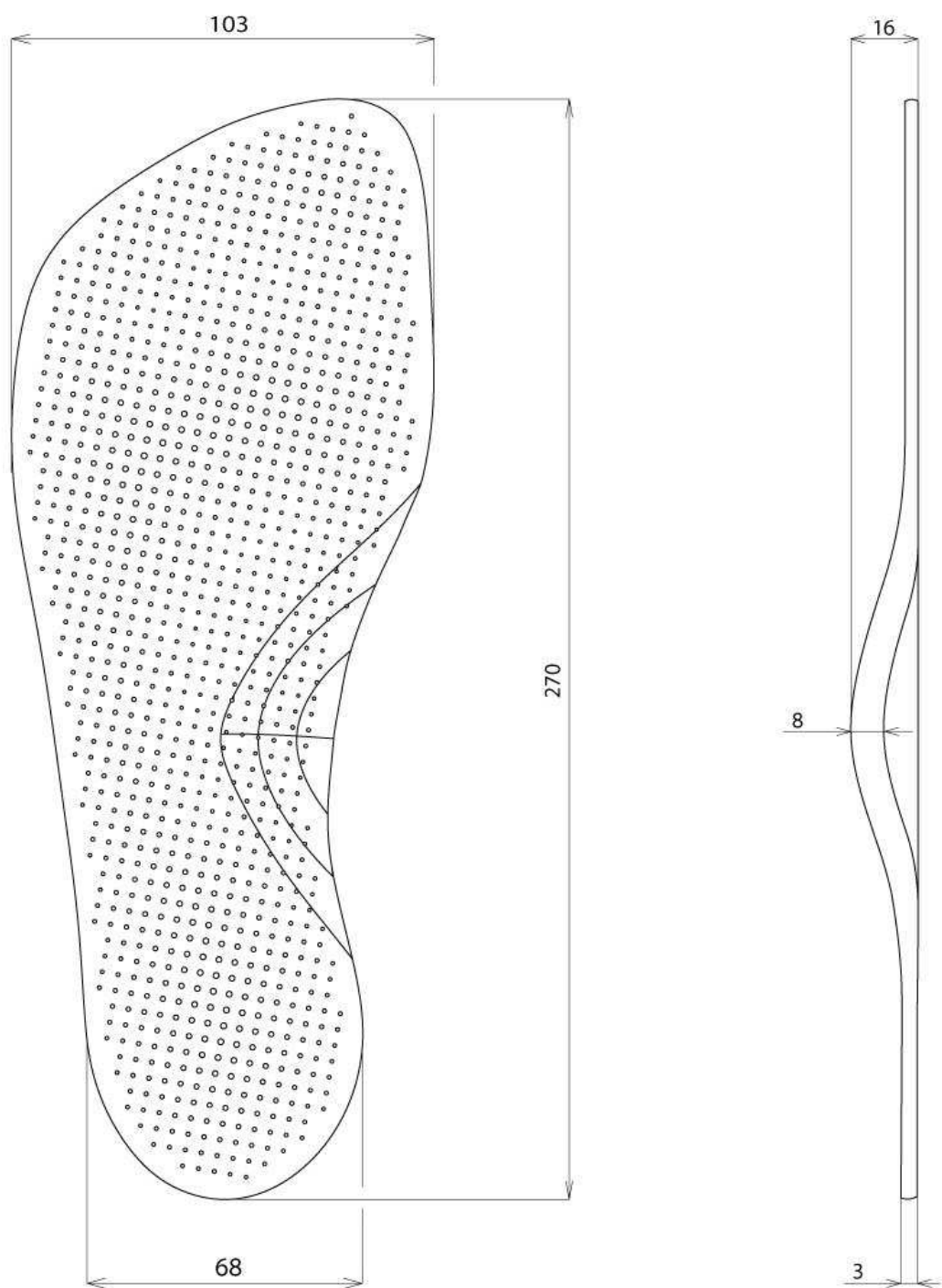


obr. 5-5 Schéma kružnicové struktury a různých velikostí chodidel

Primární model vložky byl vytvořen v programu Rhinoceros. Pro model vložky byly nejdříve utvořeny křivky kopírující tvar chodidla, které je možné upravovat pomocí schéma v Grasshopperu. Další křivkou určující tvar vložky, je vyklenutí podélné klenby. Z těchto křivek byl následně vytvořen objem dostatečně tenký, aby nezabíral příliš mnoho prostoru v obuvi. Organické oblé křivky společně s kruhovými otvory pro prodyšnost mohou svým vzhledem navazovat na obliny lidského těla.



