



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA NASTAVITELNÉ IN-LINE BRUSLE

PRODUCTION OF ADJUSTABLE IN-LINE SKATES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTORPRÁCE

AUTHOR

Marek Sulovský

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Marek Sulovský**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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:

Výroba nastavitelné in-line brusle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem BP bude zpracovat návrh in-line brusle a návrh technologie výroby s potřebnými výpočty a ekonomickým vyhodnocením

Cíle bakalářské práce:

1. Literární studie
2. Design in-line brusle
3. Návrh technologie výroby s potřebnými výpočty
4. Výsledný technologický postup
5. Ekonomické vyhodnocení
6. Závěr

Seznam literatury:

Boljanovic, V.(2005): Sheet Metal Forming Processes and Die Design. U.S. (USA). Industrial Press Inc.

Birzer, F. (1997): Forming and fineblanking, cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts. 1st edition. Landsberg/Lech, Verl. Moderne Industrie.

Kotouč, J., et. al.(1993): Tvářecí nástroje. ČVUT. 1. vyd. Praha.

Kříž, V., Vávra, P. (1998): Strojírenská příručka. 1. vyd. Praha, Scientia,

Řehulka, Z. (2008): Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Praha. SEKURKON s.r.o.

SOVA, M., Krebs, J. (1999-2000): Termoplasty v praxi, praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. 5. aktualiz. vyd. Praha : Verlag Dashöfer.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

SULOVSKEÝ Marek: Výroba nastavitelné in-line brusle.

Práce se zabývá návrhem nastavitelné in-line brusle na různou velikost osobních bot. Uživatel si tak může nastavit délku dané brusle k vlastní botě. Proměnlivá délka pokryje až 3 velikosti bot, které se šijí různě dlouhé. V průběhu historie a současnosti bylo mnoho jednoduchých návrhů ze dřeva nebo ocelového plechu postupně zaměněno za plast. Plast je velmi moderním materiálem, který má hodně zajímavých vlastností. Jsou pevné a zároveň lehké. Celá konstrukce se vyrábí pomocí technologie vstřikování plastu do forem, kolečka technologií odlévání a spojovací materiál je z oceli. Pro zajištění pevnosti spoje jsou použity nýtovací matice. Mezi prvky, které odlišují tento návrh, patří stabilní tříkolečkový podvozek, vestavěný imbusový klíč a rychlé upínání se suchým zipem.

Klíčová slova: In-line brusle, design, vázání, tváření, nastavitelná

ABSTRACT

SULOVSKEÝ Marek: Production of adjustable in-line skates

The thesis is focused on design of adjustable in-line skates. Using this design, users can set its length to their shoes. Adjustable length can cover up to three shoe length sizes. Traditional wood and steel designs are now almost fully replaced by plastic. Plastics are modern materials that have a lot of useful features. They have lower density than steel, while maintaining acceptable stiffness. Major part of the design can be manufactured using plastic injection molding and wheels are made by casting technology. Remaining parts include standardized stainless steel bolts with threaded inserts and aluminum rivets. Major features, setting this design apart include stable 3-wheel platform, fast Velcro fixing and built-in hex driver.

Keywords: In-line skates, design, binding, moulding of plastics, adjustable

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SULOVSÝ, Marek. *Výroba nastavitelné in-line brusle*. Brno, 2016. 39s, 1 výkres, 5 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi za možnost vytvořit bakalářskou práci pod jeho vedením a rady k dokončení celé práce. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu při studiu, Gábině Smolkové za pomoc při editaci korektury a Kristýně Komárkové za zapůjčení výkonné techniky pro závěrečné vykreslení designu.

OBSAH

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD [18], [22], [23]

1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10 -
1.1 Historie bruslení [18], [22]	10 -
1.2 In-line brusle [17], 18], [23], [25].....	12 -
2 PLASTY A JEJICH SPECIFIKACE [2],[5], [7], [10], [11],[12],[14], [21]	13 -
2.1 Hlavní rozdělení polymerů [2], [5],[7], [8],[9], [16]	13 -
2.1.1 Materiálové příměsi	15 -
2.1.2 Rozdělení podle aplikace [2], [10], [11], [12], [13].....	19 -
2.2 Mechanika plastů [2], [5], [14], [15]	20 -
2.3 Zkušební metody [2], [7], [13].....	21 -
2.4 Volba materiálu in-line brusle [2], [9], [10], [11], [12], [13], [14].....	26 -
2.4.1 Brzdící guma [2],[9]	26 -
2.4.2 Jízdní kolečka [2], [10], [11], [13].....	27 -
2.4.3 Tělo a podvozek brusle [2], [10], [11], [12], [13], [14], [16]	27 -
3 VOLBA DESIGNU KOLEČKOVÉ BRUSLE [6], [18], [22], [23].....	29 -
3.1 Návrh 1 kolečkové brusle [18], [22], [23],	29 -
3.2 Návrh 2 kolečkové brusle	30 -
3.3 Návrh 3 kolečkové brusle	30 -
3.4 Návrh 4 finální kolečkové brusle.....	31 -
4 ZPRACOVÁNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY [1], [5]	34 -
4.1 Technologické zpracování odléváním [1], [4], [7]	34 -
4.2 Technologické zpracování vstřikováním [1], [4], [5], [7], [8], [11], [16]	35 -
5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [19], [26].....	39 -
6 ZÁVĚRY	39 -
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [3]	40 -
SEZNAM PŘÍLOH.....	48 -
SEZNAM VÝKRESŮ	48 -

ÚVOD [18], [22], [23]

In-line brusle se v posledních desítkách let vyvinuly do standardních tvarů se 4 nebo 5 kolečky v jedné řadě. Mezi standardní typy patří agrasivní, závodní, volnočasové nebo hokejové brusle. Poslední dobou vznikají zajímavé konstrukce jako horské, downhillové a různé speciální konstrukce. K návrhu neobvyklé konstrukce mě přivedla myšlenka rychlejší přepravy v městských ulicích. Hlavním prvkem je tedy možnost rychlého a snadného nasazení na obuv. Jelikož každý člověk má jiné boty, ale hlavně i velikost chodidla, bylo nutné zajistit určité přizpůsobení této situaci. V průběhu historie byla vytvořena velká řada pokusů o podobnou myšlenku, ale žádná nesplňovala mou představu a tak jsem se inspiroval v různých odvětvích moderního designu jako např. automobilový průmysl, vázání na snowboard, in-line koncepty a další všední i nevšední jevy, které pozorujeme kolem nás.



Obr. 0: Porovnání mezi moderním kočárovým provedením a dobovým jízdním provedením [30,41].

1 ROZBOR ZADÁNÍ [18], [22], [23]

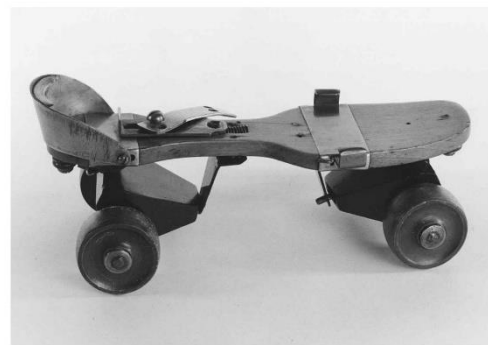
Jedná se o návrh in-line brusle, která se bude nastavovat podélně vůči velikosti uživatelské boty. Brusle má upravené vázání podobně jako na snowboardu. Při použití podobného typu vázání je potřeba zajistit vyšší stabilizaci jízdy a bezpečnou možnost brzdění (zastavení). Toto byly hlavní požadavky při tvorbě designu in-line brusle.

1.1 Historie bruslení [18], [22]

Pokusy o bruslení mimo led jsou starší než 200 let a hlavní myšlenkou bylo umožnit bruslení v období, kdy není led. Již v 19. století se objevili vizionáři, kteří zjistili, že nejvyšší ovladatelnost má uspořádání koleček do jedné řady, ale tato informace se dostala do podvědomí lidí až o více jak sto let později. V roce 1760 Belgičan John Joseph Merlin byl prvním, kdo veřejně představil kolečkové brusle. Jeho prezentace nedopadla nejlépe, protože ztratil kontrolu nad jízdou a při svém pádu rozbil velké zrcadlo oceněné na více jak 500 liber. Z toho vyplývají problémy, že není těžké se rozjet, ale včas a bezpečně zastavit.

U původních konstrukcí kolečkových bruslí většina vynálezců experimentovala se způsoby uchycení k obuvi, s počtem použitých koleček, jejich velikostí a použitým materiálem. Tyto původní konstrukce můžeme rozdělit na 3 základní druhy:

- Původní konstrukce se dá popsat jako vozíčkového typu, kde jsou použité dva páry koleček na pevné ose. Samotný vozíček se k botě přiděloval pomocí pásků nebo plechu (zobrazeno na obr. 1)
- Dalším typem jsou naklápěcí pro většinu známé jako „kačenky“, tato konstrukce se stala základem pro skateboardy. Kolečka byla stále vedle sebe, jenže osa byla naklápěcí, to umožňovalo lepší a plynulejší odraz. Bota byla pevně spojena rámem jako u ledních bruslí a na přední špičce byl umístěn gumový váleček jako brzda. (zobrazeno na obr. 2). Tako konstrukce byla velmi populární. V roce 1937 vznikla Asociace obsluhující umělá kluziště. Nyní se tato organizace jmenuje Asociace kolečkového bruslení a díky ní se rozmohlo bruslení za doprovodu hudby, dokonce se na bruslích i tančilo.
- Posledním typem jsou kolečka uspořádaná v řadě, které jsou v dnešní době nejrozšířenější formou bruslí. Řadová konstrukce se vyznačuje pevnou botou, k níž je připevněn pevný rám



Obr. 1: Vozíčkový typ[22].



Obr. 2: Naklápěcí typ „kačenky“[32].

s kolečky, kde je, na posledním kolečku pod patou, upevněná brzda. Počátkem 90. let minulého století in-line brusle dostávaly postupně různé konstrukce, aby byla pokryta co největší poptávka veřejnosti, jak je uvedeno v tabulce 1.

Tab. 1: Rozdělení podle typu a účelu konstrukcí in-line bruslí.

Kondiční	Agresivní	Rychlostní	Hokejové a sportovní	Umělecké	V terénu
vyjížďky, turistika	U-rampa (akrobatické skoky a triky)	dráhové	hokej	volný slalom	sjezdové
transport	steetové (skoky a triky, klouzání po zábradlí)	silniční	kolektivní sporty	rychlostní slalom	plachtění
kondice		sjezdové		tanec a formace	bruslení s tažným drakem

Tato bakalářská práce je zaměřena hlavně na kategorii transport. Tedy přepravou na kratší vzdálenosti, kterou je potřeba v daný okamžik překonat rychleji než chůzí. Pro normální konstrukci bruslí je zakázáno využívat prostor obchodů, restaurací a autobusů, proto je určena převážně na stezky. Pokud je potřeba vstoupit na některou z těchto ploch, je nutné standardní brusle přezout za boty. V kategorii transport je v současné době spousta různých prostředků jako např. Orbit wheels (na obr. 3), Freeline skate (na obr. 4) nebo Skateboard (na obr. 5), který je mezi nimi nejvíce využíván. Při porovnání konstrukce jde jednoznačně vidět, že je potřeba umět jezdit na skateboardu a znát techniky manipulace a zastavení.

Odvětví skateboardu a různých jeho modifikací vypovídá o tom jak transport a prostředky v něm používané mají různé tvary a konstrukce, které je důležité rozvíjet. Tato oblast byla zmíněna z důvodu jejího silného vlivu na dopravu a zábavu zároveň. Nicméně in-line bruslení má svou vlastní oblast, která se může ještě velmi dlouho rozvíjet.



Obr. 3: Orbit wheels [38].



Obr. 5: Skateboard [43].



Obr. 4: Freeline skates [29].

1.2 In-line brusle [17], [18], [23], [25]

Jízda na kolečkových bruslích se řadí mezi velmi populární sport, proto je tento sport stále více zařazován do podvědomí lidí a firem. Podstatou zachování investic je potřeba stále rozšiřovat sortiment, nebo vyvíjet nové konstrukce in-line bruslí, které budou mít buď specifické použití (na obrázku 6 je model rychlobruslařské brusle), nebo obecné.

Obsahem návrhu je docílit vhodné konstrukce, která bude používána v širokém spektru lidí pro zábavu nebo pro zrychlení přemístění. Podstatou konstrukce je zajistit tvarovou stálost a mechanické vlastnosti zvolených materiálů. Pro zajištění všech podmínek je voleno z technických materiálů, které jsou lehké, pevné, dobře tvarovatelné a jejich životnost dostačující. Hlavním materiálem je zvolen plast. Plastem se rozumí polymer, který bude mít vhodné vlastnosti, tvar a výslednou strukturu. Pro in-line brusle je potřeba zvolit 3 různé materiály se specifickými vlastnostmi. Jedná se o materiál pro samotná kolečka, celkovou konstrukci a nakonec materiál vhodný pro zastavení jízdy v podobě brzdy. Plasty jsou v moderní době nejrozšířenějším materiálem ve všech oblastech a v posledních desetiletí je velmi významný i pro strojírenství.

Spojovací materiály budou voleny podle výrobce, který bude mít zadané výstupní rozměry a namáhání. Pro zabezpečení stálosti závitů v plastu je doporučen vložený ocelový závit v podobě nýtovacích matic, které obstarává např. firma Simaf. Pro výběr vhodných kuličkových ložisek lze zvolit až po kompletním pevnostním návrhu např. v katalogu ložisek firmy Akrov.



Obr. 6: Rychlobruslařská brusle [42].

2 PLASTY A JEJICH SPECIFIKACE [2],[5], [7], [10], [11],[12],[14], [21]

Pod obecným názvem plasty se dá představit velká skupina materiálů, která je tvořena z polymerů a z přidaných látek. Tyto přidané prvky ovlivňují jejich výsledné mechanické vlastnosti. Prvky přidávané k polymerům jsou: uhlík (C), vodík (H), kyslík (O), dusík (N), chlór (Cl), síra (S) a křemík (Si). Polymery s prvky tvoří chemické názvosloví, ale většinou jsou příliš složitá na výslovnost, tak se zavedl systém zkratk. Zkratky jsou psány velkými písmeny jako např.: ABS (akrylonitrilbutadienstyren), PE (polyetylén), PVC (polyvinylchlorid). Většina velkých výrobců nebo prodejců zavedené zkratky neuvádí a na místo toho jsou pouze obchodní názvy, aby byl produkt ochráněn před konkurencí. V důsledku toho vznikají stále nová chemická složení a mechanické vlastnosti u jednoho druhu polymeru.

2.1 Hlavní rozdělení polymerů [2], [5],[7], [8],[9], [16]

Polymery jsou makromolekulární látky utvořeny jednotlivými monomery, které jsou k sobě vázané do řetězce při procesu nazývaném polyreakce (polymerace, polyadice, polykondenzace). Plasty mají velké možnosti rozdělení, jedno ze základních členění je rozepsáno v tab. 2, kde jsou 4 skupiny polymerů.

Tab. 2: Rozdělení polymerů.

POLYMERY			
Elastomery	Termoplasty	Reaktoplasty	Termoplastické elastomery
NR	Částečně krystalické	Fenolické	S vysokou tvrdostí
SBR	Amorfní	Melaninové	S nízkou tvrdostí
EPDM		Epoxidové	
NBR		Polyesterové	
Další		Další	

Použité zkratky: NR (přírodní kaučuk), SBR (butadien styrenový), EPDM (etylen-propylenový kaučuk), NBR (butadien-akrylonitrilový kaučuk).

Elastomery jsou materiály, které dokáží za normálních i okolních teplot být stále elastické a po odlehčení zatížení se samy vrátí do původního tvaru. Jedním z materiálů této skupiny je silikonový kaučuk, který si zachovává své elastické vlastnosti v rozsahu teplot od -60°C do $+250^{\circ}\text{C}$. Tyto materiály vznikají za vyšších teplot, tzv. vulkanizací. Skupina elastomerů na bázi termoplastů tvoří výjimku. Využití elastomeru má mnoho podob, jedna z nich je zobrazena na obr. 7.



