

Alternativní možnosti výroby valivých profilů

Ondřej Vašků

Bakalářská práce
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Ondřej Vašků
Osobní číslo:	T18853
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Alternativní možnosti výroby valivých prvků

Zásady pro vypracování

1. Literární rešerši
2. Návrh alternativního řešení stávajícího stavu včetně vhodného nástroje
3. Návrh základní technologické optimalizace výrobního postupu
4. Zhodnocení experimentu

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

DROBNY, Jiri George. Handbook of Thermoplastic Elastomers. 2nd ed. Burlington: Elsevier Science, 2014, 1 online zdroj (465 pages). Plastics Design Library. ISBN 9780323221689.

MASSEY, Liesl K. The effects of UV light and weather on plastics and elastomers. 2nd ed. Norwich, NY: William Andrew Pub., c2007, 1 online zdroj (xxxii, 456 p.). PDL handbook series. ISBN 9780815519256.

KAUFFER, Phoebe H., ed. Injection molding: process, design and applications. New York: Nova Science Publishers, c2011, 1 online zdroj (x, 292 s.). Materials science and technologies. ISBN 9781617614200.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Huba, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta: Ondřej Vašků

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce předkládá ucelený náhled do problematiky výroby valivých profilů, speciálně skateboardového kolečka. V první teoretické části práce jsou nejprve podány základní informace k užitému materiálu a aktuálnímu způsobu jejich komerční produkce. Následně je hlavní pozornost zaměřena na alternativní možnosti jejich výroby, přičemž praktická realizace navržených řešení je popsána v druhé části této práce včetně jejich vyhodnocení.

Klíčová slova: skateboardová kolečka, polyuretan, obrábění polymerů, vstřikování

ABSTRACT

The bachelor thesis presents comprehensive insight into the problematics of production of rolling profiles, especially a skateboard wheel. In the first theoretical part of the thesis basic information on the used material and the current method of its commercial production is provided. The main attention is subsequently focused on alternative possibilities of their production, while the practical implementation of the proposed solutions is described in the second part of this thesis, including their evaluation.

Keywords: skateboard wheels, polyurethane, polymer machining, injection molding

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Jakobovi Hubovi, PhD. za ochotu, skvělou spolupráci, čas strávený konzultacemi, a především cenné rady, které mi v rámci této práce poskytl.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KOMPLEXNÍ NÁHLED NA VYBRANOU SOUČÁST	11
1.1 SKATEBOARDING	11
1.2 HISTORIE SKATEBOARDINGU	12
1.3 KOMPONENTY SKATEBOARDU	14
1.3.1 Deska	15
1.3.2 Trucks.....	16
1.3.3 Ložiska	17
1.4 KOLEČKA	18
1.4.1 Vývoj skateboardových koleček	18
1.4.2 Materiál dnešních skateboardových kol.....	19
1.4.3 Rozdělení skateboardových koleček	20
2 KOMPLEXNÍ NÁHLED NA MATERIÁL VYBRANÉ SOUČÁSTI	25
2.1 STRUKTURA POLYMERŮ A JEJÍ VLIV NA VLASTNOSTI.....	26
2.1.1 Tvar makromolekul	26
2.1.2 Nadmolekulární struktura plastů	27
2.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	28
2.2.1 Termoplasty.....	29
2.2.2 Reaktoplasty	29
2.2.3 Elastomery.....	29
2.2.4 Termoplastické elastomery	30
2.3 POSTAVENÍ POLYMERŮ NA TRHU	31
2.4 POLYURETANY PU	32
2.4.1 Termoplastický polyuretan – TPU	32
3 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY VALIVÉHO PROFILU	37
3.1 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SKATEBOARDOVÝCH KOLEČEK – ODLÉVÁNÍ	38
3.1.1 Odlévání do statických forem	38
3.1.2 Odlévání do rotujících forem (rotační lití)	39
3.1.3 Odlévání do rotujících forem	39
3.1.4 Skateboardová kolečka – Odlévání do statické formy	39
4 PRVNÍ ALTERNATIVA VÝROBY – TŘÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ	40
4.1 SOUSTRUŽENÍ.....	41
4.1.1 Vlastnosti polotovaru Polytan a doporučení pro obrábění	42
4.2 VRTÁNÍ	43
5 DRUHÁ ALTERNATIVA VÝROBY – VSTŘIKOVÁNÍ	44

5.1	PRINCIP TECHNOLOGIE	44
5.2	VSTŘIKOVACÍ FORMY	47
5.3	VTKOVÝ SYSTÉM	47
5.4	VSTŘIKOVÁNÍ TPU	49
5.4.1	Procesní podmínky	49
II	PRAKTICKÁ ČÁST	51
6	NÁVRH SKATEBOARDOVÉHO KOLEČKA	52
6.1	PRVNÍ VARIANTA NÁVRHU SKATEBOARDOVÉHO KOLEČKA	52
6.2	DRUHÁ VARIANTA NÁVRHU SKATEBOARDOVÉHO KOLEČKA	53
6.3	ZDŮVODNĚNÍ VOLBY PRVNÍ VARIANTY	54
7	PRVNÍ ALTERNATIVNÍ TECHNOLOGIE – SOUSTRUŽENÍ	55
7.1	ÚSKALÍ TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ	57
7.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ SOUSTRUŽENÍ	57
8	NÁHRADA ZA SOUSTRUŽENÍ – FRÉZOVÁNÍ	59
8.1	ÚSKALÍ TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ	60
8.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ FRÉZOVÁNÍ	60
9	DRUHÁ ALTERNATIVNÍ TECHNOLOGIE – VSTŘIKOVÁNÍ	62
9.1	NÁVRH TVAROVÝCH ČÁSTÍ FORMY	63
9.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ DVOJNÁSOBNÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY S SVS	65
9.2.1	Základ pro výpočet ceny formy	65
9.2.2	Výpočet celkového času obrábění tvarových částí formy	66
9.2.4	Celková cena za obrábění tvarových částí formy	67
9.2.5	Výpočet ceny zohledňující komplexnost formy	67
9.2.6	Celková cena na výrobu formy	68
9.2.7	Cena výroby jednoho kolečka	69
10	EKONOMICKO TECHNOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ ALTERNATIVNÍCH METOD VÝROBY	71
	ZÁVĚR	73
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	74
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK	82

ÚVOD

Bakalářská práce pojednává o alternativních možnostech výroby valivého profilu, konkrétně pak skateboardového kolečka. To se vyrábí z polyuretanu v široké škále možných tvrdostí a velikostí. Cena sady (4 koleček) se na dnešním trhu pohybuje okolo 1 000 Kč.

Důvodů, proč jsem si zvolil toto téma je hned několik. Prvním z nich je fakt, že se skateboardingu věnuji přes deset let a je pro mě srdcovou záležitostí. V rámci bakalářské práce jsem tedy přivítal možnost skloubit dohromady zábavu s vysokoškolskými povinnostmi. Dalším důvodem je to, že výrobců skateboardových koleček je na světě jen několik desítek a každý z nich si střeží technologii výroby a poměr směsí odlévaného polyuretanu jako své know-how. Nabízí se tedy možnost zkoumat alternativní cesty jejich výroby a vyhodnotit je především pak z ekonomických hledisek, což je prvořadým cílem této práce. V rámci toho jsou navrženy dvě alternativní technologie výroby – Tvarovací technologie (třískové obrábění) a Tvářecí technologie (vstřikování). Je zapotřebí také zmínit, že práce si neklade za cíl jakkoliv předčít stávající výrobu skateboardových koleček, ale pouze navrhuje alternativní cesty výroby.

Teoretická část práce podává základní teoretický přehled o informacích potřebných v praktické části práce. Vyzdvihnout lze například kapitolu o termoplastickém polyuretanu, který posloužil jako náhrada za stávající komerčně využívaný materiál skateboardových koleček, jenž nelze recyklovat. Současně teoretická část čtenáři poskytne ucelený technický popis skateboardu (především pak skateboardového kolečka), který se v literaturách nachází jen střípkovitě a v takto komplexní formě v českém jazyce téměř neexistuje.

Praktická část práce se zabývá návrhem dvou odlišných skateboardových koleček, z níž byla vybrána varianta vhodnější pro plánované alternativní technologie. Dále je rozebrána první alternativní technologie, která je určena spíše pro kusovou výrobu. Tato první alternativa – třískové obrábění je realizována kompletně, včetně technologické optimalizace výrobního postupu, až po jakýsi prototyp finálního produktu. Druhá alternativní metoda výroby – vstřikování se vydává cestou sériové výroby, kdy je navržen nástroj, a to sice idea konceptu vstřikovací formy. Obě navrhované technologie jsou vyhodnoceny z ekonomického hlediska, které je vztaženo na výrobní cenu jedné sady skateboardových koleček. Závěrem práce je provedeno ekonomicky technologické zhodnocení experimentu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPLEXNÍ NÁHLED NA VYBRANOU SOUČÁST

Vybraná součást pro experiment je skateboardové kolečko. To se jeví jako ideální příklad valivého profilu z mnoha důvodů. Prvním z nich je fakt, že vývoj skateboardového kolečka zachránil skateboarding před potencionálním zánikem a dostal tento sport do dnešní olympijské podoby. Dalšími důvody jsou specifické požadavky na chování profilu, kterým je zapotřebí rozumět v úplném kontextu skateboardingu.

V mnoha směrech je historie vývoje skateboardingu historií vědy o materiálech, a proto začátek této kapitoly hovoří o historii a o tom, co tento sport představuje. Dále jsou popsány komponenty skateboardu, přičemž důraz je zde kladen na skateboardová kolečka.

1.1 Skateboarding

Skateboarding je poměrně mladý sport, který na rozdíl od fotbalu nebo hokeje nemá formální pravidla nebo standardizované místo. Lze jej praktikovat na různých místech. Buď to je pro skateboarding přímo určený park, tzv. skatepark nebo jezdci mohou využívat street. Skateboarding lze chápat jako rekreační aktivitu, umění, práci nebo typ dopravního prostředku a zájem o něj roste rychleji než o jakýkoliv jiný sport. V roce 1998 jezdilo v USA téměř 6 milionů skaterů. V roce 2007 toto číslo vzrostlo na 10 milionů. [25]



Obrázek 1 Ukázka skateboardingu – legenda novodobého skateboardingu Dylan Rieder [27]

1.2 Historie skateboardingu

Určit přesný počátek skateboardingu je v dnešní době nemožné. Je však známo, že vše začalo přemontováním koleček z truckových kolečkových bruslí na desky, kterých se ujali surfaři. Ti chtěli zažít pocit jízdy na vlnách i na pevnině. Proto v době mezi lety 1950-1960 vzniklo označení „Sidewalk surfer“. V období 1962-1963 byl patentován první náznak dnešních skateboardů. Deska skateboardu byla tehdy naprosto plochá a kolečka se vyráběla z oceli nebo z keramiky. Postupně se začaly pořádat závody ve freestylu¹, downhillu², skocích do dálky a skocích do výšky³. S přibývajícím popularitou vznikl časopis: Skateborder, vydávaný lidmi z magazínu Surf Magazin. Skateboarding se ke konci 60. let dostával do krize, ze které se vymanil díky polyuretanovým kolečkám (viz. kapitola 1.4). V tomto období se začínal jezdit street⁴ a bowl⁵, z čehož se postupem času stala disciplína vert⁶, která pro skateboarding jako takový získala masivní popularitu. Za zmínku stojí například skok Dannyho Waye přes Velkou čínskou zeď. V roce 1978 pak Alan Gelfand vynalezl naprosto revoluční trick – olie⁷. Tento trick je dodnes považován za jeden z nejvýznamnějších tricků vůbec. Devadesátá léta se díky tomu nesou ve znamení masivního vzestupu skateboardingu, a to především disciplíny street, ale také všech jeho ostatních disciplín po celém světě. Dnes začíná být skateboarding vnímán širokou veřejností jako regulérní sport. Důkazem toho je, že v roce 2020 měl být skateboarding poprvé představen na letních olympijských hrách v Tokiu, které však byly odloženy na rok 2021 kvůli pandemii koronaviru. Je však důležité zmínit, že pro spoustu lidí zůstává životním stylem. [1, 2, 3, 4]

¹ Freestyle skateboarding je jedním z nejstarších stylů skateboardingu, který byl populární do začátku 90.let. V tomto stylu jezdec nepotřebuje nic jiného než skateboard a rovnou zem. Poté si vytvoří sestavu tricků, která je často doprovázena hudebním podkřesem.

² Downhill je skateboardingový styl, ve kterém skateboardista jede dolů z kopce. Dnes je známý pro svou odlišnost jako longboarding.

³ Československo bylo v 80. letech opravdovou skokanskou velmocí. Luděk Váša (známý zejména jako průkopník českého snowboardingu) se stal ve Vancouveru při příležitosti výstavy EXPO v roce 1986 mistrem světa ve skoku vysokém, později ve stejné disciplíně mistrem Evropy ve Švédsku. V roce 1985 skočil v Brně neuvěřitelných 156 cm (poslední závod podle starých pravidel, tedy s možností pružení desky). [26]

⁴ Street skateboarding je disciplína, při které skateboardista využívá jako překážky pro své tricky pouze městské oblasti. Rázem se tak mění lavičky, zábradlí a schody na místa vhodná pro skateboarding, kterým se ve skateboardovém slangu říká spoty.

⁵ Bowl skateboarding je disciplína, která vznikla tak, že skateboardisté vnikali často nelegálně na cizí pozemky, které disponovaly bazény a ty byly kvůli nedostatku vody prázdné. V bazénu jezdili dokola a napodobovali tak jízdu na vlnách na surfu.

⁶ Vert skateboarding je disciplína, kdy jezdec jezdí v rampě ve tvaru U, jejíž vrcholy jsou kolmé. Konstrukce vertikální rampy se z matematického hlediska řídí tzv. křivkou nejkratšího spádu.

⁷ Olie je naprostý základ všech tricků na skateboardu. Jezdec vyskočí s deskou pod nohama do vzduchu, aniž by použil ruce nebo měl nohy k desce jakkoliv připevněny. Je to nádherná demonstrace základních fyzikálních zákonů.



Obrázek 2 Stacy Peralta⁸ – jedna z nejvýznamnějších postav vzniku skateboardingu jedoucí v disciplíně slalom [28]



Obrázek 3 Pohled na skateboarding dnes [29]

⁸ Stacy Peralta je jedním ze dvou zakladatelů Powell – Peralta, která je světovou jedničkou ve výrobě skateboardových desek a koleček.