obr. 5-6 Model vložky



obr. 5-7 Rozměry vložky

6 KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

Vložka je tvořena s předpokladem výroby jako jednoho celku. Bude tištěna 3D tiskem technologií FFF, materiál je nanášen tryskou ve vrstvách na sebe. Jednotnou hmotou vložky se zabrání případnému poškození či rozlepení různých částí při dlouhodobém užívání. Zabrání se problému s různou přilnavostí materiálů při lepení.

6.1 Konstrukční a technologické řešení

6.1.1 Materiály

Technologie 3D tisku FFF pracuje na základě plastových filamentových strun. Pro vložku je vhodný flexibilní filament. Z nabídky flexibilních materiálů byl vybrán termoplastický polyuretan (TPU). Díky pružnosti je odolný vůči poškození mechanickým namáháním. Je vhodným pro výrobu vložek, protože má kvalitní pružné a tlumící vlastnosti, je schopen absorbovat nárazy.

Flexibilní materiály pracují s tuhostí materiálu – Shore. Pro vložku je doporučeno pohybovat se v rozmezí 60A až 70A. Pružnost materiálu ovlivní, hustota vnitřní výplně.

Jeho příprava na tisk je náročnější oproti normálním plastovým filamentům, na druhou stranu má TPU nejsnazší tisk z flexibilních materiálů. Nevýhodou se může jevit dlouhá doba tisku.

6.1.2 Příprava 3D tisku

Výrobci uvádí předepsané nastavení pro kvalitní tisk. TPU se taví při teplotě 220 °C, je potřebné nastavit teplotu extruderu v rozmezí 235 – 260 °C. Teplota podložky by se měla pohybovat mezi 40 °C a 60 °C. Před začátkem tisku je doporučeno natřít hladkou podložku běžným tyčinkovým lepidlem, aby se tištěný model nepřichytil k podložce. Může nastat situace, kdy model nelze od podložky oddělit. Pro flexibilní materiály se udává rychlost tisku 20-40 mm/s, vysoká rychlost může ucpat trysku.

6.2 Ergonomické řešení

Vložka kopíruje tvar chodidla. Prostor podélné klenby je vyplněn vyzdviženým materiálem k podepření. Použití vložky se předpokládá v obuvi s nasazenou ponožkou na noze, nedojde tak k přímému kontaktu s pokožkou. V případě užití na bosu je vložka z TPU šetrná k lidské pokožce. Vložka, přiměřených rozměrů podle chodidla zákazníka, zajistí pohodlné používání, aby nedocházelo k otlacení nohy způsobené nedostatkem místa v obuvi. Prodyšná struktura dostatečné vede vzduch a nezatěžuje chodidlo kumulací potu, který může způsobit kožní onemocnění.



obr. 6-1 Vložka s nohou



obr. 6-2 Vložka v obuvi

7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

7.1 Barevné řešení

Barevné řešení vložky se zcela odvíjí od barevné škály nabízených filamentů TPU. Nabízené spektrum je velmi široké a vložka může mít jakoukoliv barvu, což se může odrazit na ceně použitého materiálu. Barva filamentu se odvíjí od nabídky firmy, která ho vyrábí.

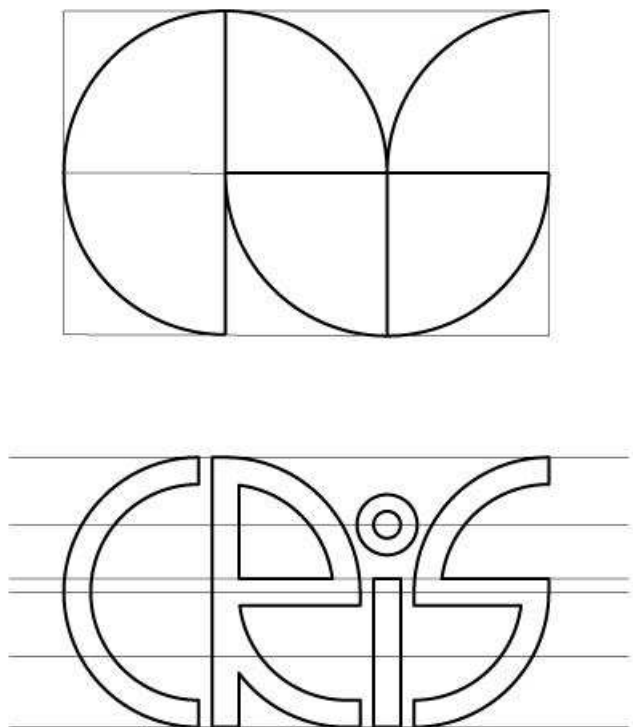
Zákazník si může vybrat barvu filamentu dle vlastních preferencí - v neutrálních odstínech béžové či černé. Nabízí se možnost ladit barvu vložky s barvou obuvi nebo sáhnout po výrazných odstínech. Tím se může vložka stát módním doplňkem.