Obr. 7: Silentbloky a těsnění [27].

Termoplasty jsou teplem tavitelné a tím se řadí mezi nejvíce používané plastické hmoty (např. automobilový, strojírenský nebo bytový průmysl, je na obr. 8). Od výrobců jsou dodávány ve formě granul, prášků, desek nebo bloků. Makromolekuly jsou vláknité, to



Obr. 8: Použití termoplastů v průmyslu [33, 37, 39].

způsobuje opakovatelné tavení a tvarování do požadovaného tvaru. V ideálním stavu nedochází při zahřívání k chemickým změnám makromolekul. Teplota měknutí termoplastů je mezi 40°C až 80°C. Při procesu tváření jsou teploty o něco vyšší a to v rozmezí od 80°C do 140°C, na teplotu tavení je potřeba dosáhnout teplot kolem 250°C, ale tady už má každý materiál jiné hranice tavení. Hlavně v letním období, kdy okolní teploty dosahují hranic měknutí těchto plastů, je nutné brát ohled na změnu mechanických vlastností. Mezi významné termoplasty patří polyvinylchlorid (PVC), polystyrén (PS), polyetylén (PE), polymethylmetakrylát (PMMA), polyamid (PA), polykarbonát (PC), polyvinylacetát (PVAC), polyizobutylén (PIB), polytetrafluoretylén (PTFE), polypropylén (PP), polyester (PES), deriváty a celulózy.

Reaktoplasty dříve také nazývány termosety, jsou dodávány ve formě tekutých látek, medové konzistence většinou nazývány pryskyřice. Např. fenol-formaldehydová pryskyřice (PF), epoxidová pryskyřice (EP), polyesterová pryskyřice (UP), apod. Do těchto látek jsou přidávány vytvrzovadla. Za účinku tepla dochází k vytvrzení a přechází tak do netavitelného a nerozpustného stavu. Tento proces je nazýván zesítním. Je to nevratný proces, proto není možné reaktoplasty znovu tvarovat, svařovat, tavit a ani ekologicky likvidovat. Reaktoplast je amorfním polymerem. Výrobky vyrobeny z reaktoplastů se vyznačují vysokou chemickou a tepelnou



Obr. 9: Kryt motoru [36].

odolností, tvrdostí a tuhostí. Použité v praxi mohou být např. jako kryt motoru, oblast kde vzniká teplo a může se vyskytnout i nějaká chemikálie, je reaktoplast ideálním materiálem. Kryt motoru značky škoda je na obr. 9.

Termoplastické elastomery (TPE) mají podobné vlastnosti jako pryž. Struktura je tvořena měkkými a tvrdými segmenty. Uzly sítě jsou tvořeny měkkými segmenty v podobě elastomerů a tvrdými segmenty v podobě termoplastu. U pryží jsou vlastnosti sítě chemické (po vulkanizaci), zatímco u TPE jsou povahy fyzikální a ty jsou vytvořeny určitým množstvím nemísitelných termoplastických segmentů rozptýlených do spojitě elastomerní fáze. TPE sice nejsou schopny dosáhnout stejných elastických vlastností jako pryže, ale jejich výhodou je možnost vstřikování na běžných strojích pro termoplasty a možnost opětovného zpracování neboli recyklace. TPE jsou využívány např. v textilním průmyslu jako výztuhy oblečení, samotné prvky oblečení nebo obuvi jak je zobrazeno na obrázku 10.



Obr. 10: Obroučky a podrážka z TPE [28,35].

2.1.1 Materiálové příměsi

Polymery jsou zřídka využívány v čistém stavu, většinou obsahují různé přísady. Pomocí přísad lze zlepšovat základní vlastnosti polymerů (zvyšovat odolnost proti oděru, pevnost, houževnatost, nebo tuhost), jejich zpracovatelnost, ovlivnit jejich vzhled, vylepšit odolnost proti korozi, teple, ohni nebo stárnutí (degradace). Hlavním významem může být i snížení ceny. Těchto zvýšených vlastností polymerů lze docílit pomocí zpracovatelských přísad. Zpracovatelské přísady usnadňují nebo i umožňují přípravu i zpracovatelnost jednotlivých polymerních směsí. Každá jednotlivá přísada ovlivňuje více či méně vlastnosti polymerních směsí. V jednoduchosti jsou popsány druhy přísad:

- Maziva především usnadňují zpracování polymerů (PVC, PS, PTFE, aj.) pro snadnější vyjímání dílů z formy nebo tekutost taveniny, ale také např. tepelnou a světelnou stabilitu či odolnost proti povětrnostním vlivům a výsledný vzhled povrchu.
- Opticky zjasňující látky pomáhají pohlcovat část UV záření, kde se pohlcená energie vyzařuje během osvětlování ve formě fluorescence (tím se rozumí o větší vlnové délce mezi 430 a 460 nm). Na denním světle je barva jasnější, zejména se tak využívá při barvení do modré, fialové a růžové barvy.
- Tepelné stabilizátory mají za úkol zpomalit degradační procesy a zlepšit tvarování a tváření za vyšších teplot. Degradace je nežádoucí jev, při nichž probíhá autooxidace (oxidace polymeru při styku s vzdušným kyslíkem), štěpení (zkracování) makromolekul (obvykle u PP), síťování (u PE) nebo dehydrochlorace (ta se v důsledku nadměrných teplot u PVC odštěpuje z řetězce makromolekuly chlorovodík).

- Pigmenty neboli barviva ve formě prášku anorganického nebo organického původu dodávají plastům požadovaný odstín. Organická barviva zachovávají průhlednost materiálu díky rozpustnosti v polymeru na rozdíl od anorganických sloučenin. Vhodný pigment musí být odolný proti běžným zpracovatelským teplotám daného polymeru a k docílení požadovaného odstínu je používáno více jak 200 pigmentů od každého druhu.

Mezi přísady patří i nadouvadla, antistatika, retardéry hoření, stabilizátory se specifickým účinkem (zabránit stárnutí), změkčovadla a jiné. Pro případy navrhnutí pevného a tvrdého skeletu s dobrou houževnatostí je více vhodné použít více zmíněné přísady, které nám pomohou zlepšit mechanické vlastnosti navrhovaných dílů.

Polymery jsou děleny i podle dalších kritérií: původu, chemických reakcí a jejich přípravy, chemické příbuznosti, složení, molekulární struktury nebo podle uspořádání makromolekul na nadmolekulární úrovni jak můžete vidět v tabulce 3, která strukturálně zobrazuje jednotlivé závislosti.

Přísady zpracovatelské se snaží převážně zjednodušit nebo zlepšit zpracování polymerů, kdežto plniva v podobě prášků nebo částic malých rozměrů (kuličky), anebo vláken o různých délkách vylepšují fyzikální vlastnosti po zpracování. Kompozitními materiály jsou označovány právě polymerní materiály s plnivem a jejich materiálová struktura, která vznikla spojením dvou i více materiálů s odlišnými vlastnostmi. Jako plniva jsou používány:

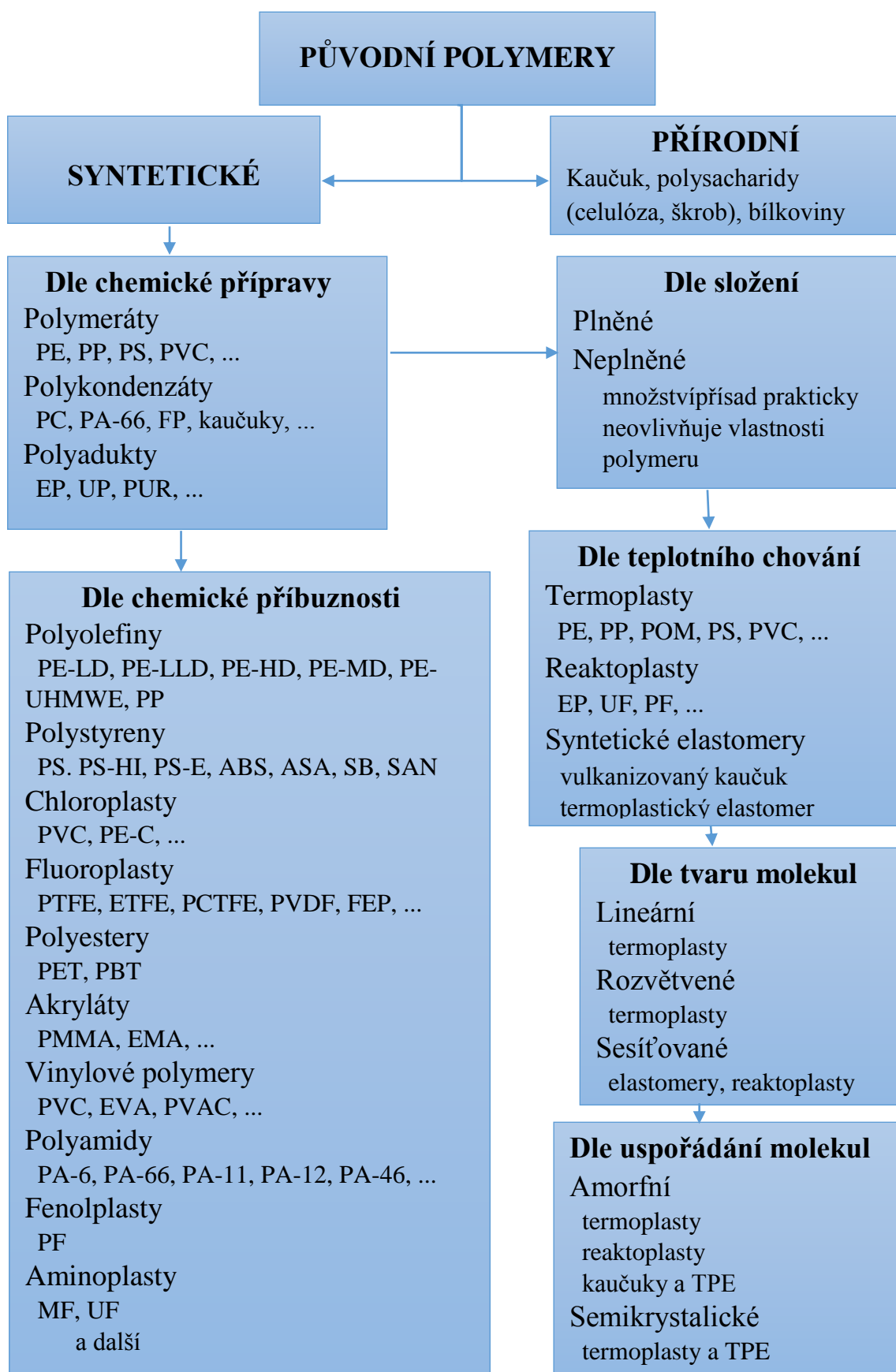
- Vytuzující plniva, zvyšující rázovou houževnatost polymerů doprovázenou i zlepšením mechanických charakteristik jako je tuhost, odolnost k toku za studena, tvarovou stálost a pevnost. Naopak ohebnost, tažnost, smrštění a mezi kluzného stavu s výjimkou uhlíkových vláken je snížena. Mezi populární plniva patří skleněná vlákna, potom také uhlíková vlákna, vláknité monokrystaly kovů, vlákna z nerezových ocelí, kysličníky kovů a karbidů, titanové vlákna alkalických kovů, a jiné (tab. 4). Kompozitní materiály s dlouhými vlákny (10 až 16 mm) mají oproti těm s krátkými vlákny (~ 3 mm) lepší mechanické vlastnosti a vrubovou houževnatost. Také sníženou průtažnost, méně tečou za studena a jsou velmi stálé při vyšších teplotách i ve velkém vlhku nebo teplém klimatu. Největší význam z oblasti polymerních kompozitů získalo uhlíkové vlákno, to je používáno ve velkém zastoupení v leteckém průmyslu. Plášť letadla (na obr. 11) je tvořen z 50 % kompozitních



- vrstevnatý kompozit – laminát
- uhlíkový vrstevnatý kompozit (sandwich)
- skelná vlákna
- hliník
- hliník / ocel / titan

Obr. 11: Rozložení kompozitu na letadle [2].

Tab. 3: Základní schéma rozdělení polymerů.



Tab. 4: Rozdělení na částicové a vláknité plniva.

Částicové plnivo	uhličitan vápenatý	oxidy křemíku	skleněné kuličky o velikosti 5 až 500 µm	skleněný prášek	mleté minerály: slída, břidlice, kaolin, křída	mletý talek (mastek)	dřevitá moučka	mikroskopické částice kovů, apod.
Vláknité plnivo	uhlíková vlákna	skleněná vlákna	minerální vlákna	kovová vlákna	aramidová vlákna	přírodní vlákna		

materiálů a dalších materiálů jako ocel (10 %), titan (15 %), hliník (20 %) a ostatní. Hojně je také vyskytován v automobilovém průmyslu, hlavně u závodních supersportů. Avšak šetrnějším způsobem k životnímu prostředí je nově zavedený trend v oblasti polymerních kompozitů a to náhrada skelných vláken přírodními. Přírodní vlákna mají minimální abrazivní účinky a to při zpracování zlepšuje životnost zařízení. Přírodní vlákna (NF) mohou navlhát, mají menší rozměrovou stabilitu a degradaci z oxidace. Vhodné je používat je v automobilovém průmyslu, v čalounictví, a v dalších odvětvích.

- Částicová plniva zvyšují tuhost, pevnost a tepelnou odolnost, obecně zvyšují viskozitu taveniny (to zhoršuje její tekutost). Specifické typy plniv ke zlepšení kluzných vlastností jsou částicové pojiva (grafit, MoS₂), ty dále snižují povrchový a vnitřně izolační odpor. Mezi částicové plniva (tab. 4) lze zařadit např. skleněné mikrokuličky (balotina), kaolin, talek (mastek), mikromletý křemen, vápenec a další minerály. Samozřejmě také saze, koks, aerosol, kysličníky kovů, sírany, sirníky, slídu, práškové kovy, dřevo nebo polymerní prášky. V tabulce 5 jsou používané zkratky některých vybraných plniv.
- Nanoplňniva jsou velmi blízké svou velikostí molekule termoplastické matrice (v nanometrech). To je výrazná schopnost spojení matrice a plniva, a to při interakci mezi částicí a molekulou vytváří spojenou oblast na povrchu částice, kde znemožňuje pohyb příslušné polymerní matrice. Nanočástice zlepšují mechanické vlastnosti polymerní matrice, lze redukovat hmotnost konkrétního výrobku díky snížení nutných přísad k dosažení požadovaných kompozitních materiálů v porovnání s tradičními plněnými plasty. Mezi výhody se řadí plnohodnotná náhrada částicových minerálních i vláknitých plniv, dokonce i retardérů hoření, nepropustnost, odolnost vůči navlhavosti a chemikáliím, zvýšení lesku a jakosti povrchu.

Tab. 5: Používané zkratky a druh plniv.