1.3 Komponenty skateboardu

Chování skateboardového kolečka ovlivňují především součásti, ze kterých se skládá. Pro komplexní pochopení celé problematiky je tedy zapotřebí rozumět tomu, z čeho se skateboard skládá. Důraz je pak pochopitelně kladen na skateboardová kolečka, která jsou podrobněji rozebrána v kapitole 1.4. Skateboard tvoří pět komponentů: deska, trucky, kolečka, ložiska a šrouby s maticemi tzv. hardware, který vše drží v jednom kuse. Skateboard lze koupit jako tzv. komplet, na kterém už jsou všechny komponenty smontovány. Jeho cenová relace se pohybuje výrazně níže a je vhodný pro začátečníky. Druhá varianta je vhodná pro zkušenější jezdce a tkví v možnosti skateboardisty vybrat si dané komponenty sám podle daného skateboardového stylu a individuálních potřeb. Celý skateboard si tedy skateboardista sestavuje sám a jeho cenová relace může být oproti kompletu vyšší až o 50 %. Ve skateboardové komunitě funguje nepsané pravidlo, že pokud se chce skateboardista stát profesionálem, musí mít vlastní model svého skateboardu. Nejdůležitější je pak deska, která by měla být vyrobena u jedné z celosvětově uznávaných firem jako jsou například americké firmy Baker, Powell-Peralta, Primitive, Element, nebo evropská firma Jart. [1, 2]



Obrázek 4 Schéma skateboardu [30]

1.3.1 Deska

Deska je největší částí skateboardu. Téměř bez výjimky se nejlepší skateboardové desky vyrábějí ze sedmi vrstev kanadského javoru, který je slepován za tepla a pod tlakem v lisu. Nejdůležitějším rysem je nahoru zahnutá zadní část desky – tail. Špička desky – nose se od tailu liší tak, že je delší a stoupá pod nižším úhlem. I poslední dvě strany desky jsou zahnuty nahoru a povrch je proto konkávní. Této vlastnosti se odborně říká concave, ten může být různý. Desky se vyrábí v odlišných velikostech, především v různých šířkách, které se číslují v palcích. Šířky se pohybují od 7,5 inch – 8,5 inch. Širší desky jsou určeny pro cruizery⁹. Šířka desky se volí podle velikosti nohy skateboardisty a podle zvoleného skateboardového stylu. Na začátku osmdesátých let, kdy začal být dnešní tvar desky aplikován, se výrazně zlepšila ovladatelnost skateboardu. Celá deska má pak velmi často vlastní grafiku, která je specificky určena výrobcem. [1]

V dnešní době se vyrábí desky i z kompozitních materiálů. V naprosté většině mají tyto desky na úkor svých výhod právě mnoho nevýhod. Největší z nich je především situace, kdy je pro jezdce lepší, aby se deska zlomila, než aby vydržela celá, tak jak u skateboardových desek z kompozitu bývá zvykem. Další z nevýhod je vyšší pořizovací cena oproti standardním skateboardovým deskám. Nejznámějším výrobcem je zřejmě firma Powell-Peralta a jejich model desek flight, které se pyšní tím, že po jejím středu přejede nákladní automobil a ona se nezlomí (viz obr. 5)

Povrch desky je pokrytý drsnou fólií – griptapem, který zamezuje tomu, aby deska pod nohama klouzala, ale právě naopak zvyšuje tření boty vůči desce tak, aby bylo možno se skateboardem vyskočit. [1]



Obrázek 5 Deska z kompozitního materiálu od firmy Powell-Peralta [31]

⁹ Cruiser jsou speciální skateboardy určené především k dopravě, popřípadě na disciplínu Downhill. Oproti klasickým skateboardům jsou výrazně větší a mají větší a měkčí kola.

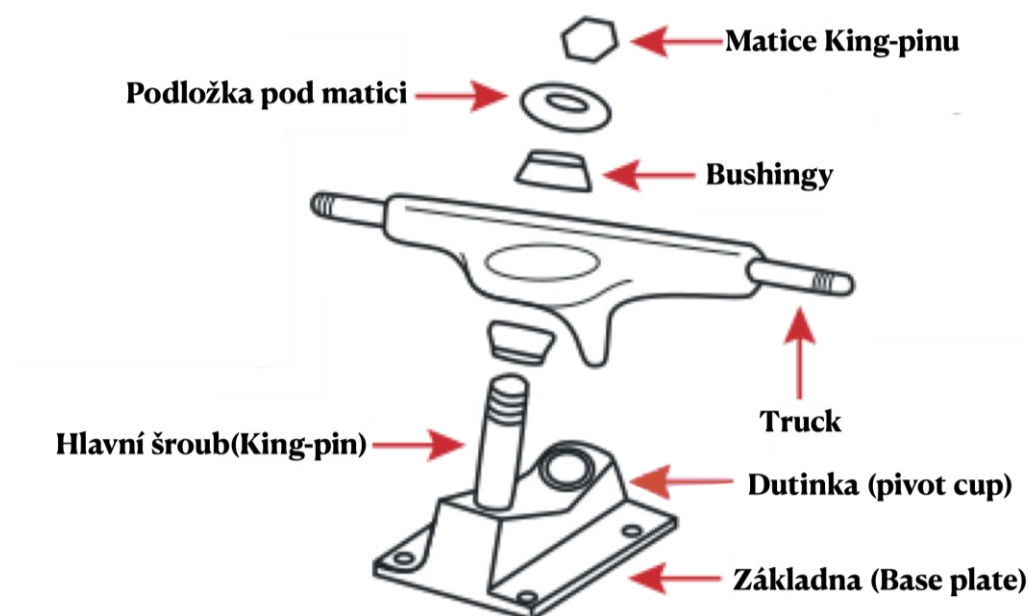
1.3.2 Trucks

Trucks neboli náprava je nejučelnější část skateboardu. Nepřipojují pouze kolečka k desce, ale přenáší houpavý pohyb desky na otáčivý pohyb koleček, což je důvod, proč skateboardista dokáže zatačet. Dosahuje toho tím, že se natáčí v úhlu povrchu desky, a to díky tzv. bushingům. Bushingy jsou tlumiče, které se vyrábí z polyurethanu. Jsou-li bushingy správně dotaženy, měly by se trucky při uvolnění otáčecího tlaku vrátit zpět do rovnovážné polohy. [1, 4]

Část podvozku, která je připevněna k desce se nazývá základna (base plate). Části, která se pohybuje, se říká náprava (truck). Velký šroub, na kterém jsou nasazeny bushingy, a který drží celý skateboard dohromady, se nazývá hlavní šroub (king-pin). Důležité jsou osa a čep nápravy, jenž se otáčí v základně a ta se odborně nazývá pivot. Mezi pivotem a otvorem, v němž se otáčí, se nachází pivotní dutinka (pivot-cup). [1, 4]

Otvory pro upevňovací šrouby, průměr kink-pinu a osy mají běžně normalizovaný rozměr, stejný pro všechny skateboardy na celém světě. Znamená to tedy, že kolečka a trucks jsou kompatibilní s jakoukoliv deskou. [1, 4]

Trucks se k desce připevňují vždy tak, aby kink-piny byly proti sobě a směřovaly do středu desky.

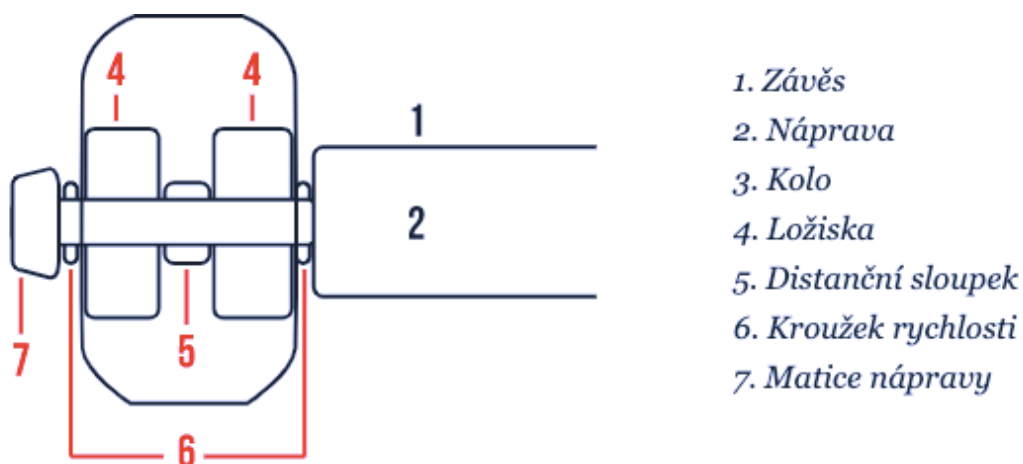


Obrázek 6 Schéma rozloženého trucku (nápravy) [4]

1.3.3 Ložiska

Základní funkce ložiska je přenášet zatížení a přesně definovat polohu hřídele a kolečka. To vše při co možná nejmenším odporu vůči otáčení. Všechna kolečka skateboardu používají normalizovanou dvojici jednořadých kuličkových ložisek rozměrové řady 608. Původní určení těchto ložisek bylo pro pračky, vysavače a podobné přístroje. Ukázalo se však, že tyto ložiska jsou ideální variantou pro skateboarding. Ložiska 608 jsou vhodná pro vysoké otáčky, převážně pro radiální zatížení a z menší části i pro kombinované zatížení. Skládají se obvykle ze sedmi kuliček, vnitřního a vnějšího kroužku, klece a v neposlední řadě z těsnění nebo krytu. Uložení ložisek v kolečku je uložení s přesahem. Dle individuálních potřeb jezdce je možno použít distanční kroužek, který je umístěn mezi ložisky tak, aby při dotažení matice kolečka nedošlo k zatlačení ložiska do středu anebo k jeho poškození. Distanční kroužek dále zajišťuje rovnoběžnost ložisek vůči sobě. Tyto kroužky je obzvláště důležité použít, pokud skateboardista jezdí na měkkých kolech. Ložiska by měla být promazávána nejlépe olejem s co nejmenší viskozitou, který ale zajistí dostatečné mazání po celou dobu užívání. [4, 5]

Dnes se vyrábí skateboardová ložiska s díly vyrobenými z titanu nebo z temperované keramiky. Většinou se jedná o výrobu kuliček do ložisek práškovou metalurgií za pomoci nitridu křemíku. Tato ložiska jsou však desetinásobně dražší než běžná. [4, 5]



Obrázek 7 Schéma ložisek uložených v kolečku [4]

1.4 Kolečka

I jsou kolečka nepochybně komponentem skateboardu a měli by pokračovat v předešlém číslování kapitol, v rámci této práce si zaslouží vlastní podkapitolu.

Bez valivých profilů, konkrétně pak bez koleček, bychom si jen těžko dokázali představit existenci dnešního světa. Konkrétně skateboardové kolečko je specifické hned několika skutečnostmi. Prvním faktem je to, že kolečko z polyuretanu zachránilo skateboarding před potenciálním zánikem (viz kapitola 1.1). Díky tomu se tento sport dostal do dnešní olympijské podoby. Druhým faktem jsou protikladné požadavky na chování kolečka. Je vyžadováno, aby kolečko bylo relativně měkké kvůli pohodlné jízdě po nerovnostech, a naopak při výskoku od země se chovalo jako tvrdý profil. To znamená, aby síla při odrazu byla co nejméně vstřebávána do kola, ale zároveň aby se kolečko co nejvíce a nejrychleji odrazilo od povrchu. Dále je také požadováno, aby kolečko mělo co největší přilnavost vůči povrchu při jízdě, ale naopak aby klouzalo,¹⁰ když se na něj působí kolmou silou k zemi. Závěrem je nutností, aby kolo bylo co nejlehčí a aby nedošlo k rychlému opotřebení.

1.4.1 Vývoj skateboardových koleček

Jak již bylo v předchozích kapitolách uvedeno, skateboardová kolečka prošla od začátku dvacátých let dramatickou změnou. Vše odstartovalo připevněním podvozku s koly truckových bruslí na desku. V této době byla kolečka především ocelová, což mělo za následky minimální přilnavost kolečka a ani zdaleka ne komfortní jízdu. Na konci padesátých let se objevily první komerční skateboardy. Stále však převažovala spíše domácí výroba. V šedesátých letech vznikla keramická kolečka z jílu pro brusle. Ta fungovala na skateboardu o něco lépe než ocelová, ale nejednalo se o průlomové zlepšení. První polyuretanová kolečka byla dílem Franka Nasworhyho. Poté co v roce 1970 uviděl u přítele svého otce experimentálně vyrobená polyuretanová kolečka na brusle, uvědomil si, že by tento materiál mohl být ideální variantou pro skateboarding. Tato domněnka se potvrdila. Frank Nasworhy později založil firmu Cadillac Wheels Company¹¹. V průběhu roku 1975 vykázala firma tržby 10 – 20 000 sad skateboardových koleček měsíčně. Tento úspěch však

¹⁰ Power slide je skateboardový trick, při kterém skateboardista jede ve smyku. Toho docílí tím, že na skateboard za jízdy zatlačí silou pod určitým úhlem vůči zemi.

¹¹ Název společnosti Cadillac Wheels Company poukazoval na hladkou jízdu stejně jako tomu v té době bylo v automobilech značky Cadillac. [7]

netrval dlouho a značku Cadillac převálcovala konkurence, která zdokonalovala nejenom technologii výroby koleček, ale také ložisek. V dnešní době se mezi špičkové výrobce řadí značky jako Bones, Powell–Peralta, Spitfire. Tyto firmy si pevně střeží poměry směsí svých polyuretanových kol. Je zřejmé, že se výrobci i nadále budou snažit uspokojit komplexní potřeby uživatelů tohoto pozoruhodného materiálu. [4, 6, 7]



Obrázek 8 Jeden z prvních skateboardů s ocelovými kolečky [32]

1.4.2 Materiál dnešních skateboardových kol

V ideálním případě potřebujeme materiál, který je lehký, extrémně pevný, odolný, má dobrou přilnavost (za mokra i za sucha) a je snadno a levně vyrobitelný. Polyuretan, konkrétně pak licí polyuretan (reaktoplast), se jeví jako ideálním materiálem pro skateboardová kolečka, a to proto, že splňuje všechny vyjmenované vlastnosti. Navíc může být vyroben v různých tvrdostech a po smíchání s pigmenty dostáváme širokou škálu velikostí, tvarů a barev.

Polyuretan je polymer složený ze dvou typů monomerů. Jeden má dvě izokyanátové funkční skupiny (-NCO), druhý má alespoň dvě hydroxylové skupiny (-OH). Pomocí vhodného katalyzátoru tyto funkční skupiny tvoří uretanové vazby (-NH- (C=O) -O-), které vážou monomery a vytvářejí polymer s dlouhým řetězcem.