obr. 7-1 Ukázka možných barevných variant

7.2 Grafické řešení

Název výrobku CRIS vychází ze složení anglických výrazů pro kruh – circle a vložku do obuvi – insole. Logo vychází z oblých a okrouhlých tvarů, ze kterých je vytvořen objem vložky. Jedná se o kombinaci shodných čtvrtkruhů a rovných přímk, které je propojují. Velikost mezer mezi písmeny je polovina tloušťky písmene. Ostrá zakončení písmen jsou kontrastem k oblým tvarům. Dominantním prvkem je kulatá tečka nad i, která odkazuje na okrouhlé ventilační otvory ve vložce.



obr. 7-2 Postup konstrukce loga



obr. 7-3 Logo

Umístění loga na vložce bylo zvoleno s ohledem na neporušení povrchu vložky z hlediska pohodlí při používání. Je umístěno na bočním obvodu vložky, kde je jemně vykrojeno z hmoty materiálu. Nachází se v prostoru podpory podélné klenby, kde je více materiálu a prostoru pro jeho umístění.

Grafickým detailem mohou působit vykrojené kruhové větrací otvory ze základního tvaru vložky. Při pohledu shora je viditelný zátěžový otisk chodila, který opticky rozbíjí celistvost struktury.



obr. 7-4 Umístění loga na vložce



obr. 7-5 Detail loga

8 DISKUZE



obr. 8-1 Možné varianty vložky

Práce přinesla výsledek v podobě prototypu ortopedické vložky, která byla vytvořena s ohledem na prodyšnost a potřebu podpory podélné klenby. Vložku je možno tisknout jako jeden kus, tak je eliminováno riziko rozlepení vložky. Produkt bude vyráběn z flexibilního materiálu TPU, který je ideální pro své pružné a pevné vlastnosti. Je snadný na údržbu. Dostupnost 3D tiskáren je v dnešní době běžná, proto si vložku může vytisknout každý.

Přestože je vložka navrhovaná s důrazem na prodyšnost, je třeba dbát na to, aby byla prodyšná i obuv, ve které budou vložky používány. V neprodyšné obuvi je znemožněna cirkulace vzduchu kolem chodidla, která by byla možná díky vložce.

Jedná o různorodý koncept vložky na experimentální úrovni. Vložku je možno dále rozvíjet a pracovat na jejich různých variantách s rozdílnou výškou materiálu, velikosti otvorů pro prodyšnost a celkové velikosti. Nabízí se možnost práce s různou tvrdostí flexibilního filamentu TPU.

8.1 Psychologická a sociální funkce

Vložka je produktem běžného používání, měla by být pohodlná a nenáročná na údržbu. Je uzpůsobena tak, aby člověku zajistila komfort při nošení. Tvar a barevnost produktu si člověk může dle svých představ upravit. Vložka vychází z oblých tvarů, které jsou typické pro lidské tělo. Barevnost vložky je ponechána na potřebách zákazníka, kterému je umožněno stylizovat si vložku do módního doplňku či diskrétní pomůcky pro plochonoží.

Významným psychologickým aspektem se může jevit možnost vlastní výroby vložky. Pro člověka se zálibou v technologii 3D tisku se naskytne příležitost práce na originální vložce.

8.2 Ekonomická funkce

Existuje značné množství osob, které používají ortopedické vložky s podporou podélné klenby. Vložku je poměrně jednoduché upravit do různých rozměrů, není problém v přípravě dat potřebných pro tisk produktu. Technologie 3D tisku sníží produkci odpadního materiálu při výrobě. Cena vložky se odvíjí od množství spotřebovaného materiálu. Na nákladech se může projevit pořizovací cena 3D tiskárny a lidská pracovní síla.