Zkratka	Název plniv	Zkratka	Název plniv
CD	uhlíkové prášek	MD	minerální prášek
CF	uhlíkové vlákno	MF	minerální vlákno
GD	skleněný prášek	MX	minerální plnivo bez specifikace
GB	skleněné kuličky	NF	přírodní vlákno
GF	skleněné vlákno	P	slída
GX	skleněné plnivo bez specifikace	Q	oxid křemíku
K	uhličitan vápenatý	RF	aramidové vlákno - nejznámější Kevlar
MD(x)	kovový prášek	T	talek - minerální plnivo na bázi křemičitanu
MF(x)	kovové vlákno		

2.1.2 Rozdělení podle aplikace [2], [10], [11], [12], [13]

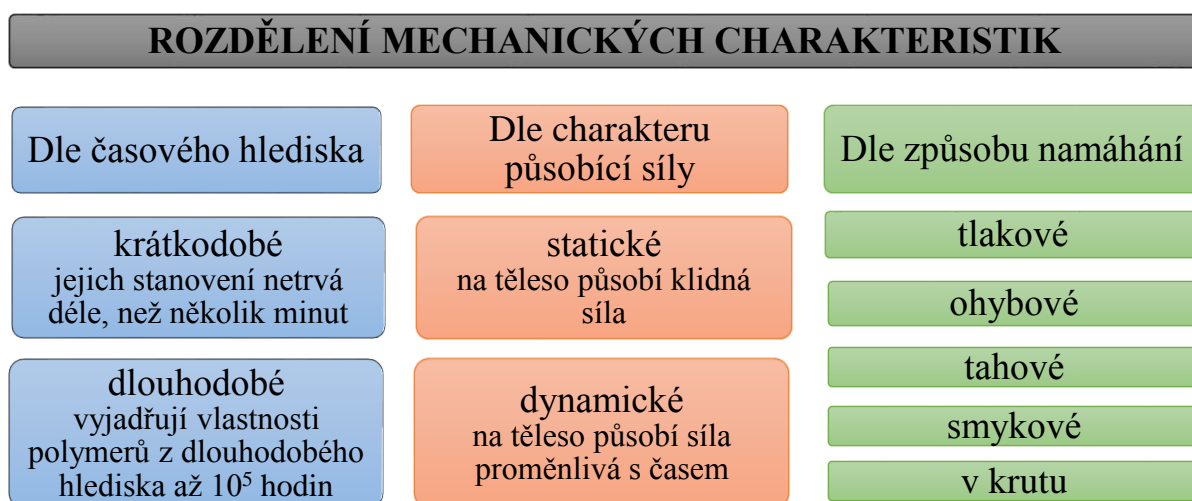
Podle aplikace a podle konstrukčních složitostí vyráběných dílů, mohou být plasty dále rozděleny do třech skupin:

- Plasty pro široké použití (neboli komoditní plasty), do kterých patří největší objem výroby a spotřeby, a které jsou zároveň ze všech polymerů nejlevnější. Řadí se sem polyolefiny (PE, PP), polyvinylchlorid (PVC), polystyrénové hmoty (PS), močovinoformaldehydové (UF) a fenolformaldehydové hmoty (PF).
- Plasty pro inženýrské aplikace známé jako konstrukční, které vydrží vyšší namáhání. Mezi tyto konstrukční plasty patří terpolymer ABS (TER – ABS je složen ze tří monomerů - akrylonitrilu, butadienu a styrenu, proto je definován jako terpolymer), polyamidy (PA), polykarbonáty (PC), polymethylmetakryláty (PMMA), polyoximetylen (POM), polyuretan (PUR), polyfenylénoxid (PPO). Kopolymery styren-akrylonitril (SAN), polymer ASA, epoxidové (EP) a polyesterové (UP) pryskyřice.
- Poslední skupinou jsou plasty pro špičkové aplikace z anglického významu HIGH-TECH. Tyto plasty mají především dobrou odolnost proti vysokým teplotám, do skupiny lze zařadit polyfenylénsulfid (PPS), polysulon (PSU), tetrafluoretylén (PTFE), polyimidy (PI) a jiné.

2.2 Mechanika plastů [2], [5], [14], [15]

Při navrhování součástí z plastu, konkrétně v tomto případě nastavitelné brusle, je zapotřebí znát hlavně mechanické vlastnosti používaných materiálů. Jejich životnost, teplotní rozsah jak pro zpracování, tak pro používání jsou zapsané v materiálových listech, které jsou stejné jak u jiných konstrukčních materiálů. Prakticky je potřeba znát 4 vlastnosti (pružnost, pevnost, plasticita a houževnatost), to však nejsou jediné vlastnosti, které lze získat měřením vzorků materiálu. Mnohem více materiálových charakteristik je udáváno v materiálovém listě v příloze č. 2. Tyto vlastnosti jsou stanovené experimentální metodou na normalizovaných zkušebních tělesech. Tělesa jsou vyrobena za předepsaných podmínek z granulového nebo práškového polymeru vstřikováním, lisováním nebo odléváním (hlavně reaktoplasty). Zkušební tělesa lze stanovit i na hotových výrobcích nebo polotovarech pomocí obrábění. Jakmile je vytvořené těleso v daném tvaru a rozměru, musí se dodržet podmínky měření, aby byla zaručena opakovatelnost měření. Mechanické charakteristiky mají několik různých hledisek, např. statické nebo dynamické, krátkodobé nebo dlouhodobé, tak i tlakové, ohybové, tahové, smykové, popřípadě krutové jak zobrazuje tabulka č. 6.

Tab. 6: Rozdělení mechanických charakteristik.



Obecná podstata materiálových vlastností jako je pružnost, pevnost, plasticita, houževnatost, tvrdost a tvárnost je:

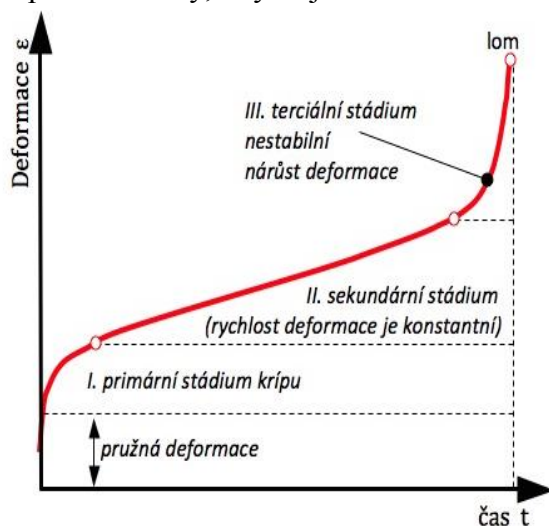
- Pružnost materiálu je elastická vlastnost, při které působí vnější síly deformaci, která se po odlehčení (odstranění) sil vrátí do původního tvaru a velikosti.
- Pevnost materiálu je schopnost odolávat proti vnějším silám.
- Plasticita je vlastnost materiálu odolávat trvalé deformaci vyvolané vnějším účinkem sil bez porušení.
- Houževnatost je schopnost materiálu přetrvat při ohýbání a nárazech vcelku, bez tvorby jakýchkoliv trhlin, opakem houževnatosti je tedy křehkost.
- Tvrdost (měkkost) je vlastnost, vyjadřující odolnost tělesa proti vnikání cizího tělesa do jeho povrchu. Experimentální zkoušky jsou podobné jako u kovů.

- Tvárnost je závislá na vnitřní stavbě látky, chemickém složení, teplotě tvárného materiálu a druhu tvářecího procesu. To ovlivňuje schopnost měnit tvar při působení vnějších sil bez porušení celistvosti.

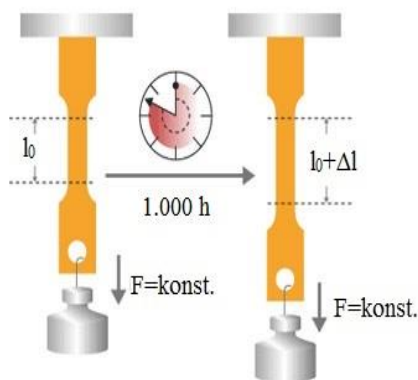
U polymerů je deformace vždy tvořena složkou pružnou i plastickou a navíc i deformací zpožděně elastickou (viskoelastickou). Tento průběh lze jednoduše vyzkoušet u houževnatých materiálů, kde je těleso vystaveno za normální teploty stálému zatížení. Na deformační křivce (obr. 12) lze pozorovat, jak vlivem zvyšující se deformace její rychlost klesá v závislosti na čase. Tento stav je označován jako tečení za studena, ale odborně se tato vlastnost nazývá kríp. Kríp není jediným důsledkem polymeru při viskoelastickém chování. Přeruší-li se napětí po určité době, těleso se snaží dostat do původního nedeformovaného stavu. Tento děj se označuje jako elastické zotavení nebo zpětný kríp.

2.3 Zkušební metody [2], [7], [13]

V této kapitole jsou popsány některé vybrané experimentální zkoušky pro polymery, definice a průběh měření. Jelikož teplota okolí výrazně ovlivňuje některé polymery, musí být přesně stanovené podmínky měření. Jak už bylo napsáno v předcházející kapitole o možnostech deformace polymerů při dlouhodobém zatížení, lze tento jev měřit pomocí krípkové zkoušky, kdy se jedná o tečení a relaxaci napětí.



Obr. 12: Obecná krípková křivka [2].



Obr. 13: Princip krípkové chování v tahu [2].

Kríp u plastů udává životnost konstrukční součásti. Krípem (tečením za studena) je dána změna rozměru tělesa při dlouhodobém statickém zatěžování (tlaku, tahu nebo ohybu) konstantní silou (napětím) při dané konstantní teplotě. S narůstajícím časem roste i deformace. Tato deformace je závislá zejména na molekulární a nadmolekulární struktuře plastů, teplot (tyto teploty jsou významné nad T_g), na aditivech, většinou ve formě skelných vláken, deformaci dále ovlivňuje vlhkost a velikost zatížení. Metoda se experimentálně stanovuje zkouškou tahu nebo ohybu při tříbodovém zatížení.

Zkouška tahem se provádí zavěšením zkušebního tělesa do vodorovné desky, na počátku je nutné znát rozměr (délku) tělesa bez zatížení. Po zatížení se těleso prodlouží o počáteční deformaci, při zachování stejného napětí po dobu testu např. 1000 h se projeví tečení materiálu vyvolané konstantním ztížením v závislosti na čase. Na obrázku 13 jsou zobrazeny 2 stavy jednoho zkušebního vzorku. Počáteční prodloužení po zatížení je označeno l_0 a Δl je prodloužení při aktuálním čase a

konstantním napětí. Kríповý modul je modul materiálu za daného napětí a teploty během určitého časového úseku a lze jej vyjádřit pomocí vztahu (2. 1).

$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\text{MPa}] \quad (2. 1)$$

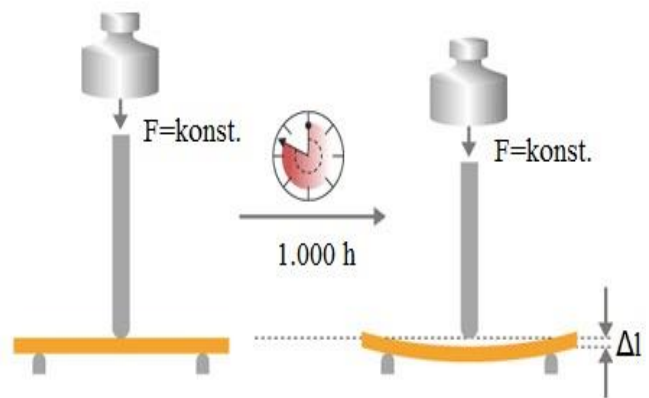
kde: E_c – kríповý modul [MPa]

σ – napětí [MPa]

ε – deformace vzniklá tečením [-]

Běžně se vzorky testují v normalizovaném prostředí, ale pokud je vyžadováno zjištění schopností materiálů za vyšších teplot, lze tyto parametry nastavit jako výchozí.

Kríp v ohybu se provádí při tříbodovém zatížení. Upřednostněný rozměr zkušebního tělesa na ohyb je 80x10x4 mm (dle ČSN EN ISO 178), vzdálenost pro tento vzorek je 64 mm a napětí se volí tak, aby průhyb mezi nimi nebyl větší než 10 % vzdálenosti mezi podpěrami. Měření probíhá tak, že se těleso položí mezi dvě podpěry a zatíží se konstantním napětím po určitou dobu např. opět 1000 h (obr. 14). Průhyb je zaznamenáván automaticky a/nebo kontinuálně, je potřeba zvolit měřicí časy pro zaznamenání průhybu kríповé křivky. Vhodné je používat doporučené časové rozmezí pro měření: 1 min, 3 min, 6 min, 12 min, 30 min; 1 h, 2 h, 5 h, 10 h, 20 h, 50 h, 100 h, 200 h, 500 h, 1000 h, atd. Získané hodnoty se dosadí do vzorce pro výpočet kríповého modulu v ohybu (2.2) ve zvoleném časovém okamžiku zkoušky.



Obr. 14: Princip kríповého chování v ohybu při tříbodovém zatížení [1].

$$E_{co} = \frac{L^3 \cdot F}{4b \cdot h^3 \cdot S_t} \quad [\text{MPa}] \quad (2.2)$$

kde: E_{co} – kríповý modul v ohybu [MPa]

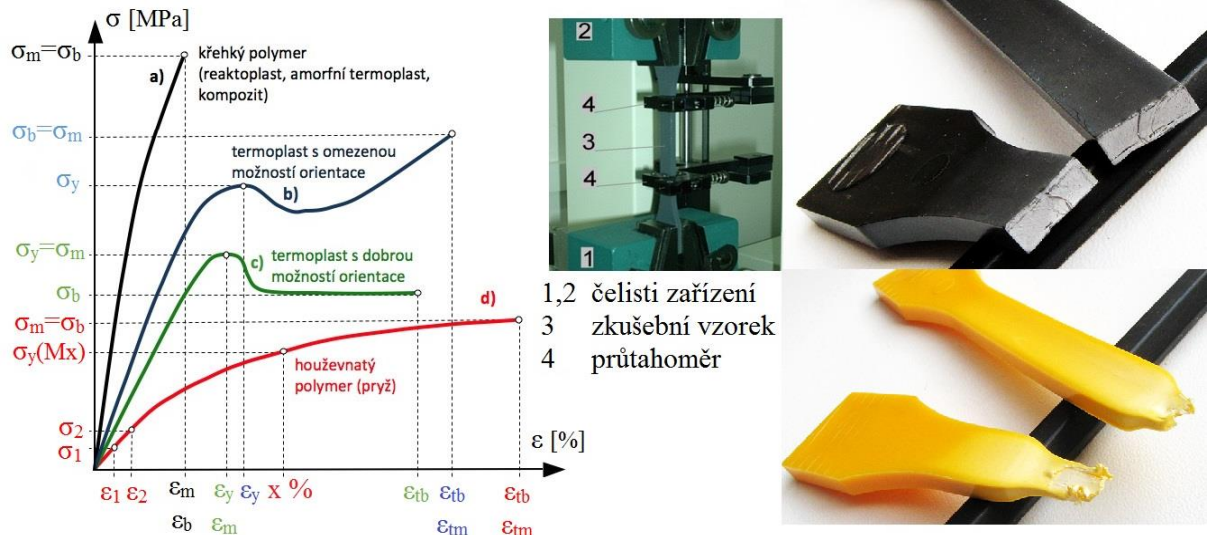
L – vzdálenost mezi podpěrami zkušebního tělesa [mm]

F – použité zatížení [N]

b – šířka zkušebního tělesa [mm]

h – výška zkušebního tělesa

Stejně jako u kovů se tahová zkouška provádí na zkušební tělese, které je vystaveno jednoosému namáhání v tahu. Průběh deformace neboli poměrné prodloužení v závislosti na normálovém napětí se zapisuje. Tímto zápisem se vytvoří deformační křivka, ze které lze určit vlastnosti materiálu. Vlastnosti nejsou ve všech místech stejné, proto je napětí v tahu rozloženo po průřezu nerovnoměrně. Chování křehkých a houževnatých materiálů je zobrazeno na obr. 15. V grafu křivka A vyznačuje křehký polymer (reaktoplast, amorfni termoplast, kompozit), křivka B termoplast s omezenou možností orientace, křivka C termoplast s dobrou možností orientace a nakonec křivka D houževnatý polymer (pryž). Zkušební tělesa jsou ve tvaru oboustranných lopatek, tzv. osmiček, tento tvar a rozměr je



Obr. 15: Výsledné křivky po tahové zkoušce a zobrazení lomu [2], [35].

přesně definovaný normou pro konkrétní materiál. Při sledování průběhu deformace kaučuků lze použít zkušební těleso ve tvaru kroužků a pro fólie či desky se používá ve tvaru pásků. Dále jsou pevnostní charakteristiky, jako mez pevnosti, napětí při přetržení a napětí na mezi kluzu (pokud není, určí se smluvně).