$\text{ROH} + \text{R}'\text{NCO} \rightarrow \text{R-NH- (C=O) -O-R}' \rightarrow$ kde R a R' jsou alkylové nebo arylové skupiny

Přední výrobci skateboardových kol používají různé polyuretanové směsi, které mají vliv na vlastnosti kol. Bohužel však neexistují téměř žádné informace o poměrech těchto směsí a výrobci si je střeží jako své know-how. Je tedy možné, že kolečka od jednoho výrobce se budou chovat odlišně než kolečka od výrobce druhého i přesto, že mají stejné specifikace parametrů jako tvrdost, průměr atd. [4, 8]

1.4.3 Rozdělení skateboardových koleček

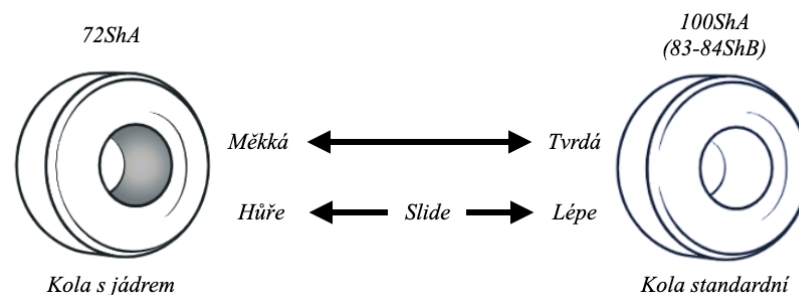
I. Tvrdost

Tvrdost koleček se měří jednou ze dvou metod používaných pro měření tvrdosti nekovových materiálů, a to sice metodou dle Shore. Princip metody spočívá ve vlačování zkušebního tělíska s jasně definovanou geometrií do kolečka. Měření tvrdosti dle Shore disponuje více stupnicemi jako A, B, C, D, 0 a mikro Shore. Každá z nich je určena pro materiál o určité tvrdosti a liší se mezi sebou jak ve velikosti zatížení, tak v typech vnikajícího tělesa. U skateboardových kol z naprosté většiny dostačuje stupnice A. Vyrábí se ale i kola, která překračují tvrdost 100ShA. Ve světě skateboardingu se tato kola značí jako 101A, 102A, 103A, 104A. Toto značení je však z technologického hlediska chybné, protože maximální hodnota stupnice tvrdosti A je 100. Ve skutečnosti je tedy kolečko o tvrdosti 101A tvrdost dle Shore 81ShB.

II. Standardní kolečka / Kolečka s jádrem

Skateboardová kolečka se dělí na kolečka standardní (kolečka bez jader) a na kolečka s jádrem. Kolečka standardní jsou odlita z jednoho kusu polyuretanu a jsou to kolečka tvrdší, která jsou vhodná spíše pro zkušené jezdce. Tento typ koleček je využíván pro disciplíny street, skatepark, bowl, vert. Tvrdost standardních koleček se pohybuje mezi 90 – 100ShA, 83 – 84ShB. [4]

Kolečka s jádrem jsou měkkší (72 – 90ShA) a jsou opatřena vložkou pro ložiska z tvrdšího polymeru. Kolečka jsou díky této vložce lehčí, než kdyby vložku tvořil samotný polymer. Kdyby byla ložiska vložena do takto měkkých kol bez vložky, za jízdy by došlo k vytlačení ložisek z kolečka. Vložka tedy slouží k pevnému definování polohy ložisek v takto měkkých kolech a bez nich by kolo nemohlo fungovat. Kolečka s jádrem se používají především pro cruizery a longboardy. [4]



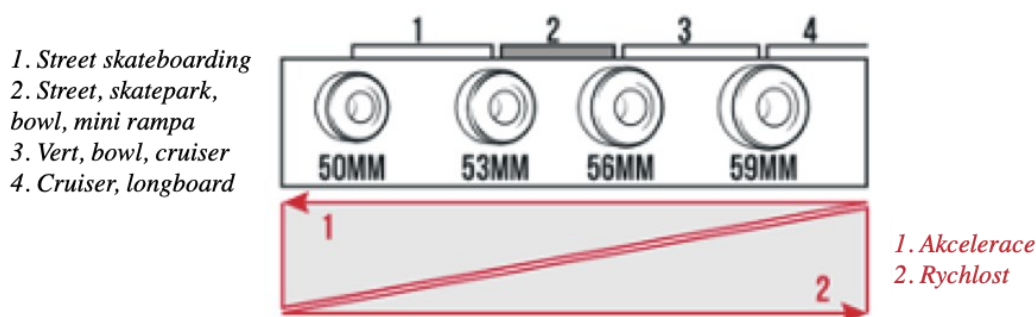
Obrázek 9 Schéma rozdělení skateboardových koleček podle tvrdosti [8]

III. Velikost průměru

Skateboardová kolečka se vyrábějí v různých velikostech. Především se pak rozlišuje velikost průměru. Specifikace průměrů koleček se udává v milimetrech. Kolečka pro skateboarding se obecně pohybují v rozmezí o velikosti průměru 50–59 mm. Cokoliv většího není vhodné pro skateboarding a je určeno pro cruizery nebo longboardy. [4, 8]

Menší kola mají větší akceleraci a jsou lehčí a kompatibilnější. Jejich maximální rychlost je však nižší než u kol s většími průměry. Což je ideální pro disciplíny street a skatepark, ve kterých je velmi často zapotřebí vyvinout co největší rychlost na co nejkratší vzdálenosti. [4, 8]

Větší kola jsou určena k dosažení vyšších rychlostí a jsou odolnější. Z tohoto důvodu jsou vhodná především pro disciplíny vert, bowl, cruiser (longboarding), ve kterých jezdci potřebují pro zvládnutí daného tricku mnohonásobně větší rychlost, než dokážou vyvinout kolečka malých průměrů (viz obrázek č.10). [4, 8]

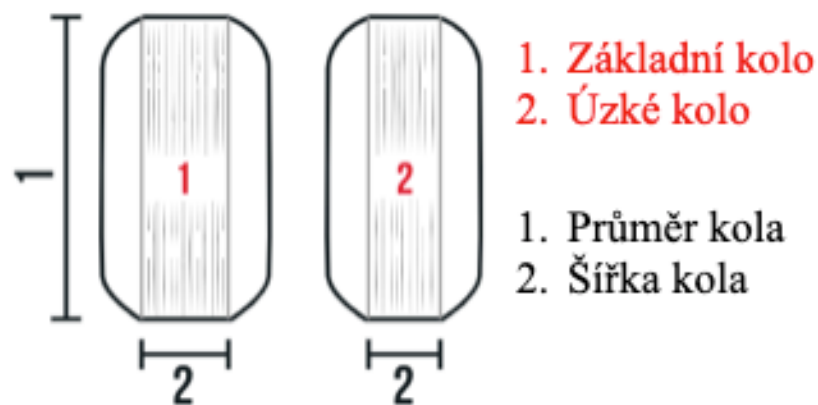


Obrázek 10 Schéma rozdělení koleček dle velikosti průměru [4]

IV. Velikost šířky

Po tvrdosti a velikosti průměru se dostáváme k velikosti šířky kolečka. Ta je podstatná především pro rozměr své kontaktní plochy se zemí. U skateboardových koleček rozlišujeme tyto rozměry dva. Základní rozměr velikosti kontaktní plochy je 18–24 mm. Ten je využíván v disciplínách jako skatepark (street), bowl, vert. Druhým rozměrem je úzký rozměr kontaktní plochy 15-17 mm, který je pro svou minimalizaci tření se zemí využíván především v disciplíně street. [4, 8]

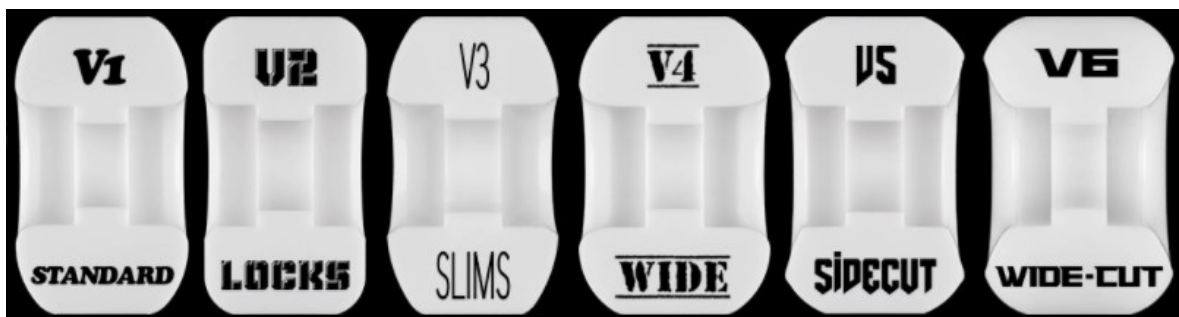
Hrany skateboardových koleček mohou být řešeny buď to zkosením nebo podkosením, nejčastěji se však používá rádius.



Obrázek 11 Schéma základního rozdělení kontaktních [4]

1.4.4 Kolečka na dnešním trhu

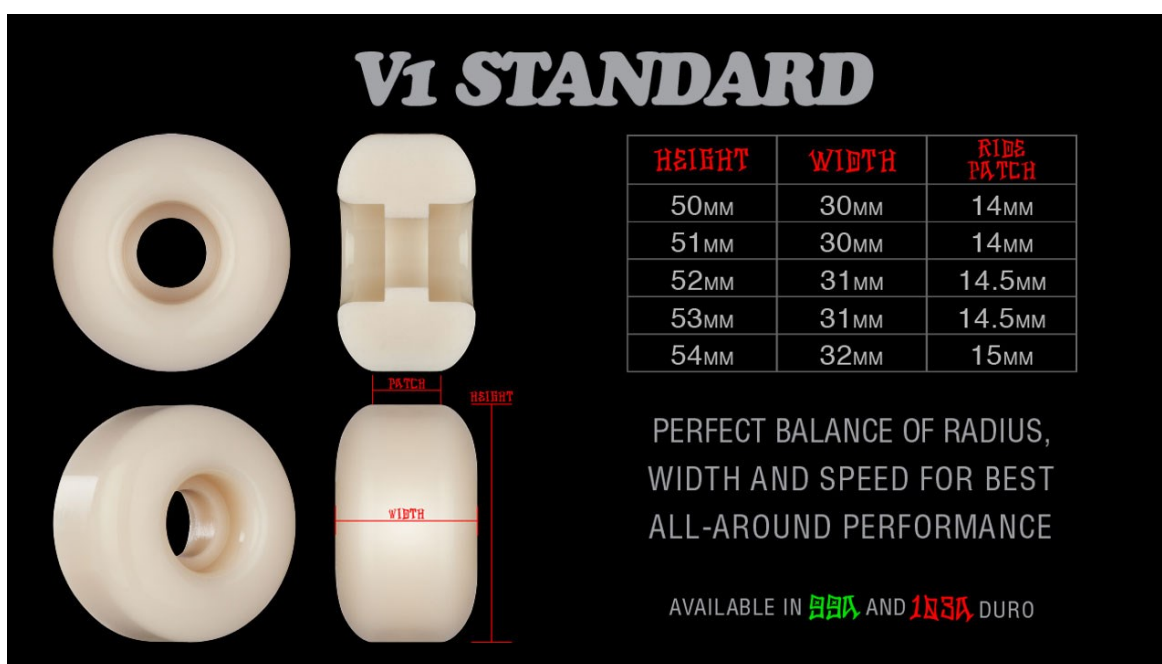
Jak již bylo výše uvedeno, předních výrobců skateboardových kol je na světě maximálně desítky. Většina z nich horečně pracuje na neustálém zdokonalování svých koleček tak, aby dosáhli vyšší rychlosti, vyššího výkonu a lepší odolnosti vůči opotřebení. Jako ukázka rozmanitosti možností výběru postačí kolečka od firmy Bones factory řady STF (Street Tech Formula). Řada STF je vlajkovou lodí firmy Bones. Jak název napovídá, kolečka jsou určena především na disciplínu street. Řada STF je rozdělena do šesti různých typů koleček, počínaje V1 až V6, z níž každý typ je speciálně přizpůsoben šířkou a tvarem pro konkrétní aplikace. Řada STF se vyrábí ve dvou stupních tvrdosti, a to sice v měkčí variantě 99A a v té tvrdší 103A (83ShB). Pro názornou ukázkou budou rozebrána pouze kolečka řady V1 a V5 (viz obrázek 12). [4, 14]



Obrázek 12 Zobrazení základních tvarů koleček řady STF od firmy Bones factory [14]

I. Bones V1 Standard

Bones V1 Standard jsou základní univerzální kolečka vlnkové řady STF. Kolečka se vyrábí ve dvou stupních tvrdosti jako celá řada STF, a to sice 99A, 103A (83ShB). Průměr kol V1 stoupá po jednom milimetru od 50 mm po 54 mm. S průměrem se zvyšuje také kontaktní plocha a celková šířka kola (viz obr. č. 13). Na základě parametrů této řady mohou být tato kola využívána pro street, skatepark, nebo bowl. Proto jsou vhodná pro začátečníky, kteří si nejsou jistí, který ze stylů budou preferovat. [4, 14]



Obrázek 13 Schéma kolečka Bones V1 standard s tabulkou jeho rozměrů [14]

II. Bones V5 Sidecut

Bones V5 Sidecut jsou kolečka řady STF, která jsou určena především pro disciplínu bowl. Jsou lehká a díky svému zakřivenému profilu umožňují jezdcům lepší stabilitu při grindování¹². Průměr kol V5 stoupá po jednom milimetru od 51 mm do 56 mm. Tvrdost je standardní jako celé řady STF měkčí kola 99A a tvrdší 103A (83ShB). [4, 14]

¹² Grindy jsou tricky, při kterých skateboardista využívá k jízdě pouze plochu trucků, kterou vymezují vnitřní čela koleček. Vnitřní čela koleček mají funkci dorazů, o které se skateboardista při grindování opírá. Grindy se jezdí po zábradlí, po okrajích bazénů, rohů, zdí, aj.