8.3 Význam práce s parametrizací dílčích komponentů

Výhodou je možnost upravit si vložku dle vlastní potřeby podle chodidel. Eliminuje se tím běžný problém, že levé a pravé chodidlo je rozdílné. Úpravou křivek si zákazník přizpůsobí produkt pro každé chodidlo zvlášť.

Vložka je vcelku běžný produkt denní potřeby, proto musí člověku ideálně sedět. V tomto aspektu nám parametrizace pomůže k docílení správného tvaru. Model a jeho vnitřní strukturu je možno jednoduše měnit a zpracovat dle požadavků zákazníka. 3D tisk umožňuje vytištění vložky v domácnosti, není potřeba prodávat samotný produkt, jen digitální data. Při práci se schématem pro vnitřní strukturu je nutné dávat pozor při možné kolizi kružnic s nadměrně velkými poloměry.

9 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá tématem prodyšnosti vložky a řešením problematiky plochonoží pomocí prototypu vyrobitelného aditivní technologií. Produkt bude vyráběn 3D tiskem technologií FFF z flexibilního plastového filamentu TPU s tuhostí v rozmezí 60A až 70A.

Na základě obkresu chodidla vznikla obrysová křivka, kterou je možno přizpůsobit práci s plug-in softwarem Grasshopper. Stejně jako křivku, která slouží k tvorbě podpory podélné klenby. Za pomoci tlakových otisků z podometru byla vytvořena vnitřní struktura, která reaguje na místa největšího zatížení zvětšováním kruhových otvorů. Otvory v objemu vložky slouží k změkčení materiálu i jako prostor pro cirkulaci vzduchu kolem chodidla. Velikost otvorů je možno přizpůsobovat, ale nesmí dojít ke kolizi v podobě příliš velkých otvorů. Byla by narušena celistvost hmoty vložky a ta by nedržela tvar. Proto je lepší variantou více menších otvorů, které dostatečně povedou vzduch a zároveň nezpůsobí nepohodlí při používání vložky.

Organické tvary vložky navazují na tvary lidského těla. Barevnost vložky je zcela individuální dle požadavků zákazníka. Koncept produktu je na experimentální úrovni, kdy je možný další rozvoj funkčnosti.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Korkfant 3mm [online]. [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <https://www.sijemezkuze.cz/Korkfant-3mm-d327.htm>
- [2] SVORTO 052 Ortopedické vložky - [online]. [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <https://www.dvort.cz/obuv/svorto-052-ortopedicke-vlozky.html>
- [3] Svorto 052 Vložky ortopedické pánské vel. 41 | BENU.cz [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: https://www.benu.cz/vlozky-ortopedicke-s-v-ve-41-panske?aw=1&gclid=EAIaIQobChMIndnL9pqA5wIViLTtCh3LhwUZEaQYBCABEgJEHfD_BwE
- [4] X-treme-ortopedické vložky [online]. [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <https://www.obujtese.cz/x-treme-vlozky/>
- [5] Ethylen-vinyl acetate [online]. [cit. 2020-01-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene-vinyl_acetate
- [6] Knixmax Sport Insoles Arch Support [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.amazon.co.uk/Orthotic-Supports-Trainers-Fasciitis-Tendonitis/dp/B078W5BLJX?th=1>
- [7] Amazon.com: 3 Pairs Elastic Shock Absorbing Shoe Insoles [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Breathable-Insoles-Elastic-Absorption-Cushions/dp/B07F2H6NH9>
- [8] Superfeet Carbon Lightweight Support Insoles | REI Co-op [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: https://www.rei.com/product/867100/superfeet-carbon-lightweight-support-insoles?cm_mmc=aff_AL_-_148854_-_184698_-_NA&avad=184698_c1a8bcef9%C2%A8
- [9] Svorto 055 Vložky skelet antibacterial 42 [online]. [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <https://www.benu.cz/svorto-055-vlozky-skelet-antibacterial-42>
- [10] Vložky skelet antibacterial [online]. [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <https://www.svorto.cz/vlozky-s-podporou-podelne-a-pricne-klenby/141-vlozky-skelet-antibacterial-8594023814390.html>
- [11] Seznam materiálů pro 3D tisk [online]. [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/>
- [12] About | Gensole [online]. [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <http://gensole.com/about/>
- [13] Orthobaltic - 3D PRINTED INSOLES [online]. [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <https://www.orthobaltic.eu/3d-printing.html>