- Mez pevnosti (σ_m) je maximální napětí v tahu. Je definovaná rovnicí (2.3) největší síly (F_{max}) naměřené v průběhu zkoušky na počátečním průřezu vzorku. Hodnota mezi pevnosti se při standardní teplotě okolí pohybuje v rozmezí od 15 MPa do 100 MPa (u vyztužených plastů do 170 MPa) a u běžných elastomerů je mnohem nižší, něco kolem 7 MPa a max. do 28 MPa. Tato hodnota nemusí vždy souhlasit z bodem přetržení zkušební tělesa.

$$\sigma_m = \frac{F_{max}}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (2.3)$$

kde: σ_m – mez pevnosti [MPa]

F_{max} – maximální síla naměřená při zkoušce [N]

S_0 – počáteční průřez vzorku [mm²]

- Napětí na přetržení (σ_y) je napětí, kdy došlo k přetržení zkušební tělesa. Napětí na přetržení je většinou shodné s mezí pevnosti u křehkých polymerů (amorfni termoplastů, reaktoplastů a kompozitů).

- Napětí na mezi kluzu (σ_b) je v bodě, kdy vzniká plastická (trvalá) deformace a začíná se tvořit tzv. krček (na obr. 15 je zobrazen žlutý krasten, na kterém před utržení vznikl krček oproti černému krastenu, kde je lom křehký). Kluzové napětí je považováno za horní hranici přípustného zatížení při provozu, aby se zamezilo vzniku trvalých deformací.

Modul pružnosti (E) vyjadřuje tuhost materiálu. Čím vyšší hodnota modulu pružnosti, tím je vyšší jeho tuhost. Velikost modulu pružnosti (E) se stanovuje z deformačních křivek, kde je zjevná lineární závislost napětí (σ) na poměrném prodloužení (ε). V této oblasti platí Hookův zákon, který popisuje závislost deformace přímo úměrné na napětí materiálu. Měří se v malém rozmezí pružných deformací, kdy po odlehčení vymizí. Bod, ve kterém dochází ke změně zakřivení od lineární křivky, se označuje jako mez úměrnosti a v tomto bodě končí Hookův zákon. Úpravou rovnice Hookova zákona se dá získat rovnice pro modul pružnosti (2.4). Kvůli viskoelastickému chování u plastů, které způsobuje nelineární průběh, i v počátečních oblastech se zjišťují dvě napětí, jež odpovídají hodnotám poměrného prodloužení $\varepsilon_1=0,05\%$ a $\varepsilon_2=0,025\%$. Tento modul se pak označuje jako sečný modul pružnosti E_t (2.5).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\text{MPa}] \quad (2.4)$$

kde: σ – naměřené napětí [MPa]

ε – poměrné prodloužení materiálu [-]

E – modul pružnosti [MPa]

Sečný modul pružnosti se nejvíce vyplatí u houževnatých materiálů, kde dochází k tomuto efektu.

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad [\text{MPa}] \quad (2.5)$$

Ohybové charakteristiky polymerů jsou nedílnou součástí při namáhání polymerních dílů v ohybu. Ohybové zkoušky se praktikují převážně na konstrukčních polymerech, kde jsou materiály vyztužené plnivy. Průběh zkoušky se provádí na normou předepsaných zkušebních hranolech, které musí být bez jakýchkoliv povrchových vad, musí být zaručená rovnoběžnost prohnutých ploch. Vzorek se položí mezi dvě podpory jako nosník, rychlost prohýbání trnem je konstantní a její vyvolané napětí je takové, aby byla rychlost deformace co nejblíže 1 % za minutu. Z druhé strany tělesa se umístí nejlépe automatické záznamové zařízení, poskytující úplnou křivku závislosti v ohybu nebo průhybu. Pro výpočet pevnosti v ohybu (σ_{fM}) se získaný maximální ohybový moment ($M_{o,max}$) a průřez modulu v ohybu (W_o) dosadí do rovnice (2.6). Průběh zkoušky je znázorněn na obr. 16.

$$\sigma_{fM} = \frac{M_{o,max}}{W_o} \quad [\text{MPa}] \quad (2.6)$$

kde: σ_{fM} – pevnost v ohybu [MPa]

W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3]

$M_{o,max}$ – maximální ohybový moment [MPa]

$$M_{o,max} = \frac{F_{max} \cdot L}{4} \quad [N \cdot mm] \quad (2.7)$$

kde: F_{max} – maximální síla způsobená strojem [kN]

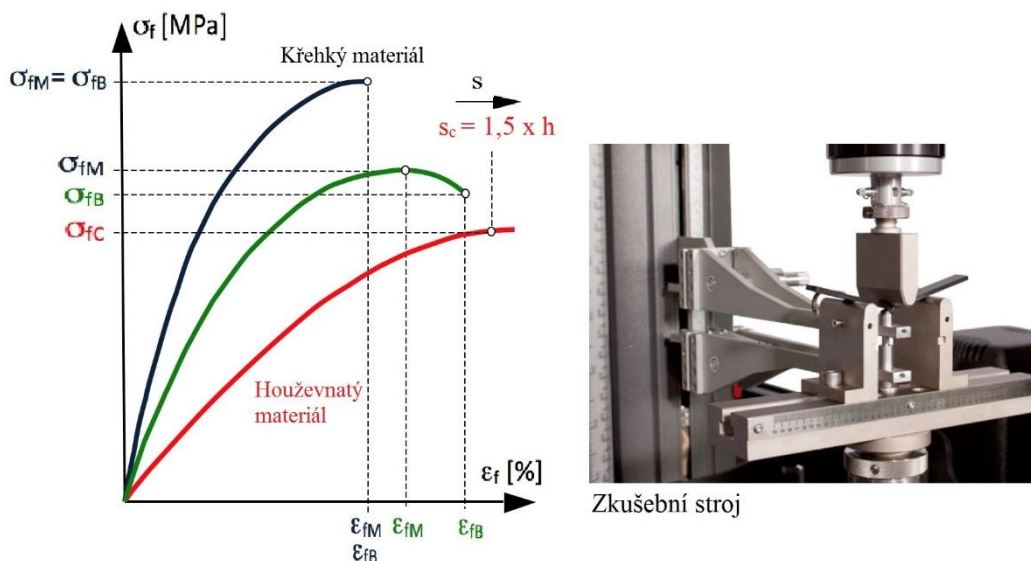
L – vzdálenost podpěr [mm]

$$W_o = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad [mm^3] \quad (2.8)$$

kde: b – šířka měřeného vzorku [mm]

h – výška měřeného vzorku [mm]

Při úpravě a dosazení do rovnice (2.6) se získá konečný vztah (2.9)



Obr. 16: Průběh ohybové zkoušky při třibodovém zatížení na ohýbacím stroji [2].

$$\sigma_{fM} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{max} \cdot L}{b \cdot h^2} \quad [MPa] \quad (2.9)$$

Výpočet kríповého modulu v ohybu ve zvoleném okamžiku zkoušky:

$$E_{to} = \frac{F \cdot L^3}{4b \cdot h^3 \cdot s_t} \quad [MPa] \quad (2.10)$$

kde: F – použité zatížení [N]

s_t – průhyb střední části v čase „t“ [mm]

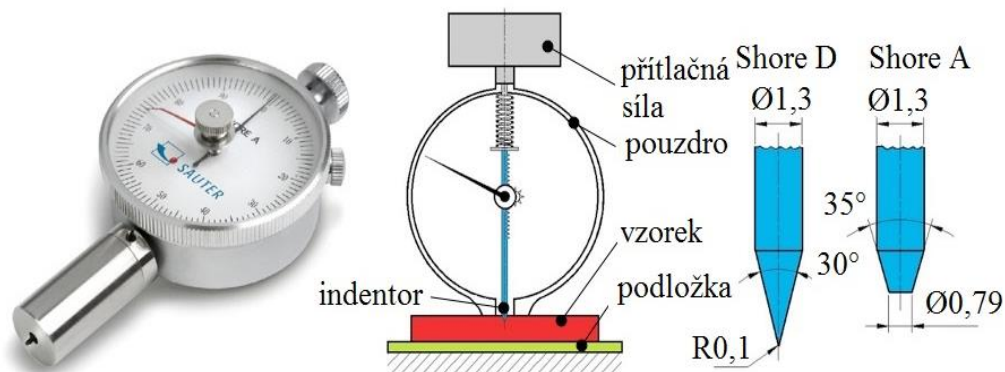
Poměrné prodloužení při krípu v ohybu:

$$\varepsilon_{to} = \frac{6S_t \cdot h}{L^2} \quad [-] \quad (2.11)$$

Mezi pevnostní charakteristiky se řadí tlaková, střižová zkouška a lomová houževnatost (křehkost). V povrchové oblasti, kde se zjišťuje tvrdost polymeru, která vyjadřuje odpor proti vnikání jiného, tvrdšího tělesa do materiálu, používáme několik metod měření. Zkouška se provádí jak u materiálu s nejnižší tvrdostí (kaučuky), tak u reaktoplastů, které vykazují nejvyšší tvrdost. Měří se hloubka vniknutí kalibrovaného tělíska do polymeru po stanovenou dobu a zpravidla při zatížení, protože je materiál elastický nemůže se deformace měřit po odlehčení. U kovů se provádí odečítání až po odlehčení, protože u kovů

zůstává plastická deformace. U plastů se zahrnuje do výpočtu jak plastická tak elastická deformace. Pro efektivní měření tvrdosti je nutné zvolit vhodnou metodu, každá totiž má své určité pravidla a různé tvary vnikajících tělísek tak i materiálů. V praxi jsou používány metody vtláčování kuličky, metoda Rockwell, metoda Shore, metoda IRHD a jiné.

Ve sportovním odvětví, konkrétně u in-linových koleček je využíváno metody Shore A a Shore D. Principem je vtláčování hrotu ve tvaru komolého kužele (metoda Shore A) nebo kužele s kulatým vrchlíkem (metoda Shore D) do povrchu měřeného polymeru silou způsobující ocelovou pružinou (obr. 17). Metodou Shore A se zjišťují tvrdosti měkkých polymerů (velikost přitlačné síly je 10 N) a metodou Shore D tvrdých polymerů (o velikosti přitlačné síly 50 N). Shore má definovanou stupnici od 0 do 100, jež značí míru tvrdosti. Pokud tvrdoměr Shore A ukáže hodnotu vyšší než 90 je zapotřebí použít tvrdoměr Shore D a naopak ukáže-li se při měření s tvrdoměrem Shore D hodnota nižší než 20, použije se tvrdoměr vhodný pro měkké polymery. Při měření se zjišťuje okamžitá tvrdost, která se získá odečtením hodnoty do 1 s po dotyku vtláčovaného tělesa se vzorkem, nebo tvrdost po 15 s.



Obr. 17: Průběh zkoušky tvrdosti a tvary hrotů tvrdoměrů [2].

2.4 Volba materiálu in-line brusle [2], [9], [10], [11], [12], [13], [14]

Volba materiálu v tomto ohledu není příliš jasná, firmy si své výrobní složení nechávají pro sebe. Při volbě materiálu se volilo podle mechanických vlastností doporučeného složení. Pro přesnou volbu materiálu by musely být udělány výzkumné zkoušky pevností a chemického složení. V následující kapitole jsou zmíněny materiály k doporučení pro výrobu daných partií a zvolena nejprůzračnější verze.

2.4.1 Brzdící guma [2],[9]

Brzdící element je z měkčího materiálu, doporučená tvrdost je řádově o 10-15 menší než tvrdost koleček, aby nedocházelo k jejich silnému prodirání nebo pálení samotné gumy třením. Tvrdost koleček je udávána ve stupnici Shore A, na hladkém povrchu (asfaltu) se dělí na dvě skupiny. Jedna tvrdší od 78A do 82A a druhá měkčí od 72A do 76A. Volí se mezi dvěma materiály:

- Přírodní kaučuk (NR) vzniká vulkanizací při teplotách od 140°C do 160°C. Tvrdost kaučuku ovlivňují atomy síry, které tvoří příčné vazby (C-S-C). Běžně se používá 2÷3 % síry, pro polotvrdou pryž mezi 10 a 20 % síry a pro tvrdou pryž (ebonit) více jak 20 %, to dává rozsah tvrdostí Shore A od 25 do 100. Hlavními vlastnostmi je

vysoká pevnost, tažnost a elasticita a dobrá odolnost vůči dynamickému namáhání. Pevnost v tahu přírodních kaučuků měřené při 20°C je mezi 25 a 30 [N/mm³].

- Butadien-styrenový kaučuk (SBR) je významným syntetickým kaučukem s vlastní molekulární stavbou podobné NR a připravuje se kopolymerační reakcí butadienu (70 až 78%) a styrenu (22 až 30%). Dosahuje tvrdostí Shore A od 40 do 100 při mezi pevnosti v tahu 25 [N/mm³]. SBR má dobré fyzikálně-mechanické vlastnosti a odolnost mechanickému namáhání. Pro velmi podobné vlastnosti přírodním kaučukům, je zvoleno na brzdící element SBR, protože jeho výrobní náklady jsou značně nižší.

2.4.2 Jízdní kolečka [2], [10], [11], [13]

Jízdní kolečka tvoří hlavní část, která má styk z vozovkou, pokud je zvolena tvrdší směs koleček, dosahují pak vyšších rychlostí, ale mnohem více přenáší vibrace od podložky. Pro větší pohodlí z jízdy se většinou volí měkkší směs, která má tlumící efekt vibrací při jízdě na nerovném povrchu. Dochází pak, ale k většímu opotřebení samotných koleček. Volba koleček je na zkušenostech jezdce a i na způsobu užití bruslí. Pro výrobu koleček se používají směsi PUR/PVC/TPE-U (polyuretanové elastomery / polyvinylchloridové / termoplastické polymery na bázi polyuretanu).

- Polyuretan (PUR) může být podle struktury svých molekul termoplast, reaktoplast i elastomer. Podle velikosti ok sítě lze dosáhnout vlastností tvrdých až gumově elastických. Polyuretany mají tvrdé segmenty a ty dávají materiálu tvarovou paměť, určují tvrdost a řadu jiných vlastností. Zato měkké segmenty zajišťují tažnost a ohebnost materiálu, díky měkkým segmentům je dobrá odrazová pružnost i dobré vlastnosti za nízkých teplot. Při použití pro kolečkové brusle je zvoleno držet se daných tvrdostí zmíněných výše.

2.4.3 Tělo a podvozek brusle [2], [10], [11], [12], [13], [14], [16]

Konstrukci, která bude zatěžována různými mechanickými i chemickými vlivy je zapotřebí navrhnout tak, aby byla pevná, tuhá s dobrou lomovou houževnatostí, chemicky odolná solím, vodě a základním nečistotám. Pro tyto účely jsou z přílohy 1 vybrané 4 materiály (POM, ABS, PA 6, PEEK), které svými mechanickými a fyzikálními charakteristikami byli vhodné pro použití v dané konstrukci jako hlavní materiál. Pokud by materiály nebyly dostačující, je vhodné použití přísad a plniv ve formě textilních, skelných nebo uhlíkových vláken pro zvýšení mechanických vlastností. Určité plniva je vhodné použít i pro snížení ceny. Materiální charakteristiky jsou:

- Polyéterétherketon (PEEK) je šedý krystalický polymer s velmi vysokou mechanickou pevností a tuhostí, vysokou houževnatostí, vysokou otěruvzdorností, tvarovou stálostí za vysokých teplot, vysokou únavovou pevností, a jiné. PEEK je velmi nákladný na pořízení a nároky vůči strojům, které musí být konstruované na jeho vysokou teplotu zpracování. Použití PEEKu pro konstrukci bruslí není vhodné, i přes jeho vynikající schopnosti, jeho využití je hlavně v chemickém průmyslu, nebo ve vojenské a letecké technice, kde dochází k radiacím.
- Polyamidy (PA 6) jsou velmi dobré konstrukční semikrystalické termoplasty, vznikají kondenzační polymerizací hexamethyldiaminu obsahující 6 uhlíků a kyselinu adipovou. Díky schopnosti tvořit vodíkové můstky mezi

makromolekulami, které představují velmi silnou vazbu. Výsledkem jsou velmi vysoké pevnosti a vysoké teploty tání, je velmi tvrdý, má mimořádnou otěruvzdornost a dobrou rázovou houževnatost. Kvůli vlhkosti (vysoká navlhavost), která snižuje modul pružnosti i teplotu, jsou polyamidy náchylné na kríp. Konstrukční vlastnosti lze zvýšit přidáním uhlíkových nebo skleněných vláken. Při použití 30 % skelného vlákna však dosahuje významně vyšších mechanických vlastností, při kterých by mohl být použit pro hlavní konstrukční prvek kolečkových bruslí.