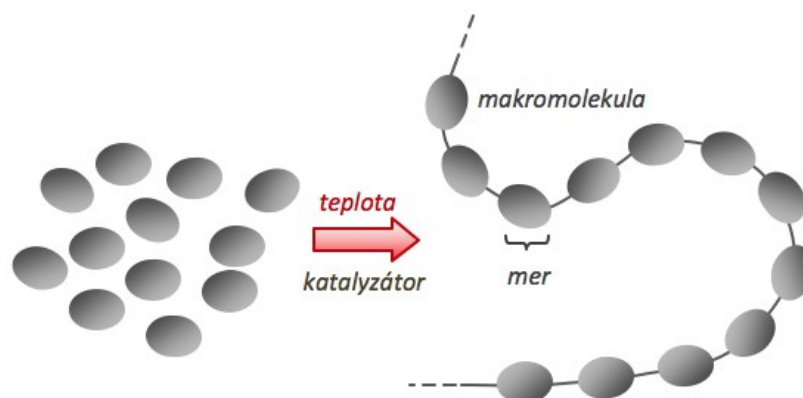


Obrázek 14 Schéma kolečka Bones V5 Sidecut s tabulkou jeho rozměrů [14]

2 KOMPLEXNÍ NÁHLED NA MATERIÁL VYBRANÉ SOUČÁSTI

Abychom dokázali vybranou součást navrhnout a vyrobit co nejlépe, ať už z technologického, ekonomického a v neposlední řadě ekologického hlediska, musíme rozumět tomu, o jaký materiál se jedná. Jak již bylo mnohokrát zmíněno, standardní skateboardové kolečko se vyrábí z polymerního materiálu, konkrétně pak z reaktoplastu – polyuretanu. Proto bude v následující kapitole podrobně rozebrán polymerní materiál. Důraz bude kladen především na termoplastické elastomery, v závěru kapitoly konkrétně pak na TPU, jakožto materiál zvolený pro alternativní možnost výroby valivého profilu.

Polymery jsou z chemického hlediska především organické látky, přírodního (např. kaučuk) nebo syntetického původu (mohou být i anorganického charakteru – např. silikony). Typickými příklady organických látek jsou dřevo, rostliny, ropa, zemní plyn apod. To, co však odlišuje polymery je fakt, že mají velké molekuly, tzv. makromolekuly, v nichž se jako článek v řetězu mnohokrát opakuje základní konstituční jednotka „mer“. Řecká předpona poly – znamená mnoho nebo více (obdobně jako například polygamie znamená více manželských partnerů, tak polymer je látka složená z několika merů). Délku makromolekul můžeme vyjádřit molární (relativní molekulovou) hmotností. Za makromolekulární látku se považuje sloučenina s vyšší molární hmotností než 10^3 g/mol. Naopak molární hmotnost nízkomolekulárních látek může být méně než 100 g/mol (např. voda má molární hmotnost ~ 18 g/mol). V případě polymerů hmotnost přesahuje hodnotu 10^4 g/mol, jedná se tedy o makromolekulární látku. Polymery tedy představují jakousi chemickou stavebnici, která umožňuje neobyčejnou proměnlivost struktur i vlastností polymerů, s nimiž se postupně budeme na následujících stránkách seznamovat. [12]



Obrázek 15 Schéma makromolekuly [12]

2.1 Struktura polymerů a její vliv na vlastnosti

Makromolekula je vybudována z velkého počtu malých, poměrně jednoduchých monomerních jednotek. Hlavní řetězec makromolekul zvaný také páteř řetězce je většinou tvořen atomy uhlíku. Mohou se v něm však vyskytovat i jiné prvky jako kyslík, dusík, křemík, a další. Na atomy, které tvoří páteř řetězce, se váží další atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku, chloru, fluoru apod. Chemická struktura makromolekul určuje všechny základní vlastnosti polymerů – mechanické, tepelné, chemické, elektrické, ale také hořlavost, míru navlhavosti, a jiné. [12]

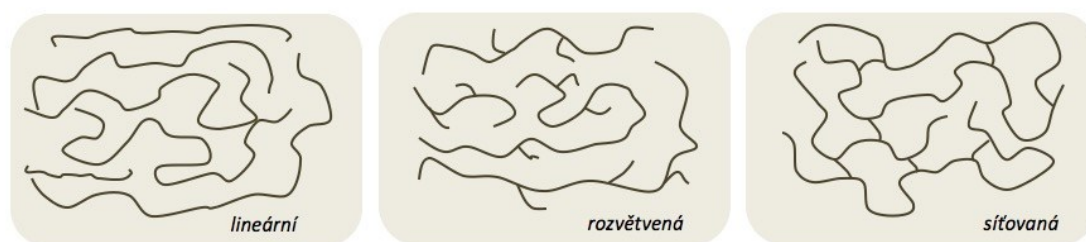
2.1.1 Tvar makromolekul

Makromolekuly mohou být lineární, rozvětvené, nebo vzájemně propojené do souvislé trojrozměrné struktury – síťované.

Lineární makromolekuly se vytváří spojováním monomerních jednotek se dvěma funkčními skupinami. V případě vícefunkčních monomerů vznikají rozvětvené, nebo síťované makromolekuly. Funkční skupiny mohou snadno vzniknout např. rozštěpením jedné ze dvou vazeb, které tvoří dvojnou vazbu v monomeru. [12]

Rozvětvené makromolekuly mají na základním řetězci vázány krátké boční substituenty, které zhoršují jejich pohyblivost. Rozvětvení makromolekul má za následek jejich vzájemné oddálení, které je příčinou poklesu sil mezi makromolekulami, a tím i zhoršení mechanické pevnosti, tvrdosti, modulu pružnosti a dalších užitečných vlastností polymeru. [12]

Sesíťované makromolekuly vznikají z lineárních makromolekul spojením sousedních řetězců na různých místech příčnými chemickými vazbami. Zesítním se omezí pohyblivost makromolekul jako celku. Takovéto polymery ztrácí rozpustnost, tavitelnost, zhoršuje se jejich houževnatost, a naopak se zvyšuje tvrdost, modul pružnosti a teplotní odolnost. Výsledné vlastnosti budou záviset na hustotě zesítnění. Sesíťovaná struktura (viz obr. č. 16) může vzniknout během polyreakce, jak je tomu u reaktoplastů, nebo záměrně dodatečným síťováním, vytvořením příčných vazeb, např. při vulkanizaci kaučuku, vytvrzování polyesterových pryskyřic nebo např. při radiačním síťování termoplastů. Vlastnosti polymeru se při tom ve všech směrech podstatně mění (viz obr. č. 17). [12]



Obrázek 16 Molekulární struktury polymerů [12]

LINEÁRNÍ	ROZVĚTVENÉ	SESÍŤOVANÉ
<ul style="list-style-type: none"> ▪ vyšší hustota materiálu ▪ vyšší pevnost ▪ vyšší modul pružnosti ▪ nižší tažnost ▪ vyšší teplotní odolnost ▪ dobrá tekutost taveniny ▪ snadná krystalizace 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nižší hustota materiálu ▪ nižší pevnost ▪ nižší modul pružnosti ▪ vyšší tažnost ▪ nižší teplotní odolnost ▪ nižší tekutost taveniny ▪ nižší schopnost krystalizace 	<p><i>Vlastnosti závisí na hustotě sítě. S vyšší hustotou sítě se materiál vyznačuje zpravidla:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ vysokou pevností ▪ vysokým modulem pružnosti ▪ vysokou teplotní odolností ▪ velmi nízkou tažností

Obrázek 17 Vlastnosti polymerů v závislosti na tvaru makromolekul [12]

2.1.2 Nadmolekulární struktura plastů

Nadmolekulární struktura (stupeň uspořádanosti makromolekul) může být popsán jednak jako amorfní a jednak jako semikrystalická. Lineární makromolekuly vytváří, na rozdíl od rozvětvených makromolekul, uspořádanější nadmolekulární strukturu a zesíťované makromolekuly strukturu neuspořádanou. Termoplasty tak mohou mít amorfní nebo semikrystalickou nadmolekulární strukturu, zatímco reaktoplasty pouze strukturu amorfní. [12,9]

Amorfní strukturou rozumíme strukturu bez jakékoliv uspořádanosti (struktura chaotická). Základním útvarem této struktury jsou globuly (klubička) o velikosti 10-30 nm, které jsou vytvořeny z chaoticky stočených makromolekul. [12, 9]

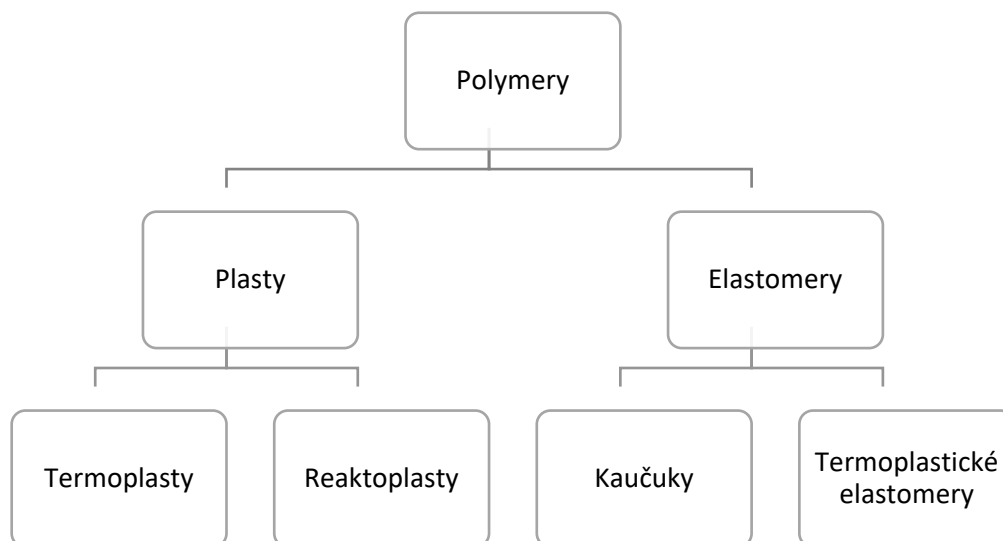
Semikrystalickou strukturou rozumíme makromolekuly, které vytváří oblasti uspořádaných makromolekul (tzv. krystality), které jsou obklopeny makromolekulami v neuspořádaném amorfním stavu. Tomuto procesu, který probíhá především ve fázi chlazení taveniny (při zpracování polymeru např. ve vstřikovací formě), říkáme krystalizace. Úplné krystalizace (monokrystalu) však v reálných podmínkách zpracování polymerů nedocílíme. Je možné je

připravit pouze v laboratoři za příznivých podmínek. Aby polymer krystalizoval, je nutná strukturní a chemická pravidelnost makromolekuly. Delší postranní řetězce makromolekuly, její chemická nepravidelnost a objemové substituenty krystalizaci znesnadňují. Polymery, jejichž struktura makromolekul je velmi nepravidelná, nekrystalizují vůbec a zůstávají v amorfním stavu. [9, 12]

2.2 Základní rozdělení polymerů

Polymery jsou chemické látky neobvyklé šíře vlastností, obsahující ve svých obrovských molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru a jiných prvků. Polymery jsou ve formě výrobku prakticky v tuhém stavu, ale v určitém stádiu zpracování ve stavu v podstatě kapalném, dovolujícím, většinou za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku nejrůznější tvar, podle předpokládaného použití. Dělíme je na elastomery a plasty (viz obr. 18). [11]

Plasty jsou technické materiály, u nichž vnější namáhání způsobuje deformace převážně trvalého charakteru. Za běžných podmínek jsou většinou tvrdé, často i křehké. Na rozdíl od polymerů plasty obsahují také přísady, které slouží k úpravě jejich vlastností, ať už fyzikálních či chemických. Podle chování při zahřívání je dělíme na termoplasty a reaktoplasty. [12]



Obrázek 18 Základní dělení polymerů [12]

2.2.1 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály, které při zahřívání měknou (přechází do plastického stavu) a lze je tvářet. Do oblasti taveniny přechází zahřátím nad teplotu tání. Zpětným ochlazením pod tuto teplotu přecházejí opět do tuhého stavu. Při zahřívání neprobíhá chemická reakce a během zpracování se nemění jejich chemická struktura. Změny, kterými materiál prochází, mají pouze fyzikální charakter a proces měknutí a tuhnutí je vratný. Termoplasty se dělí podle vnitřní struktury na amorfní a semikrystalické. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen, polypropylen, polystyren, polyvinylchlorid, nebo polyamid. [12, 9]

2.2.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí. Během dalšího zahřívání (nebo pomocí katalyzátorů) dochází k chemické změně, při které původní molekuly sesítují a od tohoto okamžiku se stávají netavitelné a nerozpustné. Chemická reakce způsobující vznik zesíťované struktury se nazývá vytvrzování. Je to nevratný proces a vytvrzený materiál nelze znovu tvarovat, svařovat ani převést do taveniny. Reaktoplast je amorfním polymerem. Výrobky z reaktoplastů se vyznačují vysokou chemickou a tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí. U reaktoplastů se produkt v nevytvrzeném stavu obvykle nazývá pryskyřice, např. fenol-formaldehydová pryskyřice, epoxidová pryskyřice, polyesterová pryskyřice. [12]

2.2.3 Elastomery

Jak je možno odvodit z názvu, jedná se o vysoce pružný materiál s nízkou tuhostí, který můžeme za běžných podmínek značně deformovat určitou silou a on se vrátí bez porušení do původního tvaru. To znamená, že taková deformace je převážně vratná. Typickým představitelem jsou kaučuky, z nichž se vulkanizací vyrábí pryže, což jsou vysoce pružné materiály, které jsou odolné trvalým deformacím. Pryž je vulkanizovaný elastomer a je charakterizována chemickými – příčnými vazbami mezi makromolekulami, které tvoří uzly prostorové sítě. V důsledku zesíťování je amorfním polymerem. [12]