- [14] 8sole - Custom Foot Orthotics [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.8sole.com/>
- [15] Ortopedie - Vitalion.cz [online]. [cit. 2020-01-21]. Dostupné z: <https://obory.vitalion.cz/ortopedie/>
- [16] GALLO, Jiří. *Ortopedie pro studenty lékařských a zdravotnických fakult*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011, 211 s. ISBN 978-802- 4424-866.
- [17] *Proč mají děti ploché nohy, cviky pro správný tvar klenby* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.ireceptar.cz/zdravi/proc-maji-deti-ploche-nohy-cviky-pro-spravny-tvar-klenby.html>
- [18] *Vložky do bot. plochá noha, ploché nohy* [online]. [cit. 2020-01-21]. Dostupné z: <https://www.zdravotnickepotreby-eshop.cz/category/chodidlo/vlozky-do-bot/116>
- [19] *Ortopedické vložky, zdravotní obuv - Podélně plochá noha* [online]. [cit. 2020-01-14]. Dostupné z: <https://www.zdraveobouvani.cz/ortopedicke-vlozky/podelne-plocha-noha/>
- [20] *Ploché nohy - co jste možná nevěděli | AGEL* [online]. [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <https://www.agel.cz/media/blogy/170622-ploche-nohy.html>
- [21] DUNGL, Pavel. *Ortopedie*. 2., přeprac. a doplň. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-802-4743-578
- [22] *Lidská noha, diagnostika a prevence | Fakulta sportovních studií Masarykovy univer* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1451/jaro2014/bk2053/um/lidska_noha/pages/plocha-noha.html
- [23] The History of 3D Printing: From the 80s to Today [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/>
- [24] *Kniha základy 3D tisku od Josefa Průši* [online]. 2014, [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>
- [25] 3D-tisk.cz - *Vše o 3D tisku a aditivní výrobě* [online]. Brno: Vydavatelství Nová média, 2019 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/>
- [26] 3D Lab Online Course | 3D Lab [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://youthart.eu/3dlab/courses/3d-lab-online-course/lessons/8-3d-printers-introduction/>
- [27] 3D Printing Technology Choice: FDM v/s SLA v/s SLS - MANUFACTUR3D [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://manufactur3dmag.com/3d-printing-technology-choice-fdm-v-s-sla-v-s-sls/>
- [28] *Materiály - Prusa Research a.s. - 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši* [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>

- [29] Protocast [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.protocast.cz/cz/materialy/3d-tiskovy-material/>
- [30] 3D Printing with Multi Jet Fusion (MJF) - The Technology House [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.tth.com/3d-printing/multi-jet-fusion-mjf/>
- [31] *Ortopedická protetika* - WikiSkripta [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Ortopedick%C3%A1_protetika
- [32] *Podoskop s polarizovaným světlem* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.fyzioklinika.cz/clanky-o-zdravi/podoskop-s-polarizovany-m-svetlemk>
- [33] Association of Planus Foot Posture and Pronated Foot Function [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/acr.22079>
- [34] How to print with flexible filament - Prusa Printers [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://blog.prusaprinters.org/how-to-print-with-flexible-filament/>
- [35] Desktop SLS 3D printer 2020: hardware selection and technology [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/buyers-guide/3d-printers/best-professional-desktop-sls-3d-printers/>
- [36] Multi Jet Fusion | Materialise - Innovators you can count on [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/multi-jet-fusion>
- [37] Nylon PA filament - PrintaMent - 3DprintCZ [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.3dprintcz.cz/printament-nylon-pa12/>

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

FFF	Fused Filament Fabrication
TPU	Termoplastický polyuretan
EVA	Ethylen vinyl acetát
MJF	Multi Jet Fusion
HP	Hewlett-Packard
FDM	Fused Deposition Modeling
TPE	Termoplastický elastomer
SLS	Selective Laser Sintering
SLA	Stereolithography
UV	Ultraviolet
DLP	Digital Light Processing
PLA	Polymléčná kyselina
PETG	Polyethylentereftalát s modifikováním glykolem
ASA	Akrylonitril-styren-akryl
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
FLEX	Skupina flexibilních filamentů
PA12	Polyamid
PA12 GB	Polyamid s příměsí skla