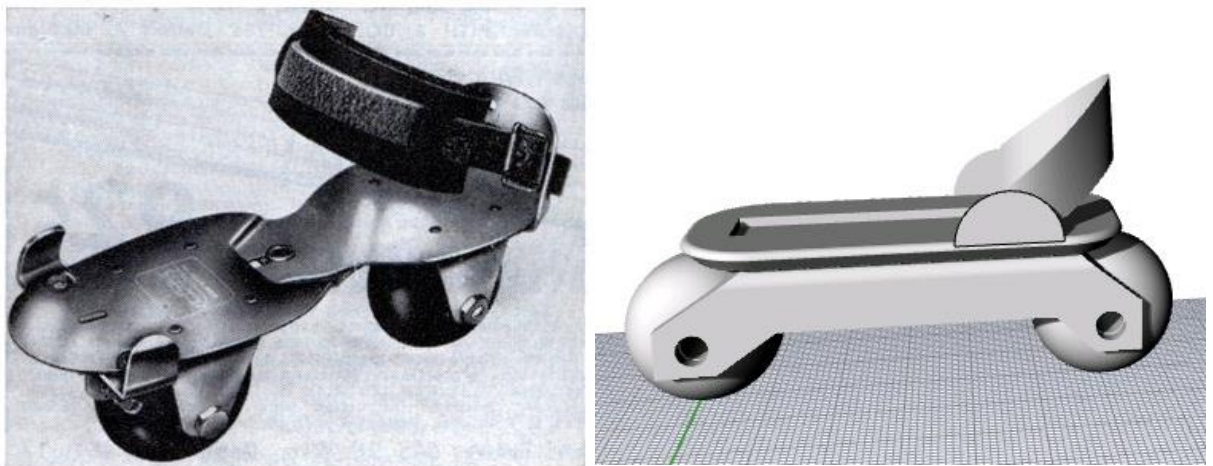
- Akrylonitril-butadien styren (ABS) je amorfni terpolymer, který má téměř dokonalou rovnováhu mezi pevností v tahu, nárazovou a otěruvzdornou odolnost, rozměrovou stabilitu, tuhost a tvrdost povrchu, mechanické vlastnosti a dobrou nárazovou houževnatost. U ABS plastů dochází působením UV záření a vzdušného kyslíku k poškození butadienového polymeru. Při tom vzniká povrchové žloutnutí výrobku a snížení jeho nárazové práce. Použitím tmavých barev nebo UV stabilizátoru lze tento jev zmírnit. Další možností je koextruze s plastem odolným proti povětrnostním podmínkám např. polyuretanem. Vhodnější vlastnosti získá přidáním 17 % skelného vlákna a přísad ke zvýšení mechanických charakteristik.
- Polyoxymethylen (POM) je semikrystalické termoplast s vysokým stupněm krystality (nad 70%). Je nazýván také polyformaldehyd či polyacetát, vyznačuje se vysokou pevností a tvrdostí a i tak si dokáže zachovat houževnatost. Rázová houževnatost je zajištěna až do -40°C , má výbornou otěruvzdornost a nízký koeficient tření. Vzhledem k přítomnosti kyslíku v makromolekule je mírně navlhavý, v základní formě nemá UV stabilizátory. Pro snížení nepříznivých jevů se používají přísady nebo plniva. Výrobky z polyoxymethylu jsou v počátku neprůhledné díky jeho vysoké krystalinitě, má však velmi dobré zabarvování pomocí přísad. Tento materiál je nejvíce vyhovující k použití, jelikož se vyskytuje ve dvou formách (homopolymer a kopolymer). Je vhodnější použít homopolymer s lepšími mechanickými vlastnostmi a horší odolností chemikáliím. Při posílení mechanických vlastností 30 % skelného vlákna se dosáhne bezpečných hodnot pro využití jako hlavní podvozek a rám kolečkové brusle.

3 VOLBA DESIGNU KOLEČKOVÉ BRUSLE [6], [18], [22], [23]

Stejně jako v historii, bylo i při tomto návrhu zvažováno jaký použít počet koleček, jejich velikost a uložení. Už při prvních skicách bylo jasné, že brusle nebude mít standardní počet koleček ani jejich šířku. Hlavní myšlenka však byla vymyslet design, který umožní rychlé nasazení na moderní sportovní obuv s nižším profilem, kterou vlastní už téměř každý člověk. Velká inspirace vzešla ze zimní jízdy na snowboardu, kde sice je stanovená obuv, ale rozmanitost bot je velká a vázání pojme většinu z nich. Vázání má 3 přezky kolem boty a opěrnou patu, která zvyšuje ovladatelnost. Zadání obsahuje pojem „nastavitelná“ to byl jeden z největších problémů. Jak zajistit vhodnou nastavitelnost. Nejprve bylo uvažováno o dvou pohyblivých částech v příčném směru v kolejnici utvořené v základové desce. Zde byl velký problém se zajištěním konstrukce a její celkové stability. I když se v dalších návrzích vracelo k této myšlence, byly návrhy i s pevným celkem, kde se nastavovala pouze jedna část a to špička brusle. Jakmile byl hotový celkový návrh, bylo zapotřebí zajistit bezpečné zastavení. Pro tuto část bylo stanoveno pár možností, ale nakonec se rozhodovalo mezi dvěma typy.

3.1 Návrh 1 kolečkové brusle [18], [22], [23],

V prvním návrhu byl zvolen počet koleček na 2 a to za předpokladu nestandardní šířky kola pro zvýšení celkové stability. Zde se hlavně spekulovalo jaké materiály použít, jak je zakombinovat do návrhu a tvaru brusle. Z dříve nabytých zkušeností z jízdy na bruslích bylo vyzorováno hlavní rozložení váhy při jízdě a při stání. Pro zajištění stability vzad je potřeba volit zadní osu kolečka mimo botu, tzn. rozvor koleček musí být větší než maximální délka nastavení brusle. Materiál se volil obecně, hlavní rám s kolečkem ze slitin hliníku a vrchní část vázání z konstrukčních plastů. Na obr. 18 je návrh vycházející z původní verze z roku 1954 se dvěma kolečky balónovitého typu, uchycených na plechovém rámu.

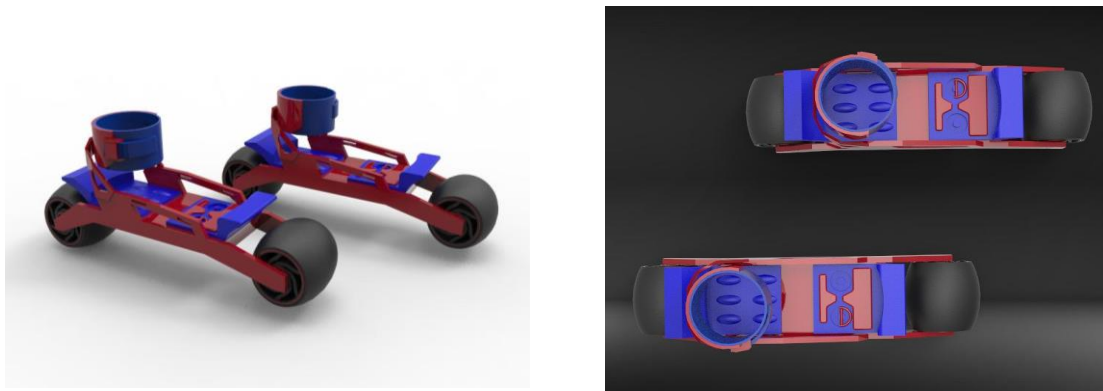


Obr. 18: Model z roku 1954 v porovnání s návrhem 1 [46].

Z prvního návrhu byly převzaty určité poznatky, které se pak později uplatnily pro finální návrh. Kolečka sice byly širší, ale v celkovém pohledu se plocha dotýkající s podložkou moc nezvětšila oproti standardní šířce (22 mm).

3.2 Návrh 2 kolečkové brusle

Ve druhém návrhu došlo k velkým změnám. Balónovitá kola byla rozšířena na soudkovitá a rám byl vytvarován do jednoho celistvého kusu. Podvozek je tedy s rámem pospolu a na něm jsou umístěny posuvné podložky, kterými se nastavuje délka boty. V zadní části je pevná patka směřující od kotníku dozadu, jako výztuž kotníku a upevnění k noze. Po stranách rámu byl vytvořen prostor pro pásky na upevnění k botě. Stabilní a obecně uznávané je upínání ve více bodech, aby bylo zajištěna co nejlepší ovladatelnost a bezpečnost jízdy. Materiál je volen obecně jen z vysoce konstrukčních plastů a pryžových výstelek kolem kotníku a na podrážce, která má tlumit otřesy způsobené vozovkou. Proporčně je výška kotníku nevyhovující, pokud

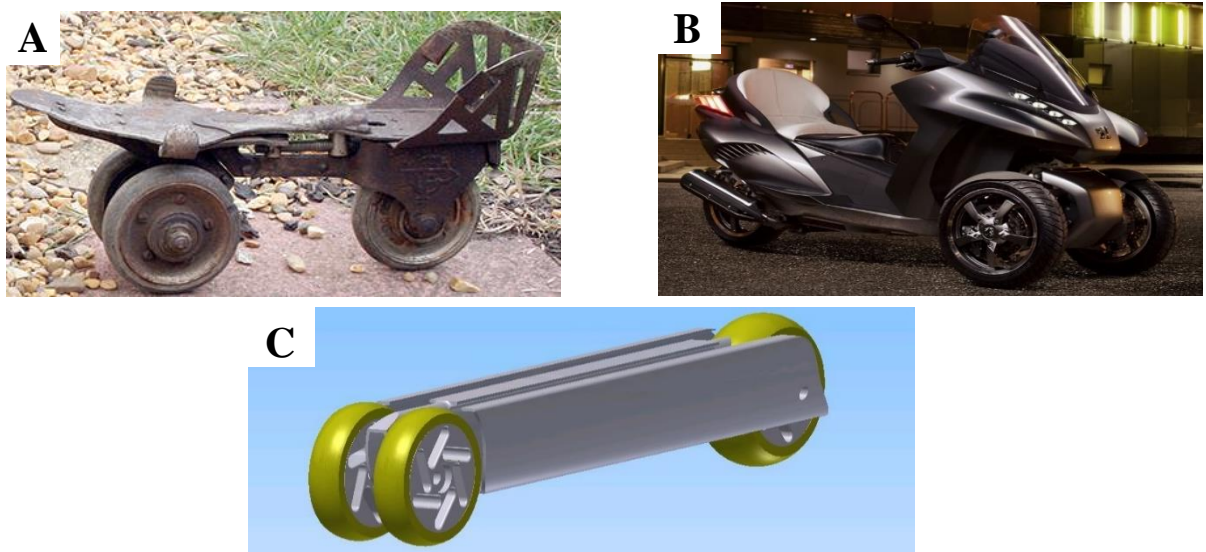


Obr. 19: Návrh 2 celistvá konstrukce se soudečkovými kolečky.

by se tento návrh ujal, musel by být nejprve upraven do správné výšky. Zobrazení na obrázku 19 bylo provedeno v programu keyshot pro lepší vykreslení odstínů a rozlišení materiálu.

3.3 Návrh 3 kolečkové brusle

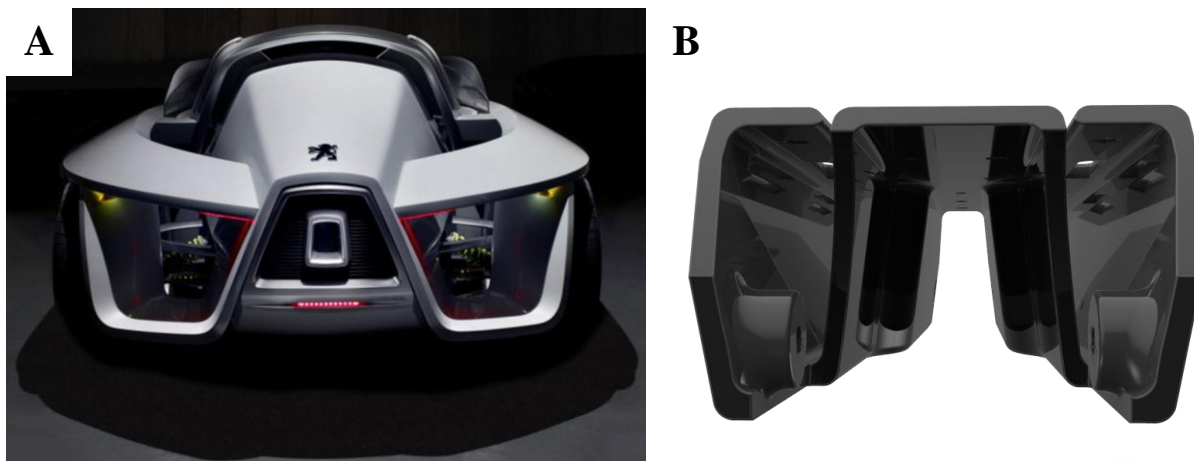
Tento návrh skončil už při navržení podvozku, ale i tak hraje významnou roli v konečném konceptu. Celková koncepce vznikla už v roce 1897 (obr. 20a), kdy Daniel Foot vyzkoušel konstrukci se dvěma kolečky vpředu a jedním vzadu. Stejného rozložení využívá hybridní motocykl Evolution 6 značky Peugeot (obr. 20b). Návrh 3 je na obr. 20c.



Obr. 20: Tříkolové podvozky [22], [41].

3.4 Návrh 4 finální kolečkové brusle

Poslední koncept spojuje prvky předchozích návrhů, které byli posunuty vpřed a vhodně zakomponovány. Při návrhu součásti se lze inspirovat v jakémkoliv odvětví jako např. historií dané součástky, tvarem designového pera, automobilovým průmyslem a jiné. Něco je vnímáno podvědomě a něco zase vědomě, ale i tak inspirace je všude kolem nás. Konstrukce profilovaného podvozku byla navržena tak, aby její vnější tvar byl čistý a hladký, ale zároveň propracovaný a netypický, podobně jako bylo zvoleno u konceptu Flux (obr. 21). Podvozek má vnitřní stěny profilované pro vyšší tuhost celé části.

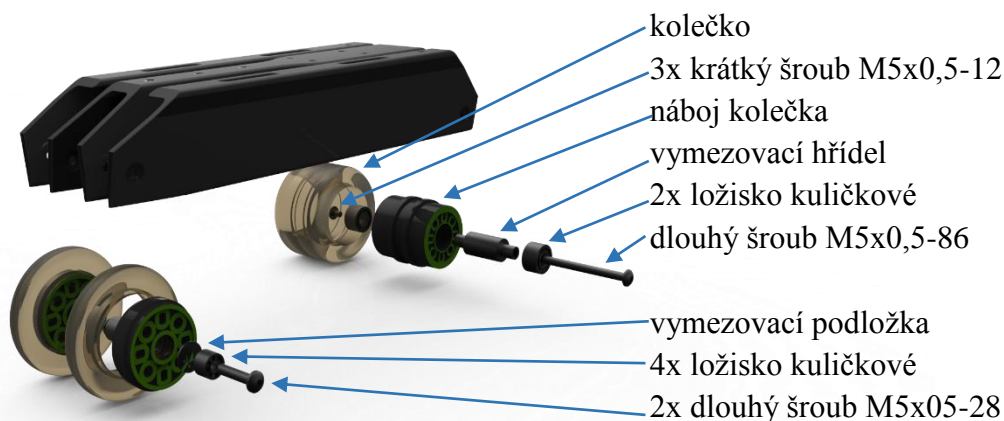


a) Peugeot Flux [29]

b) podvozek v zadním pohledu

Obr. 21: Zadní pohledy na linie podvozku.