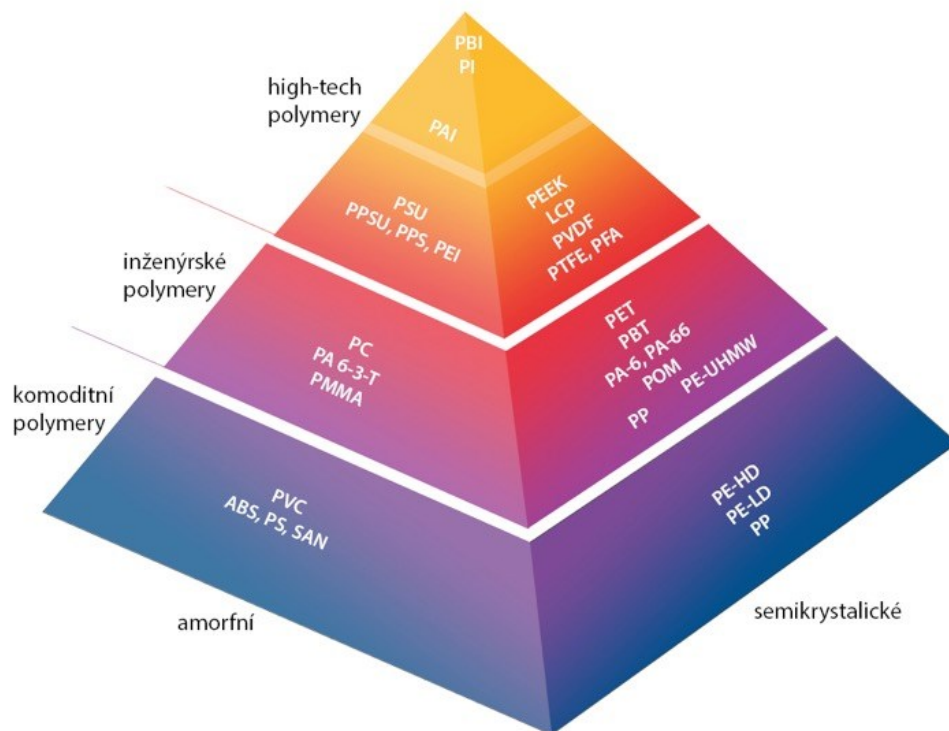
2.2.4 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery (TPE) jsou rozmanitá skupina materiálů podobných pryži, kterou lze na rozdíl od konvenčních vulkanizovaných kaučuků zpracovávat a recyklovat jako termoplast. TPE se chovají při pokojové teplotě jako elastomerní pryže (tj. odolávají deformacím a jsou pružné). Lze je však roztavit, a tudíž se jim při zahřátí snadno udává tvar (např. vstřikováním, odléváním atd.). Termo znamená „teplo“, plast znamená „tvarovatelný“ a elastomer znamená „pryž“. TPE obecně obsahuje >50 % elastomeru. Většina typů elastomerů se obtížně zpracovává, protože jsou zesíťovány. Mnoho TPE jsou kopolymery, tj. materiál, který se skládá ze dvou různých složek (monomerů). Jedna z toho je pryž a druhá jiný plast. Existují dva hlavní druhy TPE – ionomery a blokové kopolymery. Ionomer je polymer, který má podél hlavního řetězce malý počet iontových skupin. Blokovým kopolymerem je polymer, který má více než jednu sekci nebo blok. [12, 13]

Hlavní rozdíl mezi TPE a pryžemi je dán rozdílem ve vlastnostech uzlů sítě, které jsou u pryží (po vulkanizaci kaučuku) chemické povahy, zatímco u TPE jsou povahy fyzikální a vytváří je obvykle určité množství nemísitelných termoplastických segmentů rozptýlených ve spojitě elastomerní fázi. Tento rozdíl mezi zesíťovanou pryží a termoplastickým elastomerem spočívá v tom, že v zesíťovaném kaučuku jsou polymerní řetězce navzájem spojeny prostřednictvím kovalentních vazeb, tj. vazeb, které se tvoří, když dva atomy sdílejí pár elektronů. V obou typech termoplastických elastomerů jsou polymerní řetězce drženy pohromadě vazbami, které jsou slabší než kovalentní vazby. V případě ionomerů jsou to interakce dipól-dipól, které na sebe váží polymerní řetězce. V blokovém kopolymeru jsou to disperzní síly. Ale jak v ionomerech, tak v blokových kopolymerech, jsou síly mnohem slabší než síly kovalentních vazeb „síly zesíťování“ polymerního řetězce. Protože řetězce k sobě váží mnohem slabší síly, jejich rozdělení je mnohem jednodušší, a tak stačí dodat správné množství tepla, abychom řetězce oddělili od sebe a materiál byl opět zpracovatelný. TPE nedosahují sice takových elastických vlastností jako pryže, ale jejich výhodou je možnost vstřikování na běžných strojích určených pro termoplasty a také možnost jejich opětovného zpracování (recyklace). [12, 13]

2.3 Postavení polymerů na trhu

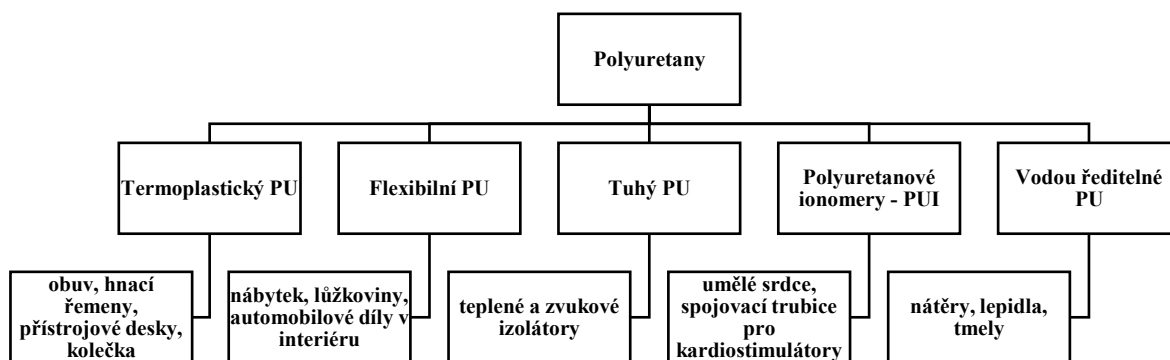
Podle postavení na trhu se polymery dělí do tří skupin – komoditní plasty, inženýrské plasty a high-tech polymery. Nejčastěji používané a zároveň nejlevnější jsou komoditní plasty, nazývané také jako plasty pro všeobecné použití. Mezi komoditní plasty řadíme např. polypropylen, polystyren, polyethylen, polyvinylchlorid a další. Druhou velkou skupinou polymerních materiálů jsou tzv. inženýrské plasty, které jsou využívány pro konstrukční aplikace. Mají lepší vlastnosti než komoditní plasty a obvykle mají i vyšší teplotní odolnost. Do této skupiny patří polyethylentereftalát, polymethylmethakrylát, polyoxymetylen a další. Díky výborné modifikaci vlastností polypropylenů lze tento materiál zařadit i do skupiny inženýrských plastů. Poslední skupinu tvoří high-tech polymery, které se vyznačují nejlepšími vlastnostmi, ale zároveň nejvyšší cenou. Patří zde polyetherimid, polypropylensulfon, polybenzimidazol a další. Na obr. č. 19 jsou polymery rozdělené do tří výše popisovaných skupin. Na spodu pyramidy jsou nejméně kvalitní a nejméně ekonomicky náročné plasty a směrem nahoru stoupá jak jejich kvalita, tak ekonomická náročnost. [12]



Obrázek 19 Rozdělení polymerů dle postavení na trhu [12]

2.4 Polyuretany PU

Polyuretany (PU) jsou speciální skupinou polymerních materiálů, které se v mnoha ohledech liší od většiny ostatních typů plastů. Dnes jsou považovány za jeden z nejvšestrannějších materiálů na světě. Jejich mnohostranné použití sahá od pružné pěny v čalouněném nábytku, přes tuhou pěnu jako izolaci stěn, střech a přístrojů až po termoplastický polyuretan používaný ve zdravotnictví a obuvi. Je využíván také pro nátěry, filmy, potahy, lepidla, aj. (viz obr. č. 20). Polyuretany se v posledních třiceti letech stále častěji používají v různých aplikacích kvůli jejich pohodlí, nákladovým výhodám, úsporám energie a možnému vlivu prostředí. Vznikají jednoduchou polyadiční reakcí, ale protože lze použít mnoho různých sloučenin k výrobě polyuretanů existuje velké množství finálních produktů. Tím se otevírá možnost výroby materiálů na míru požadovaných vlastností. [15, 16, 17]



Obrázek 20 Důležité typy PU a běžné příklady jejich aplikací [15]

2.4.1 Termoplastický polyuretan – TPU

Termoplastické polyuretanové elastomery byly první homogenní materiály, které bylo možno zpracovávat běžně používanými metodami pro zpracování termoplastů. Jejich nárůst přispívá k celkovému rychlému růstu termoplastických elastomerů. Právě snadnost zpracování je jednou z hlavních výhod TPU. Mohou být zpracovány obvyklými způsoby zpracování taveniny, jako je vytlačování, vstřikování aj. Protože některé z kompozic lze rozpustit v rozpouštědlech, lze je zpracovat výrobou roztoku. Ne všechny druhy lze použít univerzálně, každá metoda vyžaduje specifické třídy s vhodnou morfologií a viskozitou taveniny. [17]

Zásahu za objev polyuretanů má skupina vedená Ottem Bayerem na I.G. Farbenindustrie v Německu (nyní známý jako Bayer A.G.). Následující patenty pokrývající elastomerní vlastnosti polyuretanů byly vydány společností DuPont a ICI. První polyuretanový

elastomer zvaný „I-Rubber“ měl velmi špatné vlastnosti. Další vývoj vedl postupně k produktům, které měly výrazně vylepšené vlastnosti. [17]

Prvotní polyuretanové elastomery se skládaly ze tří základních složek:

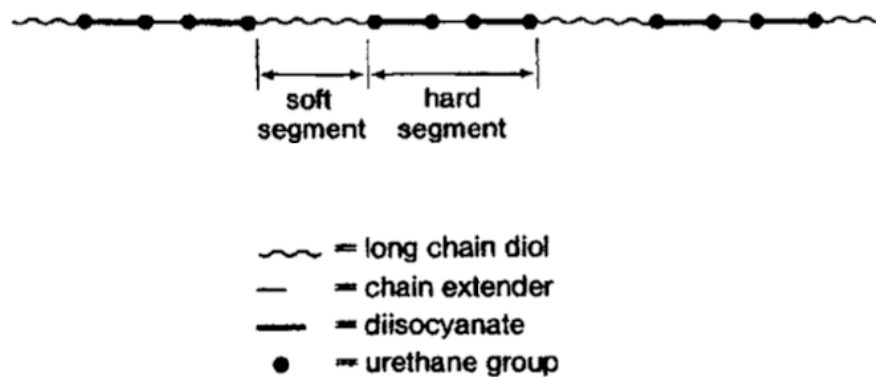
- polyesterový nebo polyetherový vysokomolekulární diol
- achainextender (voda, nízkomolekulární diol)
- objemný diisokyanát, jako je naftalen-1,5-diisokyanát (NDI)

Tyto polyuretanové elastomery nebyly skutečnými termoplasty, protože jejich teploty tání byly vyšší než teplota rozkladu uretanových vazeb. Zásadního průlomu bylo dosaženo, když byl NDI ve výše uvedených systémech nahrazen difenylmethan-4,4-diisokyanátem (MDI). První záznamy o skutečných TPU jsou z roku 1958. Dnes je dobře prokázáno, že elastomerní vlastnosti TPU jsou výsledkem multiblokové struktury fázově oddělených systémů.

Tvrký segment je tvořen přidáním prodlužovače řetězce, jako je butadien diol, k izokyanátu (ve většině případů MDI). Měkký segment se skládá z pružných polyetherových nebo polyesterových řetězců, které spojují dva tvrdé segmenty (viz obr. č. 21). Při pokojové teplotě jsou tyto dva segmenty nekompatibilní, což má za následek mikrofázové oddělení. Hnací silou separace je do určité míry vývoj krystalinity v tvrdých segmentech. Dalšími faktory jsou rozdíl v bodech tání a polaritě obou segmentů. Tvrdé segmenty mají mnohem vyšší bod tání a polaritu než mnohem méně polární a nízkotavitelné měkké segmenty.

Když se materiál zahřívá nad teplotu tání tvrdých segmentů, polymer se stává homogenní viskózní taveninou, kterou lze zpracovat obvyklými způsoby používanými pro plasty, jako je vytlačování, vstřikování a vyfukování. Ochlazení taveniny má za následek opět fázovou separaci díky regeneraci tvrdých a měkkých segmentů a polymer rozvíjí své elastické vlastnosti.

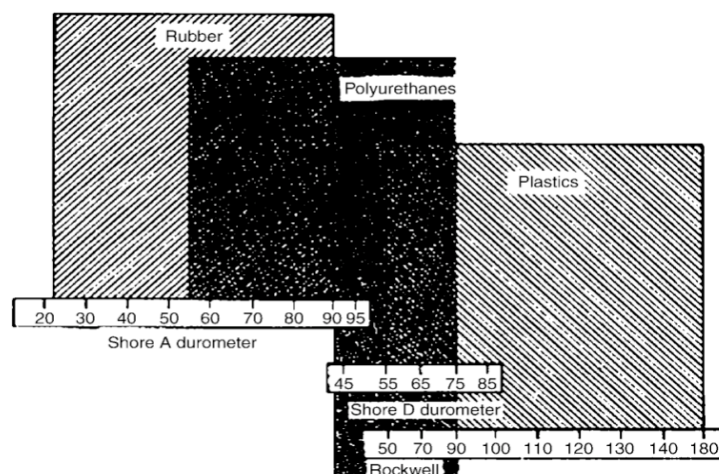
Měkké segmenty tvoří elastomerní matici, která je z velké části odpovědná za elastické vlastnosti TPU, a tvrdé segmenty fungují jako multifunkční spojovací body, které fungují jako příčné vazby i jako výztužná plniva. Tyto příčné vazby lze odstranit teplem nebo použitím rozpouštědel. Síť TPU lze obnovit ochlazením, jak již bylo uvedeno dříve, nebo odpařením rozpouštědla. [17]



Obrázek 21 Schematické znázornění TPU složené z diisokyanátu, diolu s dlouhým řetězcem a prodlužovače řetězce. [17]

2.4.1.1 Vlastnosti TPU

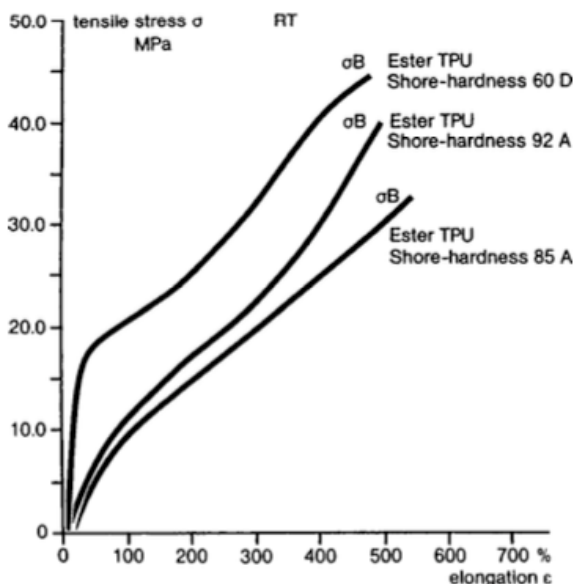
Jak již bylo uvedeno výše, TPU byly prvními polymerními materiály, které kombinovaly jak pružnost pryže, tak termoplastické vlastnosti. Podíl tvrdých segmentů (tvořených diisokyanátem a diolem s krátkým řetězcem) je faktorem určujícím většinu vlastností výsledného materiálu, jako je tvrdost, modul pružnosti, pevnost v roztržení a maximální teplota použití. Podíl měkkých segmentů určuje elastické a nízkoteplotní vlastnosti. Molární poměry polyol, prodlužovač řetězce a diisokyanát se obvykle pohybují v rozmezí 1: 0,5: 1,5 pro měkké materiály (tvrdost Shore A asi 60) až 1: 20: 21 pro tvrdší druhy (hodnoty Shore D vyšší než 70) bez použití změkčovadla nebo vyztužovadla. S hodnotami Youngových modulů v rozmezí od 5 do 2 000 MPa TPU prakticky překlenují mezeru mezi elastomery a plasty (viz obr. č. 22). Tuhost daných TPU lze dále zvýšit anorganickými a organickými plnivými, zejména skleněnými vlákny. [17]