12 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

obr. 2-1	Svorto 052 [3]	14
obr. 2-2	X-treme ortopedická vložka [4].....	15
obr. 2-3	Vložky skelet antibacterial [10].....	16
obr. 2-4	8sole [14]	17
obr. 2-5	Superfeet [8]	18
obr. 2-6	Knixmax [6]	19
obr. 2-7	XXIN [7].....	20
obr. 2-8	Gensole [12]	21
obr. 2-9	Orthobaltic [13].....	22
obr. 2-10	Postavení podélné a příčné klenby [17]	23
obr. 2-11	Rozdíl zdravého a plochého chodidla [18].....	24
obr. 2-12	Vertikální řetězení poruch [22]	25
obr. 2-13	Stupně plochosti chodidla [22].....	26
obr. 2-14	Otisk nohou – vysoká klenba, normální chodidlo a plochá noha [33].....	27
obr. 2-15	Otisk chodidla s křivkou zatížení [33].....	27
obr. 2-16	Rozdělení chodidla [33]	28
obr. 2-17	První 3D tiskárna [23].....	29
obr. 2-18	FDM tiskárna [26]	30
obr. 2-19	SLS tiskárna [26].....	31
obr. 2-20	MJF tiskárna [30]	32
obr. 2-21	Stupnice tvrdosti Shore [34]	34
obr. 4-1	Barevné rozdělení zatížení chodidla.....	37
obr. 4-2	Inspirativní koláž varianty I	38
obr. 4-3	Bublinová struktura	38
obr. 4-4	Inspirativní koláž varianty II	39
obr. 4-5	Vložka se strukturou letokruhů.....	39
obr. 4-6	Inspirativní koláž varianty II	40
obr. 4-7	Vložka s trojúhelníkovou strukturou	40

obr. 5-1	Tvarové řešení.....	41
obr. 5-2	Schéma pro změnu velikosti obrysu chodidla.....	42
obr. 5-3	Pohyb křivky pro podélnou klenbu	43
obr. 5-4	Schéma kružnicové struktury	43
obr. 5-5	Schéma kružnicové struktury a různých velikostí chodidel	44
obr. 5-6	Model vložky	45
obr. 5-7	Rozměry vložky	46
obr. 6-1	Vložka s nohou.....	48
obr. 6-2	Vložka v obuvi	48
obr. 7-1	Ukázka možných barevných variant.....	49
obr. 7-2	Postup konstrukce loga.....	50
obr. 7-3	Logo.....	50
obr. 7-4	Úmístění loga na vložce	51
obr. 7-2	Detail loga	51
obr. 8-1	Možné varianty vložky	52

13 SEZNAM PŘÍLOH

Zmenšený poster (A4)

Sumarizační poster (A1)

Digitální model

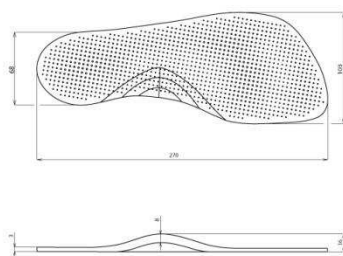
Vizualizace na bílém pozadí a v prostředí

ZMENŠENÝ POSTER

CRIS



M 1:2



Vložka do obuvi CRIS je navrhována pro výrobu 3D tiskem technologií FFF. Předpokládá se použití flexibilního filamentu TPU, který je vhodný díky svým pružným a přesto pevným vlastnostem. Vložka pracuje s potřebou podpory podélné klenby a cirkulací vzduchu kolem chodidla. Hmotnost vložky vychází z křivek obrysu chodidla. Vnitřní struktura kružnic reaguje na místa zatížení a potřebné opory. V prostoru zatížení se kružnice zvětšují a tím změkčují materiál. Oblast podélné klenby je vyvýšena, aby klenbu podepřela.

NÁVRH PRODUKTU PRO ADITIVNÍ VÝROBU / BAKALÁŘSKÁ PRÁCE / Autor: Diana Ritterová / Vedoucí práce: Ing. David Škaroupka, Ph.D. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2019/20 / Datum obhajoby: červenec 2020