Tento podvozek má vestavěné tři pojízdné kolečka, dvě tenčí vpředu a jedno širší vzadu (obr. 22). Při tomto rozvržení se jedná stále řadové uspořádání, jelikož šířka předních koleček

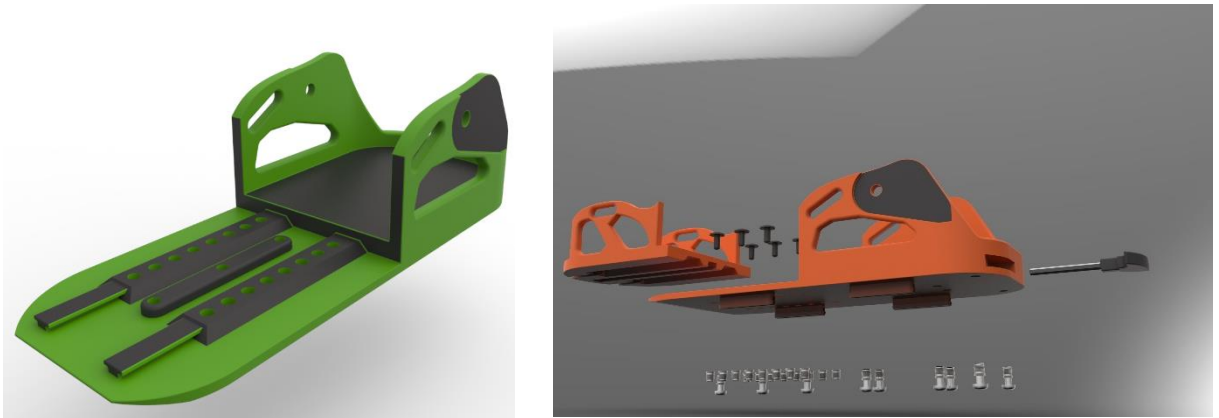


Obr. 22: Rozložený pohled na součásti podvozku.

je skoro shodná se šířkou zadního kolečka. Stabilita v přímém směru je posílena a při jízdě do stran se využívá vždy odrazové vnitřní hrany a kopírující vnější strany. V horní části podvozku jsou vytvořeny 4 otvory pro rychlé spojení s pevnou podrážkou brusle a 9 děr pro pevné spojení těchto dvou částí. Po podvozku je pevná podrážka druhou nejdůležitější částí celé brusle, do podrážky je postupně zalisováno 17 nýtovacích matic s vnitřním závitem, pro zajištění pevných spojů pomocí šroubů. 8 z nich jsou zalisované do podrážky z vrchu pro nastavitelnost špičky a zbylých 9 zespodu pro pevné spojení s podvozkem. V zadní části

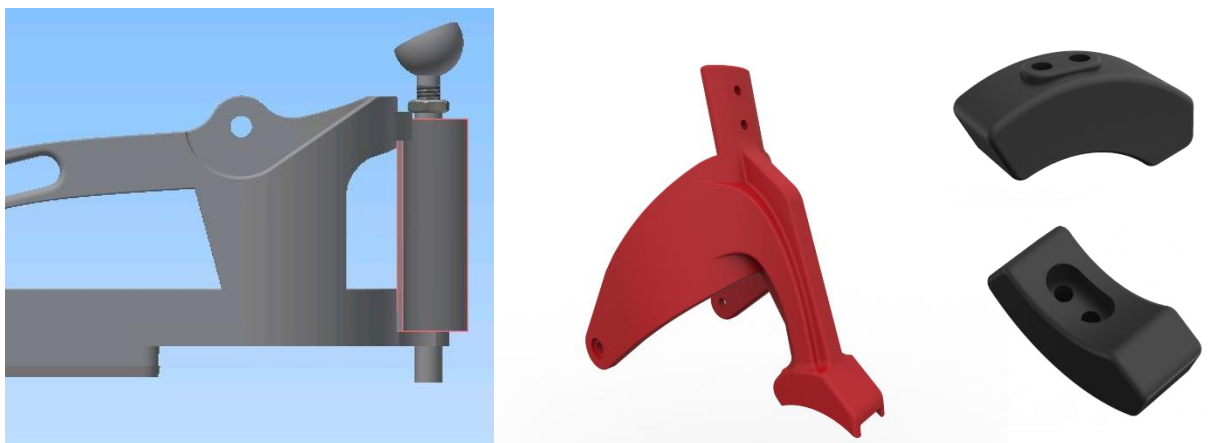
podrážky je vytvořen otvor pro vnoření univerzálního klíče na všechny šrouby, tím bude zaručena nastavitelnost, kdekoli a kdykoli je potřeba si poupravit nastavení brusle. Přední část podrážky má vedené kolejnice pro lepší nastavení posunutí špičky. Kolejnice zamezují vypadnutí ze své polohy. Pokud jsou šrouby pryč nebo jen povolené, lze ze špičkou posouvat pouze v podélném směru. Na obrázku 23 jsou zobrazeny tvary jednotlivých součástí a vedení posuvné špičky i skrytý klíč.

Postranní stabilitu a bezpečné zastavení je zajištěno rotační patkou. Volba způsobu brzdění nebyla jednoduchá, docházelo ke složitým mechanickým komplikacím, takže v konečném



Obr. 23: Pohled na hlavní systém nastavování špičky.

stavu se rozhodovalo mezi dvěma typy. První typ bylo táhlo uložené v pouzdře a přes kulový čep bylo spojeno s kotníkem (obr. 24a), naopak druhá varianta, která byla zvolena je pevný kus připevněn k rotační patce, kde míra tlaku na brzdu jde mnohem lépe regulovat (obr. 24b spolu si tvarem brzdící guma). Brzdící guma je upevněna do vybrání a stáhnuta dvěma šrouby. K zabrzdění je zapotřebí jednoduchého vysunutí jedné z noh vpřed a opřít se



Obr. 24: Porovnání dvou typů brzd pro kotníkové ovládání.

příkrčením o zadní nohu. Tím, že noha jde dopředu, lýtko se posune dozadu a tím se posune i brzda, která přitlačí rovnoměrně na zadní kolečko.

Poslední částí kolečkové brusle je výztuha kotníku s bandáží a pásky na suchý zip k dotažení boty k podrážce. Celkový konceptuální design je navržen prozatím pro 4 základní barvy červenou, zelenou, žlutou a oranžovou v kombinaci s černou grafitovou. Hlavní myšlenkou barevného spektra je, že každý díl může mít svou jedinečnou barvu. Nastavitelné kolečkové brusle se budou dát koupit jako sestavený díl s daným barevným rozpořádáním nebo po částech jako stavebnice a vytvořit si tak vlastní barevný design, který by určitě spousty lidí ocenilo. V příloze 3 je výkres sestavy a v příloze 4 graficky vykreslený návrh rozložené brusle se všemi díly obsahující jeden celek.

Aktuální sestava kolečkové brusle je vymodelována v programu Autodesk Inventor Professional 2014 pro maximální doporučené velikosti obuvi 41 (na obr. 25b), kde lze zkrátit



- a) červenočerná kombinace brusle b) zelenočerná kombinace s vloženou botou
c) žlutočerná verze v pozici na brzdě d) spodní pohled na podvozek

Obr. 25: Finální design kolečkové brusle v pohledech.

délku o 36 mm. V ukázkových případech jsou pásky na suchý zip a vložená bota pouze orientační a neslouží jako součást výroby. Díly jako šrouby, nýty, ložiska, textilní pásky a polstrování bude vyráběno externě ve specializovaných firmách. Návrh výroby plastových dílů je popsán v kapitole 4. Grafické vykreslení bylo provedeno v programu keyshot 6.

4 ZPRACOVÁNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY [1], [5]

V kapitole 4 je popsáno jak by se mohla kolečková brusle vyrábět, jelikož jsou zvoleny jen dva materiály, které mají vlastní zpracovatelskou technologii, popíšeme hlavně tyto dvě. Technologie zpracování je kritickou částí celého procesu výroby, při kterém se výrazně ovlivňuje cena výrobku a produktivita. Proces je do větší míry zautomatizován, ale i tak zavedení výrobku do výrobního procesu je velmi náročný, jak časově tak i finančně. Nejdůležitější je samotná příprava surovin a jejich skladování, které jsou ve formě prášků, granulí nebo kapalin. Celkové rozhodnutí zpracování surovin je silně závislé jednak na technologických vlastnostech plastu, funkci daného výrobku, stanovené životnosti, tak především na jeho tvarové složitosti. V technologickém procesu a jeho zpracování rozdělujeme 3 základní skupiny:

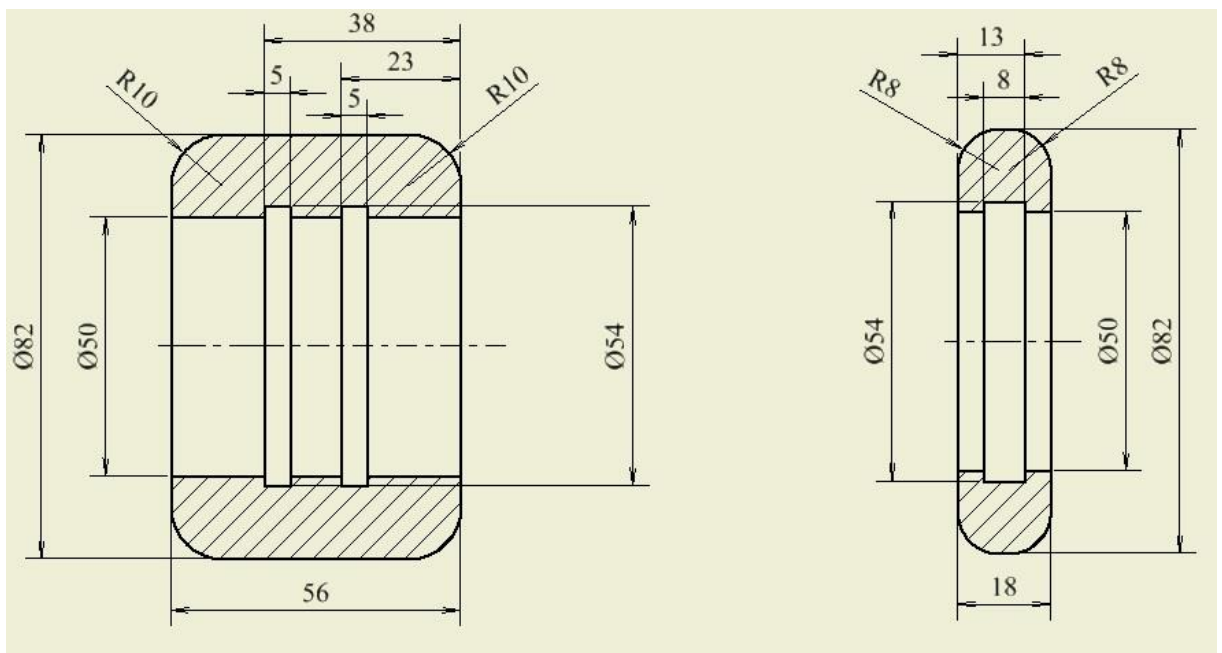
- Tvářecí technologie je proces, při kterém dochází k zásadním změnám přemísťování samotných částic surovin. Je vyvolané za působení tepla nebo tlaku, či obou současně. Surový materiál ve formě granulátu, prášku nebo kapaliny je během tváření přeměněn do konečného tvaru nebo do polotovaru. Mezi tvářecí procesy se řadí technologie vstřikování, lisování, vytlačování, odlévání, válcování a dalších.
- Tvarovací technologie je proces, při kterém se vychází z polotovaru a dochází převážně k tvarovým a geometrickým změnám při malém pohybu částic. Tvarování může probíhat za zvýšených teplot a tlaku, ale i bez nich. Mezi tvarovací procesy se řadí ohýbání trubek, tvarování desek, spojování plastů nebo spékání plastů.
- Doplnkové technologie jsou nedílnou součástí procesu, dochází při nich k úpravě hmoty před zpracováním (míchání, hnětení, sušení, předehřev, barvení a podobně) a nebo až po zpracování k finální úpravě výrobku (potiskování, pokovování nebo dodatečné zesíťování).

Plasty nemohou být bezprostředně zpracovány na hotové výrobky. Jak už bylo popsáno dříve, polymery musí projít přípravným zpracováním, kde se přidávají různé přísady, plniva a nebo se odstraňuje voda. Dochází především k ovlivnění fyzikálních a chemických struktur plastů

4.1 Technologické zpracování odléváním [1], [4], [7]

Technologie odlévání je vhodná použít pro výrobu polyuretanových koleček. Odléváním se vytvářejí plné nebo častěji duté předměty požadovaných tvarů do formy kontinuálním litím. Forma se vyplňuje kapalným materiálem, který je přiváděn do formy podle způsobu technologie za atmosférického tlaku, podtlaku, přetlaku, odstředivě nebo polymerací. Výhodami odlévaných dílů je výrobek bez vnitřního plutí, výroba tvarově rozdílných dílů najednou, minimální odpad, nízké náklady na formy a stroje, konstrukční jednoduchost. Vhodné materiály pro lití jsou termoplasty (PVC, PMMA, PA, a jiné), tak i reaktoplasty (epoxidové, fenolické, polyesterové, pryskyřice a PUR) v omezené míře i latexy. Nevýhodou je omezení počtu vhodných materiálu, nízká rozměrová přesnost a dlouhé pracovní cykly, z toho důvodu se hodí spíše na malosériovou výrobu. Při omezeném výběru materiálů jsou důležité určité parametry, musí mít výbornou tekutost, malou viskozitu, tak aby docházelo při

zaplnění formy k vyplnění všech detailů pouze za působení gravitační síly. Ve fázi tuhnutí by se v hmotě neměly vytvářet bubliny, staženiny a povrch by měl zůstat co nejkvalitnější. Formy je proto potřeba před odlitím natřít separátorem, aby nedošlo k nalepení hmoty na líc formy a tím jeho narušení povrchu. Do hmot se přidávají různé plniva, ty vedou ke snížení smršťování. Doporučuje se však, hlavně kvůli kvalitě povrchu vytvořit nedřívě tenkou povrchovou vrstvu a následně odlévat zbylý objem výrobku naplněný vhodným plnivem, většinou nadouvadlem (hlavně pro PUR). Formy mohou být vyrobeny z plastů s nízkou pevností (vhodné u malých výrobních sil), mají většinou malou rozměrovou přesnost a nejsou moc vhodné pro složité tvary, ale vynikají svou nízkou cenou a rychlostí výroby. Dále je možné použít formy skleněné nebo formy z lehkých kovů či olova (pro větší sérii). U složitých tvarů se formy vyrábí galvanoplastikou. Na obrázku 26 je zobrazen výkres kol, pro možnost vyrobit reverzní formu pro gravitační lití.



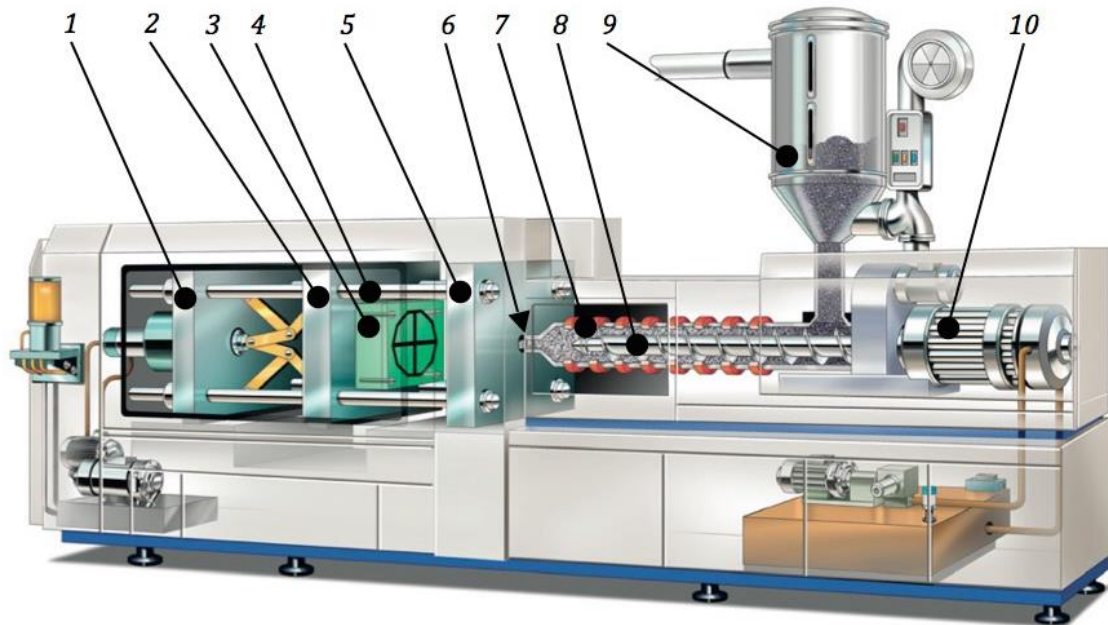
Obr. 26: Výrobní výkres pro zadní (vlevo) a přední kolečko (vpravo).