Obrázek 22 TPU překlenující mezeru mezi elastomery a plasty [17]

2.4.1.2 Mechanické vlastnosti

Termoplastické polyuretanové elastomery vykazují vysokou pevnost v tahu a maximální prodloužení (viz obr. č 23). Mezi další cenné vlastnosti patří výjimečná odolnost proti šíření trhlin a oděru. Vlastnosti jsou závislé na teplotě a na tvrdosti. [17]



Obrázek 23 Křivky napětí-deformace tří TPU s různými hodnotami tvrdosti. [17]

2.4.1.3 Tvrdost materiálu

Tvrdost materiálu je jeho schopnost odolat deformaci, vtláčení nebo poškrábání. Pro měření tvrdosti TPU se nejčastěji používají Shore A a Shore D testy. Měkčí materiály se měří Shore A, tvrdší Shore D. Kvůli jejich povaze blokového kopolymery lze TPU s hodnotami tvrdosti mezi Shore 70 A a Shore 80 D. Se zvyšujícím se obsahem tvrdého segmentu se zvyšuje také tvrdost, tlakové napětí, odolnost proti přetržení a v neposlední řadě měrná hmotnost. [17]

2.4.1.4 Odolnost proti oděru

Termoplastické polyuretanové elastomery vykazují vynikající odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Avšak oděr lubrikovaného TPU je značně ovlivněn nárůstem povrchového tepla během zkoušky, u kterého se předpokládá, že souvisí s koeficientem tření, namáháním tlakem a kontaktními plochami. Abrazivní opotřebení lubrikovaného opotřebení je obecně nižší než u nemazaného vzorku, pravděpodobně kvůli sníženému hromadění tepla třením. Porovnání otěruvzdornosti (úbytku hmotnosti otěrem) TPU s několika dalšími polymery je uvedeno v tabulce. [17]

Tabulka 1 Odolnost různých polymerů proti oděru [17]

Materiál	Úbytek materiálu [mg]
TPU	0,4 – 3,2
Ionomer	12
Nárazuvzdorné PVC	89
Nylon 6	104
Vysoce nárazuvzdorný polystyren	545

3 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY VALIVÉHO PROFILU

Jak již bylo zmíněno, valivý profil jakožto skateboardové kolečko, vyrábí jen desítky firem na světě. Přesný poměr směsi odlévaného polyuretanu a výrobní postup není známý kvůli tomu, aby si firmy na trhu zachovaly svou suverenitu. Úvod této kapitoly předkládá základní rozdělení stávajících technologických procesů pro zpracování plastů obecně. V následující podkapitole jsou pak konkrétně rozebrány stávající technologie, kterými se vyrábí skateboardová kolečka.

Výrobky z plastů jsou nepostradatelné pro všechny obory strojírenské výroby. Plasty přicházejí ke zpracování z výrobních chemických závodů ve formě prášků, granulátu nebo kapaliny, které jsou obvykle bez příměsí (barviv, plniv, stabilizátorů, maziv aj.). Zpracovávají se rozmanitými způsoby tváření (vstřikování, lisování, odlévání, natavování, nanášení, aj.) na hotové výrobky, nebo polotovary. Polotovary např. bloky, desky, folie, trubky, tyče, profily se mohou dále tvarovat, svařovat, lepit a obrábět. Zpracování na hotový výrobek je ekonomické u velkých výrobních sérií a tvarově členitých výrobků. Další zpracovávání polotovarů je typické pro kusovou výrobu. Způsobů zpracování je mnoho a prochází rychlým rozvojem. V posledních letech se v řízení funkcí strojů uplatňuje významně automatizace, počítačové programování jednotek a robotizace potřebných mechanických a obslužných funkcí. V moderních lisovnách plastických hmot je běžné, že stroje pracují pod dozorem malého počtu pracovníků. V plně automatizovaných provozech pracují stroje již bez obsluhy a lidského dozoru. [18, 20]

Zpracovatelské technologie pro výrobu a zpracování plastů lze rozdělit do tří základních skupin:

- **Tvářecí technologie**, při nichž dochází ke značnému přemístování částic, zásadním způsobem mění tvar výchozího materiálu. Ten je před zpracováním ve formě granulátu, prášku nebo kapaliny a během výrobního procesu je přeměněn na polotovar nebo finální výrobek. Nejčastěji se používají technologie vstřikování, vytlačování (extruze), lisování, válcování, odlévání. [18, 20]
- **Tvarovací technologie** jsou takové technologie, při nichž nedochází k velkému přemístování částic. Materiál je před zpracováním ve formě polotovaru a během tvarovacího procesu se mění hlavně geometricky. Nejvýznamnějšími zástupci této skupiny jsou technologie tvarování desek, spojování plastů, obrábění, ohýbání. [18, 20]

- **Doplňkové technologie** slouží jak k úpravě výchozí suroviny (prášku, granulátu) před tvářením (sušení, barvení, přehřev), tak ke konečné úpravě výrobku (potiskování, pokovování). [18, 20]

3.1 Stávající technologie výroby skateboardových koleček – Odlévání

Odlévání je technologie, která je řazena mezi technologie ke zpracování kapalných systémů. Odlévat se dají jak termoplasty, tak i reaktoplasty (v případě skateboardových koleček polyuretany) a v omezené míře latexy. Základem této technologie je převedení polymeru do stavu, kdy je hmota velmi dobře tekutá. Výhodou odlévání je výroba dílů bez vnitřního pnutí, výroba tvarově rozdílných dílů najednou, minimální odpad, konstrukční jednoduchost a nízké náklady na formy a stroje. Nevýhodou je použití jen omezeného počtu vhodných plastů, nízká rozměrová přesnost, dlouhé pracovní cykly. Podle pohybu formy se odlévání dělí na gravitační, rotační a odstředivé. Jako poslední bude detailněji popsán proces výroby skateboardových koleček, pro které je tato technologie v rámci výše uvedených vlastností nejvhodnější. [9]

3.1.1 Odlévání do statických forem

Gravitační lití je technologicky nejjednodušším způsobem, neboť na materiál působí pouze hydrostatický tlak, a proto musí mít hmota velmi dobrou tekutost. Tento způsob lití se používá pro výrobu skateboardových koleček. Formy, které mohou být jak kovové, tak i skleněné nebo z plastů, se během procesu nepohybují a jsou ohřívány na teplotu, která je závislá na druhu odlévaného plastu. Často se touto technologií zpracovává PMMA na desky, trubky, tyče atd. Mezi dvě skleněné desky, které se mohou pohybovat, a tím reagovat na smrštění (smrštění je vysoké, neboť se zde nekompensuje dotlakem, jako např. u vstřikování), se naleje předpolymerizovaná hmota a následnou polymerací, která je velmi pomalá, vzniká konečný výrobek. Použitím vhodného plniva se může imitovat přírodní materiál, např. mramor, kámen atd. Doporučuje se však, hlavně kvůli hladkému povrchu, nejdříve vytvořit tenkou povrchovou vrstvu bez plniva a teprve potom tvořit objem výrobku naplněný vhodným plnivem. [9]

3.1.2 Odlévání do rotujících forem (rotační lití)

Při rotačním lití se forma naplní přesně odměřeným množstvím hmoty, uzavře se a přesune se do vyhřívané komory. Formy se v komoře jednak ohřívají na stanovenou teplotu a zároveň se otáčejí obvykle kolem dvou vzájemně kolmých os rozdílnými otáčkami, které však nejsou vysoké (pod 50 ot/min), a které závisí na tokových vlastnostech plastu. Po ukončení procesu se formy chladí buď vzduchem nebo vodní mlhou, ale i zde se otáčejí. Délka cyklu závisí na tloušťce stěny, která je však mnohem kratší než u gravitačního lití. [9]

3.1.3 Odlévání do rotujících forem

Odstředivé lití je založeno na stejném principu, jako rotační odlévání s tím rozdílem, že se formy otáčejí kolem jedné osy a otáčky jsou mnohem vyšší – až 1500 ot/min. V tomto případě jsou odstředivé síly mnohem větší než síly gravitační. [9]

3.1.4 Skateboardová kolečka – Odlévání do statické formy

Skateboardová kolečka se odlévají většinou do statických forem z hliníku. Formy mohou být dvoudílné nebo jednodílné s válcovým středovým kolíkem (viz obr. č. 24). Směs polyuretanu se vytvrzuje ve formě při teplotě 115 °C po dobu 40 minut. Po vytvrzení a vychladnutí jsou kolečka vytažena z formy za pomoci stlačeného vzduchu. Následně se kontrolují rozměry a tvrdost. Jako poslední se na soustruhu obrobí čela a v některých případech i průměry na požadované rozměry. [10]



Obrázek 24 Odlévání skateboardových kol do statické formy v továrně Bones [10]

4 PRVNÍ ALTERNATIVA VÝROBY – TRÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ

Tato první alternativní technologie se opírá o skutečnost, že disponujeme polotovarem z daného materiálu, který lze zakoupit v požadované tvrdosti a průměru. Při kusové výrobě se provádí obrábění desek, bloků, tyčí a trubek se, kdy by se nevyplatilo pořizovat nákladné formy pro tváření, nebo kdy je to nezbytné vzhledem ke tvaru výrobku. Většina plastů se dá dobře obrábět, zejména pevné, a přitom houževnaté homogenní materiály. Tvrdá plniva např. břidličná nebo křemičitá moučka, skleněná vlákna apod. zhoršují obrábění a otupují nástroje. Pro každý druh plastu jsou doporučeny nejvhodnější druhy nástrojů a optimální řezné úhly. Při obrábění je potřeba pamatovat na to, že plastová část se zahřívá a tepelně se roztahuje, což může mít za následek nepřesnost rozměrů a geometrickou nepřesnost tvarů. Důraz je kladen především na navrhované alternativní metody třískového obrábění, které je vyzdvihnuto v praktické části práce. [18, 20]

Pro kvalitní díly musí být přijata tato obecná opatření:

- Nízká tuhost plastu vyžaduje pevné podpory a upínací zařízení. Upínací síly působící na díl by neměly být příliš vysoké.
- Křehké plasty mohou při obrábění praskat.
- Musí být brán zřetel na nízkou teplotu měknutí, a to současně v kombinaci s nízkou tepelnou vodivostí.
- Úhel břitů nástroje by měl být obecně co nejmenší.
- Během obrábění je třeba provádět velmi účinné chlazení a používat nízké řezné rychlosti.
- U navlhavých plastů může absorpce oleje nebo vody mít vliv na rozměrové tolerance.
- Některé polymery při vyšších teplotách uvolňují dráždivé nebo jedovaté páry, jako je například PVC a zejména fluorované polymery.
- Odpružení materiálu může ovlivnit rozměry. [18, 20]

Síla nutná pro obrábění plastů je nižší než síla nutná pro obrábění kovů. Navíc příliš vysoké upínací síly vedou k pružné deformaci obrobku, což má vliv na přesnost obrábění. Proto je nutno snížit upínací tlaky a při obrábění např. tenkostěnných profilů obrobek podpírat.

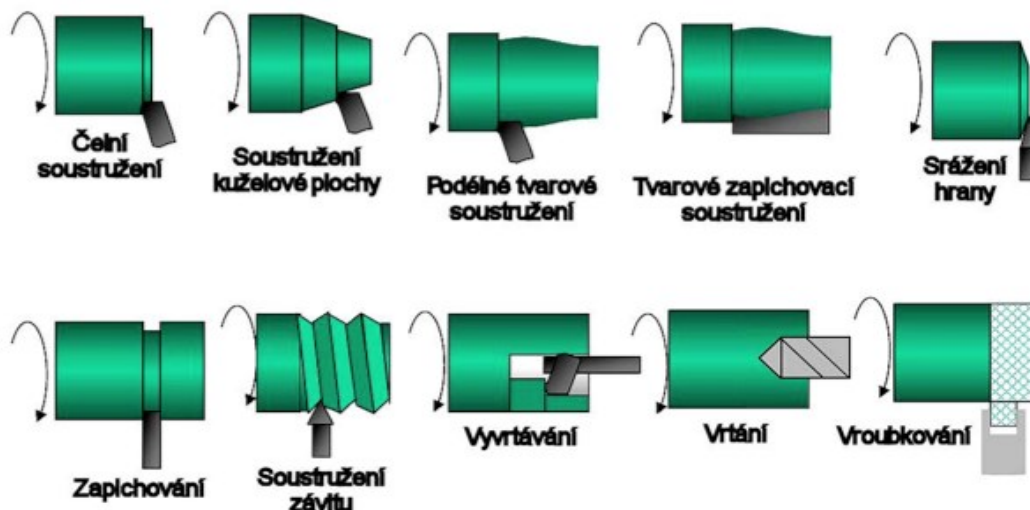
Rychlořezná ocel je u většiny polotovarů vhodná jako řezný nástroj. Pro náročnější výrobní procesy je vhodné volit karbidové, keramické a diamantové řezné nástroje nebo nástroje konkrétně určené jakou např. nástroje pro pryž. [21, 22]

Chlazení obecně není potřeba provádět mimo vrtání a řezání pásovou pilou, obzvláště pak velké průměry. Chlazení povrchu obrobku však vždy vede k lepší kvalitě povrchu a nižším tolerancím. Jsou vhodné běžné chladicí emulze pro obrábění. Nesmí však být použity pro chlazení amorfních materiálů, které jsou náchylné k vnitřnímu popraskání po použití těchto médií. Pro chlazení těchto materiálů je nutné použít čistou vodu nebo stlačený vzduch. Stlačený vzduch je rovněž velmi výhodný z důvodu dobrého odvodu třísky mezi řeznou plochou a obrobkem. [21, 22]

Tolerance obrábění pro termoplasty jsou významně vyšší než tolerance pro obrábění u kovových součástí. Může za to zvýšený koeficient tepelné roztažnosti, bobtnání vlivem absorpce vlhkosti a možné deformace způsobené vnitřním pnutím během obrábění. Deformace se objevují především tam, kde obrábíme asymetrické součásti nebo součásti se skokovými změnami průměrů. [21, 22]