4.2 Technologické zpracování vstřikováním [1], [4], [5], [7], [8], [11], [16]

Celá konstrukce brusle je považována za jednotný materiál, který je vhodný zpracovávat technologickou metodou vstřikováním, kde lze zachovat nastavené parametry a dodržet rozměrovou stálost. Vstřikování termoplastů je vysoce produktivní proces, při kterém přesně určená roztavená dávka hmoty je vstříknuta velkou rychlostí z pracovní tlakové komory do uzavřené tvarové dutiny (reverzní tvar požadovaného výrobku) kovové formy. Tam hmota ochlazením ztuhne ve finální výrobek, aby byla zaručena rozměrová přesnost přes smršťovací účinky plastu, je v procesu začleněn dotlak, který plní formu nějakou dobu po vstříknutí. Vstřikovací formy jsou velice komplexní systémy složeny z rozličných komponentů, které při procesu odolávání vysokému počtu cyklů mechanického a tepelného namáhání. Výhodami vstřikování je hotový výrobek během jednoho cyklu a to i velmi tvarově složitého s výbornou kvalitou povrchu. Je to ideální proces s vysokou rozměrovou i tvarovou přesností pro sériovou výrobu, kdy jeden cyklus je velmi krátký. Pokud se forma vyrobí s přesnými rozměry, hotový výrobek už nemusí být dále opracován. Nevýhodami technologie je složitá

konstrukce forem, její pořizovací cena, tak i doba zavedení do sériové výroby (nutné zadání s velkým předstihem). Stroje jsou velké konstrukce, i když vyráběné výrobky jsou několikanásobně menší.

Pokud se podíváme na vstřikovací stroj (obr. 27), který už cyklicky vyrábí tak za počátek cyklu se dá považovat impuls k zavření formy. Podstatou však je umístit do násypky granulovaný materiál, aby mohl přejít do tekutého stavu. Materiál je postupně tlačěn vpřed pomocí rotací šnekové hřídele do vytápěné části pracovní komory. Zde dochází k plastikaci



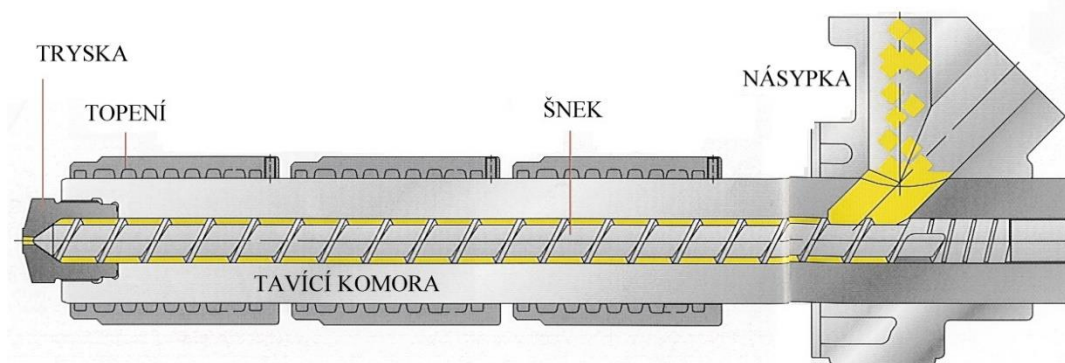
1- uzavírací jednotka, 2- pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3- pohyblivá část vstřikovací formy, 4- vodící sloupky vstřikolisu, 5- pevná upínací deska vstřikolisu, 6- čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7- tavicí komora, 8- šnek, 9- násypka pro plastový polotovar, 10- pohonná jednotka šneku

Obr. 27: Vstřikovací stroj a jeho hlavní části [47].

materiálu a jeho postupného hromadění před šnekem, ten se při otáčení pomalu oddaluje, aby udělal prostor pro natavený plast. Jakmile je přesně stanovená dávka natavená, uzavře se pohyblivá upínací deska, která pak vytvoří prostor pro taveninu. Šneková hřídel se v ten okamžik taky zastaví, aby mohla plnit funkci pístu a vstříknout tak natavený plast skrz trysku přímo do formy. Při zaplnění dutiny formy materiálem dochází k ochlazení taveniny ve formě a jejímu tuhnutí. V tomto okamžiku dochází k dotlaku, aby se zamezilo vlivům smrštění ve formě (např. smrštění, propadliny). Po uplynutí stanovené doby pro tuhnutí výrobku se otevře forma. Pomocí vyhazovačů nebo podavačů je výrobek vyhozen z formy a celý proces se opakuje. Tento cyklický proces se dělí na 4 základní fáze (plastikační, vstřikovací, dotlaková a ochlazovací):

- Plastifikační fáze je účelné k roztavení granulovaného materiálu z násypky a připravit ho pro vstříknutí do formy (obr. 28). V průběhu fáze se plast vlivem rotačního a současně i zpětného pohybu odebírá z násypky a převádí do taveniny za pomoci vzniklého tření o stěny tlakové komory, tak i vlastním tření mezi samotnými granulemi plastu. Kolem tlakové komory jsou umístěna elektrická topná tělesa, které vnášejí do taveniny asi třetinu tepelné energie, zbylá energie vzniká

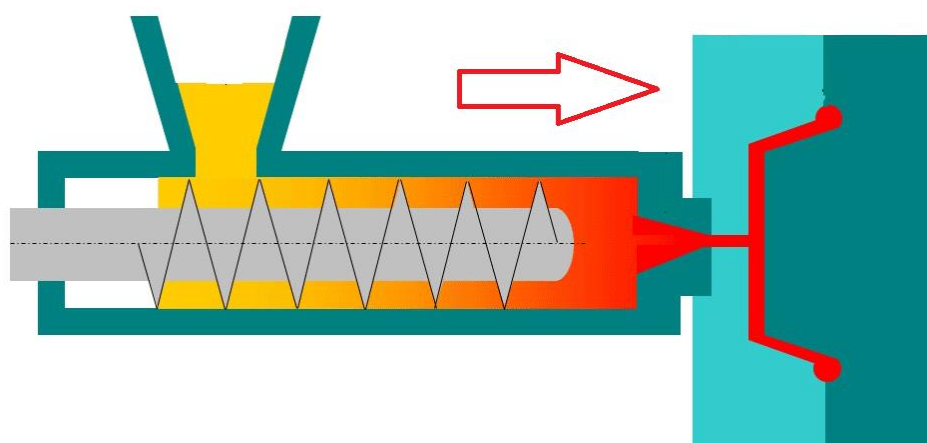
třením. Postupným promícháním taveniny se v době plastikace stává tavenina rovnoměrně homogenní z hlediska teploty a tlaku v místě před šnekem. Šnek svým pohybem vzad snižuje účinnou délku pístu, proto musí být zpětný tlak navýšen na



Obr. 28: Řez vstřikovací jednotkou s dopravním šnekem [8].

požadovanou hodnotu s řízen programově. Během fáze plastikace potřebuje tavenina dosáhnout určité teploty taveniny (T_{tav}), ta je nastavena podle materiálového listu na vstřikovacím stroji pro výrobu zvoleného výrobku. Dosažení T_{tav} ovlivňuje velikost a průběh tlaků ve formě (p_i), viskozitu plastu, dobu vstřikování (t_v) a dobu dotlaku (t_d), dobu chlazení (t_{ch}) a dalších. Pro zjištění teploty taveniny, se používají dvě metody. Nepřímá je z povrchu stěny tavící komory a přímá čidlem umístěným přímo v tavenině.

- Vstřikovací fáze má za účel dokonale vyplnit tvarovou dutinu formy taveninou pod tlakem tak, aby rychlost proudění taveniny byla v celém průřezu konstantní pro zamezení chladnutí plastu ve styku s formou. Zastavený šnek má funkci pístu, který tlačí přes sebou materiál skrze trysku (obr. 29 je červená šipka indikátorem toku materiálu). Doba fáze vstřikování je závislá na teplotě taveniny, teplotě formy, tvarové složitosti výstřiku a velikosti vtokového systému. Rychlost plnění musí být

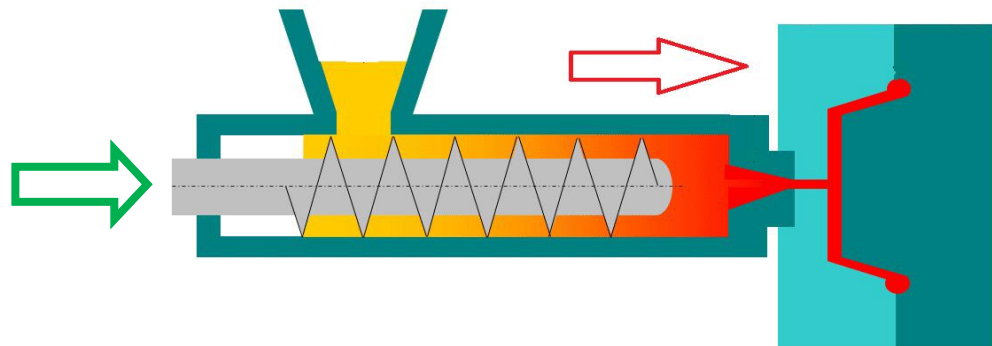


Obr. 29: Průběh vstřikovací fáze [32].

velká, ale její náběh nesmí být skokový nýbrž plynulý. Jakmile je určité množství v dutině formy, sniží se rychlost pro možnost úniku plynů z dutiny. Po naplnění tvarové dutiny nastává fáze stlačování hmoty. To je okamžik, kdy prudce stoupne tlak a okamžitě klesne rychlost. Pro správný průběh je však nutné zajistit

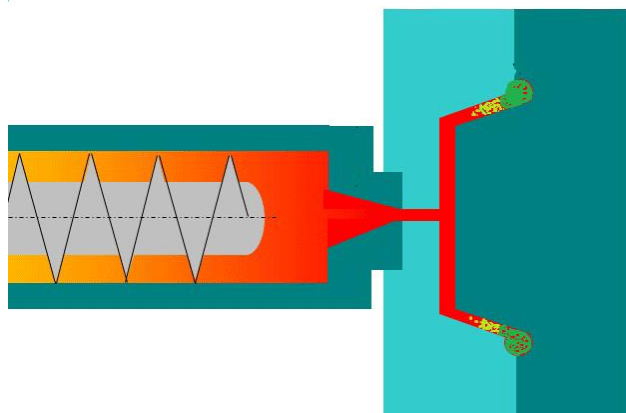
rovnováhu mezi vstřikovacím tlakem a dotlakem, aby nedocházelo k vytlačení taveniny mimo dutinu (při pozdním vypnutí vstřikovacího tlaku) nebo k nedotečení některých rozměrů (způsobuje brzké snížení tlaku). Po snížení tlaku následuje fáze dotlaku.

- Fáze dotlaku nastává po prvních dvou fázích. Jejím úkolem je kompenzovat zmenšování objemu (smršťování) výrobku během chladnutí plastu v dutině formy. Tato fáze se kříží s fází chladnutí a její doba je tak dlouhá, dokud lze dopravovat materiál do dutiny (obr. 30 je zelená šipka indikátorem dotlaku). Vhodným ukončením fáze je stav, kdy dochází k tuhnutí vtokového systému, aby nedocházelo porušení povrchu výrobku. Velikost dotlaku je podobně stanovena jakou vstřikovací, ze začátku je dotlak vyšší avšak ke konci se dotlak sníží, aby se omezila orientace v okolí toku.



Obr. 30: Znárodnění fáze dotlaku [32].

- Fáze ochlazovací má svůj počátek už při prvním kontaktu taveniny se stěnou formy. Teplota dutiny je většinou nižší a tak začíná ochlazovat výrobek už při fázi vstřikování a pokračuje i při fázi dotlaku. Celková doba chlazení má významný vliv na povrch tělesa, čím je doba větší tím je vyšší kvalita, ale z hlediska ekonomického chceme dobu ochlazování co nejnižší. Hotový výrobek může vypadnout z dutiny v okamžik, kdy při dopadu vlivem vysoké teploty nedojde k narušení povrchu nebo tvaru. Celková teplota je stále vyšší jak okolí, ale k poslední fázi ochlazení už dohází mimo dutinu. Na obrázku 31 je znázorněno zelenou, jak výrobek postupně chladne od konce dutiny směrem k vstřikovacímu systému.



Obr. 31: Schéma ochlazování [32].

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [19], [26]

Zpracování výrobní nebo prodejní ceny je ve fázi prototypu, velmi náročné a bez přesnějších materiálových, strojních, zpracovatelských a jiných faktorů zavádějící. Kalkulace cen jsou velmi důležité a také nedílnou součástí každé větší společnosti. Hlavní částí kalkulační je zjistit náklady na výrobu produktu nebo poskytovaných služeb (elektrická energie, pronájem stroje nebo výrobní linky a další). Pro zjištění nákladu je používáno především znalosti nákladů za předcházející období. V tomto případě se jedná o první zavedení produktu do výroby a nemá žádné dřívější plnohodnotné započitatelné náklady na výrobu. Kalkulace ceny nákladů je ovlivněna faktory např. cenou požadovaného surového materiálu, doprava a zpracování materiálu, cena přísad, které se pojí z hlavní výrobou, druh výroby a počet mezioperací, energie využitá na výrobu, mzdy zaměstnanců, počáteční náklady na zavedení do výroby a jiné. Všechny tyto faktory jsou počítány většinou pro zvolenou sérii kusů za rok, ze které podílem zjistí náklady na jeden kus výrobku popřípadě finální sestavy výrobků.

Jelikož výroba ještě nezačala je možné celý proces výroby přizpůsobit i zvolené tržní ceně daného výrobku, zvolit vhodné materiály, kvalitu produktu a způsob výroby. Představa o tržní ceně je od 2500 do 3500 Kč. Navrhovaná brusle má potenciál prodeje jako sestava nebo jako stavebnice, kde si uživatel (kupující) může zvolit z barevné škály samotných částí brusle a poskládat si je tak podle sebe. Možností stavebnice je pokryta oblast z náhradními díly a jejich variabilita.

6 ZÁVĚRY

Obsahem této bakalářské práce bylo navrhnout in-line brusle a vypracovat studii pro vhodné materiály. Z historického hlediska byl zmodernizován model z roku 1897 od Daniela Foota. Design je založen na jeho verzi dvou koleček vpředu a jednoho vzadu. V návrhu je zařazená podélná metoda prodloužení brusle v zastoupení pohyblivé (nastavitelné) špičky podrážky. Pro pohodlné nastavení je ukryt univerzální klíč v podrážce pod patou. K bezpečnému zastavení slouží brzda, která se snadno ovládá pohybem lýtky vzad. Celá konstrukce se k libovolné nízké sportovní botě připevňuje pomocí textilních pásků na suchý zip, tím je dosažena velká rychlost a jednoduchost obutí.

V materiálové studii plástů bylo nutné navrhnout tři různé materiály. Z navrhovaných materiálů je zvolen pro celkovou konstrukci a podvozek materiál POM, jež vyniká výbornými mechanickými vlastnostmi. Pro kolečka je zvolen běžně užívaný materiál PUR o tvrdosti 78A - 82A nebo 72A - 76A, tomu pak odpovídá i tvrdost brzd, která se volí řádově o 10A - 15A nižší než kolečka a materiál je zvolen SBR. Vhodné složení polymerů se bude volit až při konstrukci pro skutečnou výrobu.

Z oblasti technologického zpracování jsou polyuretany náročné na přípravu, je nutné je vhodně skladovat a volit i způsob výroby. V daném případě jsou zvoleny dvě metody pro výrobu koleček a samotné konstrukce. Na zpracování PUR je velmi vhodná, rychlá a levná metoda odlévání plástů a pro konstrukci je zvolena metoda vstřikování plástů, kde jsou sice počáteční náklady, ale doba na zavedení vysoké, ale produktivita a rychlost výroby jednoho dílu z plástu je ekonomicky výhodná.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [3]

1. AUSPERGER, Aleš. 2015. Technologie zpracování plastu [online]. 14. [cit. 2016-05-25]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
2. BĚHÁLEK, Luboš. 2015. Polymery [online]. [cit. 2016-05-18]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>
3. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
4. DVOŘÁK, Milan. 2004. Technologie II. 3. doplněné. Brno: Akademické nakladatelství cerm, s. r. o. ISBN 80-214-2683-7.
5. ENEKEŠ, Lukáš. 2009. Výroba součásti z plastu [online]. Brno [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=16963. Bakalářská práce. VUT fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
6. JANEČEK, Vojtěch. 2014. Design akumulátorové vrtačky [online]. Brno [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=71574. Designerská. VUT Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.
7. LENFELD, Petr. Skripta: Katedra tváření kovů a plastů [online]. 2008. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
8. LENFELD, Petr. 2015. Technologie vstřikování [online]. [cit. 2016-05-16]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
9. MALÁČ, Jiří. Gumárenská technologie 2: Zpracování kaučuku a vlastnosti pryže [online]. 2005. UTB ve Zlíně: Státní nakladatelství technické literatury, s. 28 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.utb.cz/file/36214>
10. PAVLŮ, Martin a Petr MAREK. Materiály v technice: plasty [online]. In: . s. 20 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://www.gykas.cz/projekt/nove/pracovni_sesity/Technologie_plastu.pdf
11. SOVA, Miloš a Josef KREBS. 2001. Termoplasty v praxi. 2 sv. (580, 425 s.). Praha: Verlag Dashöfer. ISBN 80-86229-15-7.
12. STEIDL, Jiří. Použití plastů: rychlá cesta k inovaci. MM Průmyslové spektrum [online]. 2005(1), s. 28 [cit. 2016-05-16]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pouziti-plastu-rychla-cesta-k-inovaci.html>
13. STUHLÍK, Petr. 2011. Polymery jako konstrukční materiály [online]. Zlín [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/18081/stuhl%2011_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
14. SUCHÝ, Marek. 2009. Mechanické vlastnosti plastů [online]. Brno [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=17031. Bakalářská

- práce. VUT fakulta strojího inženýrství. Vedoucí práce Ing. Eva Mollíková, Ph.D., Paed IGIP.
15. ŠELINGOVÁ, Hana. 2014. Optimalizace procesu plastifikace materiálu [online]. Brno [cit. 2016-0- -16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=74101. Bakalářská práce. VUT fakulta podnikatelská. Vedoucí práce Doc. Ing. Libor Pantělejev, Ph.D.
 16. VANĚK, V. 2005. Materiály a technologie I: Plasty. Ostrava. Dostupné také z: http://files.pazderalev.webnode.cz/200000145-01a2b029c2/Textov%C3%A1_opora-PLASTY2005.doc. Textová opora. Ostravská univerzita.
 17. Arkov, spol . s . r . o.: Ložiska a příslušenství [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.arkov.cz/katalog-lozisek-skf>
 18. Inline bruslení. 2004. Inline bruslení [online]. 2004. Praha: Grada Publishing, a.s., s. 112 [cit. 2016- 05-16]. ISBN 978-80-247-6454-2. Dostupné z: https://obalky.kosmas.cz/ArticleFiles/180837/auto_preview.pdf/FILE/inline-brusleni-auto_preview.pdf
 19. Kalkulace nákladů. Is.mendelu.cz: eknihovna [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=54548
 20. LPM s.r.o.: Technické díly z plastů [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: http://www.lpm.cz/index_qualitaetsicherung.html?http://www.lpm.cz/kunststoff/ueber_uns/eniso_9002/qualitaetsicherung.htm
 21. Nekomové materiály: Plasty [online]. In: . s. 17 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/5_nekovove-metrialy.pdf
 22. Oldbike [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.oldbike.eu/museum/>
 23. Pinterest.com [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/>
 24. Přehled technických plastů [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://www.feronathysen.cz/cms_dokumenty/ftp-prehled-technickyh-plastu.pdf
 25. Simaf: Spojovací materiál do plastu. 2008. Simaf.cz [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: [http://www.tracepartsonline.net/\(S\(1xsp4jurkvbpc1dyhimqgyh\)\)/PartDetails.aspx?Class=SIMAF&clsid=/F_SIMAF/&ManID=SIMAF&PartFamilyID=10-10032014-112246&PartID=10-10032-14-112246&SrchRsltId=1&SrchRsltType=0](http://www.tracepartsonline.net/(S(1xsp4jurkvbpc1dyhimqgyh))/PartDetails.aspx?Class=SIMAF&clsid=/F_SIMAF/&ManID=SIMAF&PartFamilyID=10-10032014-112246&PartID=10-10032-14-112246&SrchRsltId=1&SrchRsltType=0)
 26. Tvorba cen: Faktory ovlivňující tvorbu ceny. 2016. Wikipedia [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tvorba_cen
 27. Automobilový průmysl. Technická pryž [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.technickapryz.cz/fotogalerie.html>
 28. Brýle: Cyklo. *Juva cyklo* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.juvacyklo.cz/produkt/rudy-project-spaceguard-black-gloss-photoclear>
 29. Concept vehicles: Peugeot Flux. Wallpaperup [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.wallpaperup.com/267948/2007_Peugeot_Flux_Concept_supercar_d.html
 30. Freeline skates. Gear patrol [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://gearpatrol.com/2008/09/30/freeline-skates/>

31. Chariot skate. Fluxmag [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://fluxmag.com/sport/chariot-skates-fuses-cycling-and-skiing/>
32. Injection moulding process. 2015. Wikimedia commons [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Injection_moulding_process.png
33. Kačenky. Skates.com [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.skates.com/Sure-Grip-Competitor-Fame-p/sg73blk.htm>
34. Klika. Kliky fóra [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.klikyfora.cz/stranky/eshop/1-1-Kliky-a-dverni-kovani/6-2-plastove-kovani>
35. Kopačky. Fotbalový obchod [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.fotbalovy-obchod.cz/417-adidas-kaiser-5-liga-kopacky-4028460120430.html>
36. Krasteny. Josef Gruber: SPSTR [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/kom.html
37. Kryt motoru. Juva cyklo [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: Škoda díly [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.skoda-dily.cz/eshop/045103925ap-horni-kryt-motoru-1-4tdi.html>
38. Nárazník. F2Tuning [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://www.f2tuning.cz/tuning-shop/V-GOLF-5-Predni-naraznik-FK-ABS-d2964.htm?tab=description>
39. Orbit wheels. Inventist [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://store.inventist.com/store/p/32-Orbitwheel.aspx>
40. Ozubené kolo. Maurer Kunststofftechnik [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.m-k-t.com/en/products/makariellr-antibacterial-pa-and-pp/>
41. Peugeot Hybrid3 Evolution: Three wheel drive. Carscoops [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.carscoops.com/2009/11/peugeot-hybrid3-evolution-three-wheeler.html>
42. Ritter road. 1stdibs [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: https://www.1stdibs.com/furniture/morefurniture-collectibles/sports/1898-ritter-road-skates-super-rare/id-f_2784012/
43. Rychlobrusle. Kolečkové brusle [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.koleckove-brusle.net/speed-brusle-tempish-scream-110>
44. Skateboard. Amazon [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: https://www.amazon.co.uk/Toys-Ospre-DckSkateboard/dp/B0039NWS3M/ref=lp_671671011_1_10?s=sports&ie=UTF8&qid=1463930416&sr=1-10
45. Trucks. Mentalfloss [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://mentalfloss.com/article/52168/11-things-you-might-not-know-about-roller-skates>
46. Two wheel skates. Modern mechanix: yesterday's tomorrow today [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://blog.modernmechanix.com/two-wheel-skate/>
47. BOBEK, Jiří. 2015. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů [online]. [cit. 2016-05-25]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/01.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren	
ASA	Akrylonitril-styren-akrylát	
b	Šířka měřeného vzorku	[mm]
C	Uhlík	
Cl	Chlór	
C-S-C	Vazba uhlík-síra- uhlík	
E	Modul pružnosti	[MPa]
Ec	Křípový modul	[MPa]
Eco	Křípový modul v ohybu	[MPa]
EMA	Etylen-metakryl acid	
EP	Epoxidová pryskyřice	
EPDM	Etylen-propylenový kaučuk	
Et	Sečny modul pružnosti	[MPa]
ETFE	Ethylen-tetrafluorothylen	
Eto	Křípový modul v ohybu	[MPa]
EVA	Ethylenvinylacetát	
F	Síla	[N]
FEP	Perfluoro (ethylen-propylen)	
Fmax	Maximální síla naměřená při zkoušce	[N]
FP	Formaldehydová pryskyřice	
H	Vodík	
h	Výška měřeného vzorku	[mm]
L	Vzdálenost mezi podpěrami	[mm]
l0	Počáteční délka měřeného vzorku	[mm]
MF	Melanin-formaldehydová pryskyřice	
Mo,max	Maximální ohybový moment	[mm ³]
MoS2	Sulfid molibdenu	
N	Dusík	
NBR	Butadien-akrylonitrilový kaučuk	
NR	Přírodní kaučuk	
O	Kyslík	
PA	Polyamid	
PBT	Polybutylene tereftalát	
PC	Polykarbonát	
PCTFE	Polychlorotrifluoroethylen	
PE	Polyetylén	
PE	Polyetylén	
PE-C	Polyetylén karbonát	
PEEK	Polyetereterketon	
PE-HD	Polyetylén vysokohustotní	
PE-LD	Polyetylén nízkohustotní	

PE-LLD	Polytylén lineárně nízkohustotní	
PE-MD	Polyetylén středněhustotní	
PES	Polypester	
PET	Polyethylentereftalát	
PE-		
UHMWE	Polyetylén s ultra vysokou molekulovou hmotností	
PF	Fenol-formaldehydová pryskyřice	
pi	Průběh tlaku	[N/m ²]
PI	Polyimidy	
PIB	Polyizobutylene	
PMMA	Polymetylmethylakrylát	
POM	Polyoximetylén	
PP	Polypropylén	
PPO	Polyfenylénoxid	
PPS	Polyfenylénsulfid	
PS	Polystyrén	
PSU	Polysulon	
PTFE	Polytetrafluoretylen	
PUR	Polyuretan	
PVAC	Polyvinylacetát	
PVC	Polyvinylchlorid	
PVDF	Polyvinylidenfluorid	
S	Síra	
SAN	Styren-akrylonitril	
SBR	Butadien styren	
Si	Křemík	
So	Počáteční průřez vzorku	[mm ²]
st	Průhyb střední části	[mm]
td	Doba dotlaku	[s]
Tg	Teplota skelného přechodu	[°C]
tch	Doba chlazení	[s]
TPE	Termoplastické elastomery	
Ttav	Teplota taveniny	[°C]
tv	Do vstříku	[s]
tzn.	To znamená	
UF	Močovinoformaldehydové pryskyřice	
UP	Polyesterová pryskyřice	
Wo	Modul průřezu v ohybu	[MPa]
x	deformace pro $\sigma_y(Mx)$	[%]
Δl	Prodloužení v čase	[mm]
ε	Poměrné prodloužení	[-]
ε_1	Smluvní poměrné prodloužení	[-]
ε_2	Smluvní poměrné prodloužení	[-]

ϵ_b	Poměrné prodloužení při přetržení	[-]
ϵ_{fB}	Poměrné prodloužení při přetržení	[-]
ϵ_{fM}	Poměrné prodloužení při mezi pevnosti	[-]
ϵ_m	Poměrné prodloužení na mezi pevnosti	[-]
ϵ_{tb}	Jmenovité poměrné prodloužení při přetržení	[-]
ϵ_{tm}	Jmenovité poměrné prodloužení při mezi kluzu	[-]
ϵ_y	Poměrné prodloužení na mezi kluzu	[-]
σ	Napětí	[MPa]
σ_1	Napětí při smluvním prodloužení	[MPa]
σ_2	Napětí při smluvním prodloužení	[MPa]
σ_b	Napětí na přetržení	[MPa]
σ_{fB}	Napětí na přetržení v ohybu	[MPa]
σ_{fC}	Smluvní napětí v ohybu	[MPa]
σ_{fM}	Mez pevnosti v ohybu	[MPa]
σ_m	Mez pevnosti	[MPa]
σ_y	Napětí na mezi kluzu	[MPa]
$\sigma_y(M_x)$	Napětí odpovídající x	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 0: Porovnání mezi moderním kočárovým provedením a dobovým jízdním provedením [30,41].	- 18 -
Obr. 1: Vozíčkový typ[22].	- 10 -
Obr. 2: Naklápěcí typ „kačenky“[32].	- 10 -
Obr. 3: Orbit wheels [38].	- 11 -
Obr. 4: Freeline skates [29].	- 11 -
Obr. 5: Skateboard [43].	- 11 -
Obr. 6: Rychlobruslařská brusle [42].	- 12 -
Obr. 7: Silentbloky a těsnění [27].	- 13 -
Obr. 8: Použití termoplastů v průmyslu [33, 37, 39].	- 14 -
Obr. 9: Kryt motoru [36].	- 14 -
Obr. 10: Obroučky a podrážka z TPE [28,35].	- 15 -
Obr. 11: Rozložení kompozitu na letadle [2].	- 16 -
Obr. 12: Obecná krípková křivka [2].	- 21 -
Obr. 13: Princip krípkové chování v tahu [2].	- 21 -
Obr. 14:Princip krípkového chování v ohybu při tříbodovém zatížení [1].	- 22 -
Obr. 15: Výsledné křivky po tahové zkoušce a zobrazení lomu [2], [35].	- 23 -
Obr. 16: Průběh ohybové zkoušky při tříbodovém zatížení na ohýbacím stroji [2].	- 25 -
Obr. 17: Průběh zkoušky tvrdosti a tvary hrotů tvrdoměrů [2].	- 26 -
Obr. 18: Model z roku 1954 v porovnání s návrhem 1 [46].	- 29 -
Obr. 19: Návrh 2 celistvá konstrukce se soudečkovými kolečky.	- 30 -
Obr. 20: Tříkolové podvozky [22], [41].	- 30 -
Obr. 21: Zadní pohledy na linie podvozku.	- 31 -
Obr. 22: Rozložený pohled na součásti podvozku.	- 31 -
Obr. 24: Porovnání dvou typů brzd pro kotníkové ovládání.	- 32 -
Obr. 23: Pohled na hlavní systém nastavování špičky.	- 32 -
Obr. 25: Finální design kolečkové brusle v pohledech.	- 33 -
Obr. 26: Výrobní výkres pro zadní (vlevo) a přední kolečko (vpravo).	- 35 -
Obr. 27: Vstřikovací stroj a jeho hlavní části [47].	- 36 -
Obr. 28: Řez vstřikovací jednotkou s dopravním šnekem [8].	- 37 -
Obr. 29: Průběh vstřikovací fáze [32].	- 37 -
Obr. 30: Znázornění fáze dotlaku [32].	- 38 -
Obr. 31: Schéma ochlazování [32].	- 38 -

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Rozdělení podle typu a účelu konstrukcí in-line bruslí .	- 11 -
Tab. 2: Rozdělení polymerů.	- 13 -
Tab. 3: Základní schéma rozdělení polymerů.	- 17 -
Tab. 4: Rozdělení na částicové a vláknité plniva.	- 18 -
Tab. 5: Používané zkratky a druh plniv.	- 18 -
Tab. 6: Rozdělení mechanických charakteristik.	- 20 -

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Tabulka pevností a modulu pružností []
- Příloha 2 Materiálový list s vlastnostmi []
- Příloha 3 Materiálové vlastnosti LPM []
- Příloha 4 Rozklad sestavy
- Příloha 5 Kolečková brusle

SEZNAM VÝKRESŮ

Sestava BP-2016-01-A2