4.1 Soustružení

Soustružení je obráběcí metoda používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů, většinou pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení. Z mnoha hledisek představuje právě soustružení nejjednodušší způsob obrábění a také nejužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi. Soustružením lze obrábět vnější a vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy, rovinné čelní plochy a zápichy. Na soustruzích lze dále vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit atd. Hlavní pohyb je rotační, koná ho obrobek. Posuvový pohyb je přímočarý a koná ho nástroj. Řezný pohyb se při soustružení válcové plochy realizuje po šroubovici a při soustružení čelní plochy po Archimedově spirále. [19]



Obrázek 25 Základní operace na soustruhu [19]

4.1.1 Vlastnosti polotovaru Polytan a doporučení pro obrábění

Tento materiál nabízí výjimečnou kombinaci pružnosti, velké pevnosti při natržení a vysoké oteřuvzdornosti. Díky této kombinaci dostáváme materiál, který v podobě strojních dílů dobře plní vysoké nároky na spolehlivost i při velkém dynamickém zatížení. Konkrétně pak např. v prostředí vyžadujícím dobrou odolnost proti oděru a houževnatost (viz tab. č. 2). Polytan lze při vyšších tvrdostech dobře obrábět. [22]

Polytan, který spadá pod polyuretanové elastomery má velmi dobré pevnostní parametry, odolává minerálním olejům a benzinům, vykazuje vysokou odolnost vůči oděru a má velmi dobré tlumící vlastnosti. Je vynikajícím materiálem pro řadu aplikací, jako např. těsnění, ucpávky, manžety, podložky pod stroje, pružné spojky, tlumící dorazy, potahy válců, potahy pojezdových kol pro vysoká zatížení a pomalé rychlosti, vyložení násypek ve stavebnictví a hutnictví, stěrky, stírací břity pro sněhové pluhy atd. Všechny tyto výrobky lze používat v teplotním rozsahu od -30 °C do $+80\text{ °C}$ (trvalý provoz), krátkodobě (tzn. maximálně 4 hodiny až do $+120\text{ °C}$). Nad $+160\text{ °C}$ nastává destrukce materiálu. Veškeré výrobky z Polytanu je nutno po výrobě ještě temperovat při teplotě cca 100 °C , aby proběhly dokonale síťovací reakce a vyrovnalo se vnitřní pnutí v polyuretanovém elastomeru. Doba temperace je obvykle 5 až 15 dnů dle hmotnosti, tloušťky a charakteru výrobku. [22]

Doporučení pro obrábění:

- Tvrdé typy Polytanu (80°ShA a více) lze dobře obrábět, zatímco měkké mají snahu uhýbat nástroji. Doporučené podmínky pro podélné soustružení jsou:
- Posuv nástroje z rychlořezné oceli je 0,1 až 0,2 mm/ot.
- Pro tvrdost 65 až 80° ShA řezná rychlost 300 až 500 m/min
- Pro tvrdosti 90 a 95° ShA řezná rychlost 100 až 150 m/min
- Úhly na nástroji = 12°, 53°, 25°. [22]

Tabulka 2 Souhrn vlastností jednotlivých typů Polytanu [35]

Vlastnost	Jednotka	15/65 44/65	15/80 44/80	15/90 44/90	15/95 44/95
Tvrdość (±5°)	ShA	65 65	80 80	90 90	95 95
Pevnost v tahu min.	N/mm	30 30	40 35	35 38	35 42
Tažnost (± 10 %) min.	%	600 600	600 580	580 580	500 500
Hustota	g/cm ²	1,26 1,25	1,26 1,25	1,26 1,25	1,27 1,26
Odrazová pružnost	%	43 45	50 40	50 40	42 35
Deformace tlakem při 70 °C/24 h	%	22 50	30 45	25 35	33 30
Odolnost proti oděru	mm ²	50 50	50 50	55 55	55 55
Koeficient tření			0,3-0,4 0,3-0,4	0,15-0,25 0,15-0,25	
Barevné provedení		žlutohnědá červená	zelená modrá	žlutohnědá žlutá	žlutohnědá žlutá

4.2 Vrtání

Hlavní i vedlejší pohyb u vrtání vykonává nástroj upevněný v hlavě stroje. Nástrojem je šroubovitý vrták, který má dva břity a souměrná ostří. Při vrtání oba břity vnikají do materiálu a odebírají třísku, jejíž tloušťka závisí na velikosti stoupání ostří vrtáku. Pro obrábění plastů nejvíce vyhovují vysokorychlostní šroubovité vrtáky. Během vrtání se musí chladit kapalinou, nebo vrták z díry občas vysouvat, aby se předešlo měknutí, nebo dokonce pálení materiálu. K zabránění či omezení tření a další tvorby tepla se doporučuje používat vrtáky se ztenčeným dříkem, nebo vrtat otvor postupným zvětšováním průměru vrtáku až na požadovaný průměr otvoru. Dále také provádět chlazení vhodným chladicím médiem. [22]

5 DRUHÁ ALTERNATIVA VÝROBY – VSTŘIKOVÁNÍ

Druhá navrhovaná alternativní technologie se opírá o fakt, že disponujeme materiálem, který lze vstříkovat a má zároveň vhodné vlastnosti pro vybraný valivý profil, a to sice skateboardové kolečko. Jako vhodný materiál se jeví TPU blíže popsany v kapitole 2.4.1. Výhodou tohoto materiálu oproti materiálu stávajícímu je možnost jej recyklovat. Vstřikování plastů je jedním z nejuniverzálnějších a nejdůležitějších výrobních procesů schopných hromadně vyrábět plastové díly různě složitých tvarů s vysokou rozměrovou přesností. Jedná se o hlavní techniku zpracování termoplastických a termosetových materiálů pomocí tepla a tlaku na konkrétní součásti, přičemž tato technologie zpracovává celosvětově přibližně 32 % všech plastů. V zásadě se vstřikování považuje za cyklický proces, při kterém se polymery zahřívají a postupně se roztaví ve vstřikovací jednotce vstřikovacího stroje. Tento roztavený materiál je poté přenesen pomocí kroku vstřikování do dutiny vstřikovací formy. Vstřikovací forma jako taková je velice komplexní systém složený z rozličných komponent, které jsou vystaveny vysokému počtu cyklů mechanického a tepelného namáhání. [23, 24]

5.1 Princip technologie

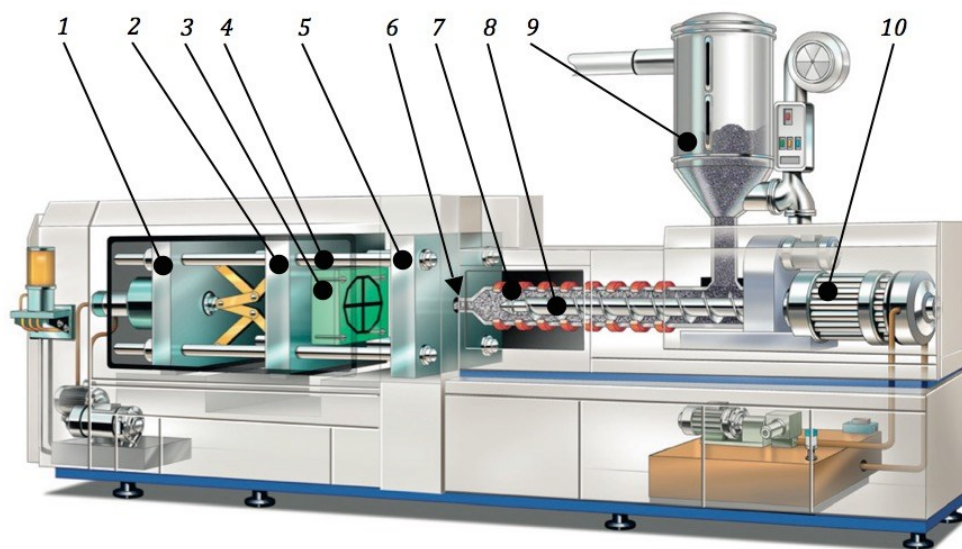
Na obr. č. 26 je znázorněno schéma stroje určeného pro vstřikování termoplastů – tzv. vstřikolisu. Vstřikování termoplastů je označováno jako tvářecí proces, protože roztavený polymer je silou dopravován do dutiny vstřikovací formy, kde ztuhne a zaujme svůj finální tvar. I když proces vstřikování termoplastů může být realizován v několika operačních i konstrukčních variantách, skládá se obvykle z následujících kroků: [24]

- Plastikace
- Vstřikování
- Dotlak
- Chlazení
- Pohyby vstřikovací formy

Během plastikace (nebo také dávkování) je polymer převáděn nejčastěji z tuhých granulí do roztaveného stavu. Toto se děje za současného působení tepla vyvíjeného tepelným zdrojem a tepla vyvíjeného třením tuhých granulí o vnitřní dutinu tavící komory vstřikolisu. Během

fáze vstřikování je roztavený polymer dopravován z tavicí komory vstřikolisu přes vtokový systém do jedné nebo více dutin vstřikovací formy. [24]

Poté co je dutina formy naplněna taveninou plastu přibližně na úrovni 90–99 % finálního objemu, nastává fáze dotlaku. Účelem této fáze je doplňování určitého množství taveniny polymeru, které vyrovnává objemové změny dílu při jeho chladnutí, kdy se smršťuje. Hodnota smrštění je specifická pro různé druhy polymeru. Po uplynutí určité doby tavenina plastu zatuhne a její tok ustává. Fáze chlazení umožňuje plastu v dutině vstřikovací formě zatuhnout do té míry, aby byl dostatečně tuhý pro odformování. Poté vstřikolis provede potřebné pohyby formy, pohyblivých jader atd. a vstřikovaný díl je vyjmut ze vstřikovací formy, tzv. „vyhozen“. [24]

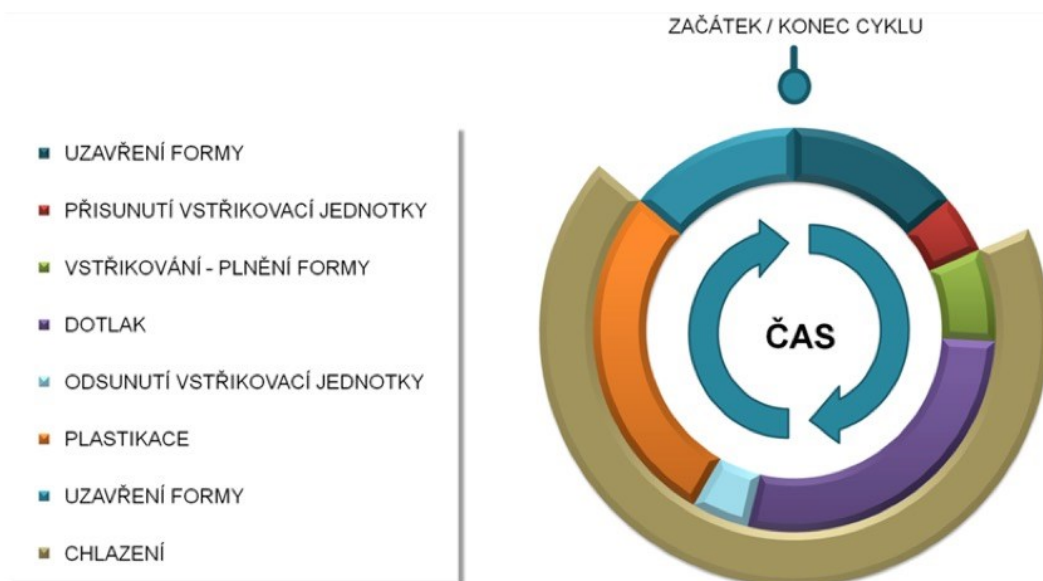


Obrázek 26 Vstřikovací stroj [24]

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

Časový sled jednotlivých výše uvedených fází vstřikovacího cyklu znázorňuje obr. č. 27. Například pro vstřikovaný díl s tloušťkou přibližně 2 mm může být celková doba cyklu okolo 20 s (v závislosti na konkrétním vstřikovaném dílu, jeho konstrukci a řešení příslušné vstřikovací formy). Čas plnění by měl být s ohledem na produktivitu co nejkratší, ovšem měl

by reflektovat rovnováhu mezi vstřikovacím tlakem a vnitřním napětím ve vstřikovaném dílu. Čas dotlaku by měl být přiměřený. Měl by být ukončen ve chvíli zatuhnutí polymeru ve vtokové soustavě. Dále je jeho působení zbytečné. Fáze chlazení je prakticky zahájena prvním kontaktem taveniny se stěnou dutiny vstřikovací formy. Jedná se o nejdelší fázi vstřikovacího cyklu, a to zejména z důvodu pomalého přechodu tepelné energie z polymeru do stěny dutiny vstřikovací formy. Někdy ovšem může dojít k situaci, kdy doba plastikace překročí dobu chlazení. Toto se děje zejména u velkoobjemových dílů z materiálů vyžadujících nízké otáčky šneku při plastikaci. Rovněž pohyby formy by měly být optimalizovány tak, aby nedocházelo k neúměrnému prodlužování výrobního cyklu, což by samozřejmě v důsledku zvýšilo výrobní náklady na vstřikovaný díl. Existuje řada modifikací standardního vstřikovacího procesu (např. vstřikování s pomocí plynu, vstřikování s pomocí vody, zastřikování, vícekomponentní vstřikování, kompresní vstřikování apod.). Cílem realizace těchto modifikací je rozšíření okruhu výrobků vyráběných pomocí technologie vstřikování, zlepšení jejich vlastností a zvýšení produktivity celého procesu. [23, 24]



Obrázek 27 Vstřikovací cyklus [24]

5.2 Vstřikovací formy

Forma je nástroj, který se upíná na vstřikovací stroj. V průběhu vstřikovacího cyklu je naplněna roztaveným plastem. Po zchlazení je zhotoven výstřik s požadovaným tvarem a funkčními vlastnostmi. Forma během své životnosti musí splňovat tyto požadavky: odolnost vůči vysokým tlakům, snadné vyjmutí výstřiku, snadná obsluha a automatický provoz, nízká pořizovací cena, snadná a rychlá výroba a vysoké využití zpracovávaného plastu a v neposlední řadě zajistit požadovaný rozměr a kvalitu výstřiku. [34, 23]

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin podle:

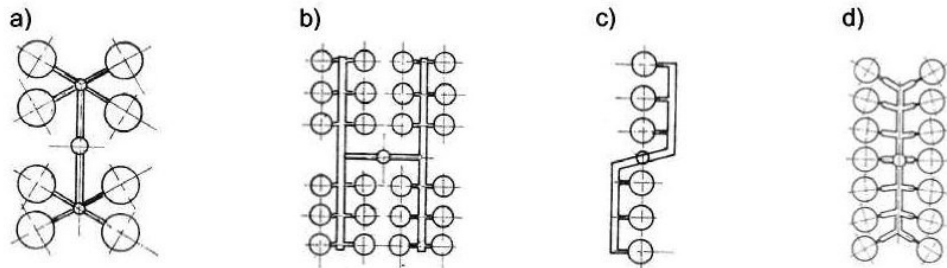
- **násobnosti** – jednonásobné a vícenásobné
- **způsobu zaformování a konstrukčního řešení** – dvoudeskové, třideskové, etážové, čelist'ové, vytáčecí apod.
- **konstrukce vstřikovacího stroje** – formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny

Jelikož výroba formy je finančně náročná, je někdy výhodné vyrábět tzv. násobné formy pro výrobu několika součástí najednou. Konstrukce plastového dílce je mnohem složitější než konstrukce plechového výrobku. Při jeho výrobě musí konstruktér brát v úvahu také to, co se během vstřikování děje v dílu z plastu. Pro konstrukci plastového dílce jsou dány jisté konstrukční omezení týkající se tvarů a vlastností. Z hlediska konstrukce formy musí tvar její dutiny umožnit především vhodné zaformování. Tímto hlediskem je určena i dělicí plocha. Na dělicí plochu je pak vázána celá koncepce formy s vtokovým systémem, s vyhazovacím systémem, temperací, odvzdušněním aj. [34, 23]

5.3 Vtokový systém

Vtokový systém je systém kanálů a ústí vtoku, který má za úkol zajistit správné naplnění dutiny formy taveninou plastu v nejkratším možném čase s minimálními odpory, snadné odtržení nebo oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku. Vtoková soustava a její celkové uspořádání je dáno konstrukcí formy a počtem tvarových dutin (násobností formy). Především u termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva,

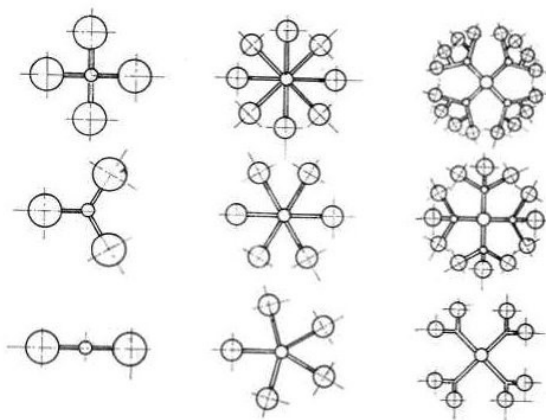
rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled aj. Vtok má být řešen tak, aby naplnění formy proběhlo co nejkratší možnou cestou bez teplotních a tlakových ztrát a pokud možno všude ve stejném čase. Pokud je forma řešena jako vícenásobná, musí dojít k naplnění všech dutin současně, a to při stejných technologických podmínkách, a tím pádem i při stejné teplotě taveniny a při stejném vnitřním tlaku. [33]



ŘADOVÉ USPOŘÁDÁNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

a) se stejnou délkou toku taveniny

b), c), d) s nesterjnou délkou toku taveniny (nevhodné bez korekce ústí vtoku)



SYMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

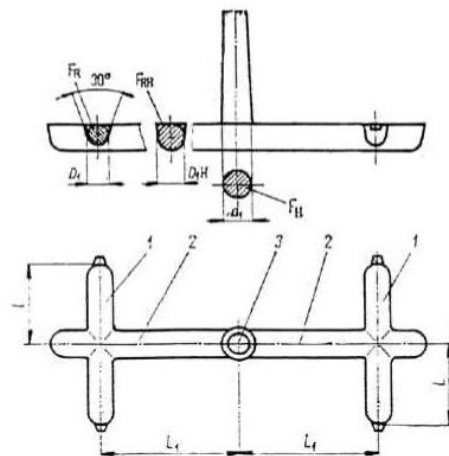


SCHÉMA SOUSTAVY ROZVÁDĚCÍCH KANÁLŮ
 1- vedlejší, 2- hlavní,
 3- vtokový kužel

Obrázek 28 Uspořádání vtokových systémů [33]

Uspořádání tvarových dutin (jak lze vidět na obr. č. 28) je možné buď do hvězdy, nebo v řadě. Z pohledu plnění tvarových dutin je lepší uspořádání do hvězdy, jelikož k zaplnění dochází ve stejný čas a při stejném tlaku. Naproti tomu při uspořádání v řadě je toto možné

pouze změnou rozměrů rozváděcích kanálů směrem ke vzdálenějším dutinám. Charakter výstřiku, způsob a ekonomika výroby pak určí, zda se použije:

- Studený vtokový systém, který je vhodný pro jednodušší výstřiky a malosériovou výrobu.
- Horký vtokový systém, který je vhodnější pro složitější výstřiky a hromadnou výrobu. [33]

5.4 Vstřikování TPU

TPU lze vstřikovat na strojích s vratným pohybem šroubového nebo beranového typu. Klasický šnekový stroj s vratným pohybem je výhodný, protože poskytuje homogennější taveninu s rovnoměrnější teplotou. Kromě toho umožňuje zpracování při nižších teplotách, což je obecně výhodou. Stroj vhodný pro vstřikování TPU by měl mít schopnost regulace teploty až do 250 °C a dodávat vstřikovací sílu až do 105 MPa. Pro zajištění maximálního tlaku se doporučuje zpětný ventil. Nejčastěji se doporučuje volně tekoucí tryska se zpětným zúžením. V blízkosti oblasti špičky šneku by měl být nainstalován posuvný kontrolní kroužek vyrobený z kalené oceli, nejlépe nitridovaný pro zpomalení opotřebení, aby se zabránilo zpětnému toku a udržel se maximální tlak. Je upřednostňován univerzální šnek s poměrem délky k průměru L / D alespoň 20:1 s kompresním poměrem 2:1 až 3:1, i když pro většinu aplikací je vyhovující kompresní poměr 2,5:1. [17]

Jak již bylo uvedeno, pro zpracování TPU je vhodná volně tekoucí tryska s reverzním zúžením na výstupu z trysky. Tryska by měla být co nejkratší. Dále je nezbytné, aby tryska vtoku a vtoková vložka správně dosedaly a otvor vtoku by měl být o něco menší (asi o 20 %) než otvor vtokové vložky. Upřednostňuje se samostatná regulace teploty pro trysku. [17]

5.4.1 Procesní podmínky

Provozní parametry teploty, času a tlaku do značné míry ovlivňují vlastnosti hotového dílu. [17]

Teplota válce plastikační jednotky se mění především podle zvolené finální tvrdosti TPU, s designem součásti, poměrem objemu vstřiku k objemu hlavně a dobou cyklu. Typický teplotní profil se pohybuje v rozmezí od 177 °C do 232 °C. [17]

Vstřikovací tlak v rozmezí 41–103 MPa je dostatečný pro většinu dílů vyrobených z TPU. Nízké vstřikovací tlaky nemusí formu zcela naplnit materiálem. Příliš velký tlak může způsobit, že materiál přeplní formu a vytvoří Dieselův efekt. Dotlak je obvykle přibližně 60–80 % vstřikovacího tlaku. [17]

Rychlost šneku – pro TPU jsou typické rychlosti otáček šneku 20–80 ot/min, přičemž se dává přednost 20–40 ot/min. [17]

Rychlost vstřikování – je výhodné co nejrychleji vyplnit dílec, aby se minimalizovala viditelnost po dělicí rovině, zlepšila se pevnost kolem dělicí roviny, zlepšil se vzhled povrchu a snížil se vstřikovací tlak. Silnější části profilu vyžadují nižší rychlost vstřikování a naopak tenčí vyžadují vyšší rychlost vstřikování. Celková doba vstřikování závisí na stroji a geometrii dílu. [17]

Teplota formy – optimální teplota temperačního média se mění v závislosti na tloušťce zpracovávaného dílu a tvrdosti TPU. Silnější části vyžadují nižší teplotu, aby účinně ochladily TPU v rozumné době cyklu. Měkčí TPU vyžadují nižší teplotu formy než tvrdší. Rozsah je obvykle 10–66 °C. Správná teplota formy zajišťuje správné vyhození dílů. [17]

Doba cyklu – optimální cyklus pro výrobu kvalitních dílů zahrnuje rychlé plnění a dostatečně dlouhou dobu na chlazení, aby vyhazovače dílu nepronikly do ještě neochlazeného dílu. [17]

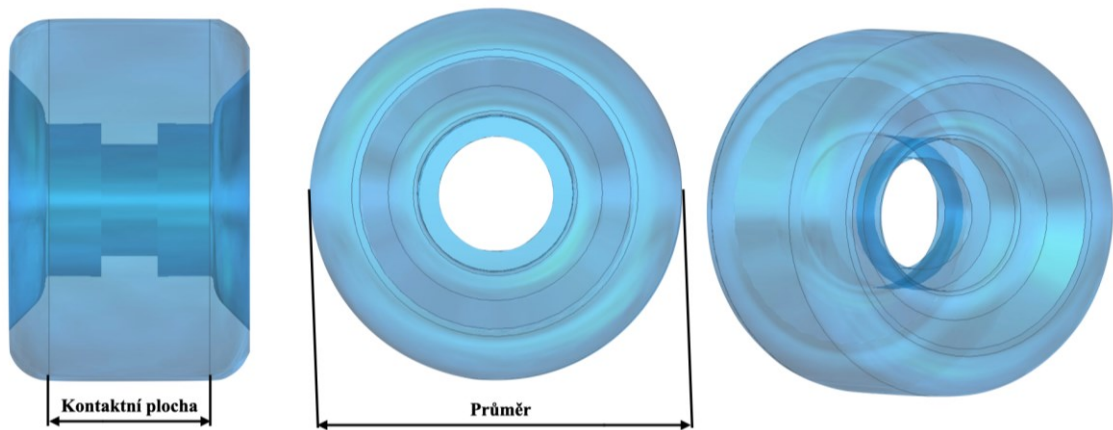
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 NÁVRH SKATEBOARDOVÉHO KOLEČKA

Abychom mohli zkoumat alternativní možnosti výroby tohoto valivého profilu, potřebujeme mít samotné kolečko navrženo. To vše za předpokladu, že zkoumané alternativní technologie výroby navrženého profilu jsou dvě, a to sice třískové obrábění a vstřikování. Technologii třískového obrábění je v plánu realizovat kompletně. U technologie vstřikování bude navržen pouze prototyp formy, který by mohl být realizován např. v diplomové práci. Obě technologie však budou doplněny především o ekonomickou část, abychom v samotném závěru práce mohli porovnat stávající technologie výroby s navrhovanými. Tato kapitola předkládá dva návrhy skateboardových koleček, které jsou odlišné především velikostí průměru. Navržené profily se opírají o poznatky z teoretické části práce první kapitoly. Následně je vybrána ta varianta, která je vhodnější. Zohledňována je především vhodnost parametrů pro dané technologie a ojedinělost. Kolečka byla navržena v programu Solid Edge a Catia V5. Důvodem odlišnosti použitých programů je subjektivní tendence zjistit, který z nich má uživatelsky příjemnější prostředí pro navrhování daného profilu, popřípadě pro navrhování tvarových částí forem pro vstřikování. Ve vhodnějším programu bude tedy dále pokračovat realizace tvarových částí formy.

6.1 První varianta návrhu skateboardového kolečka

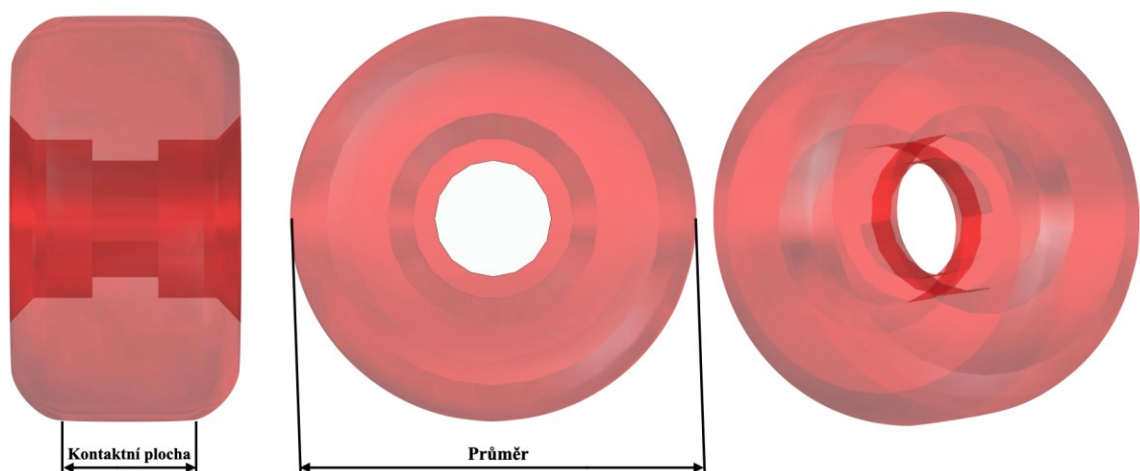
Jedná se o návrh kolečka o velikosti průměru 52 mm, celkové šířce 35 mm a šířce kontaktní plochy 23 mm. Šířka kolečka a velikost průměru působí v rámci street skateboardingu poněkud nestandardně, avšak jedná se o záměr. Vnitřní rozměry jsou standardní vůči ose trucků a rozměrům ložisek. Je zapotřebí vzít do úvahy fakt, že kolečka s jádry jsou kolečka měkčí než 90 ShA. Jak lze vidět na obr. č. 29, navržená kolečka jsou kolečka standardní, tedy kolečka bez jader, a to s předpokládanou tvrdostí v rozmezí 90 – 95 ShA. Pokud bude tato varianta vyrobena a podrobena testu (tzn. ložisko nebude mít tendenci být vytlačeno z kolečka, nebo naopak) ověříme si, zda standardní rozdělení podle tvrdosti v rámci vložky v kolečku (viz. kapitola 1.3.4) je správné. Navržené parametry by měly poskytovat správné chování profilu jak pro disciplínu street, tak skatepark. Díky malé velikosti průměru bude mít jezdec větší akceleraci. Dále pak velikost šířky a kontaktní plochy v kombinaci s předpokládanou tvrdostí by měla poskytovat co nejkomfortnější jízdní vlastnosti. Tato varianta byla navržena v programu Solid Edge.



Obrázek 29 Model první varianty skateboardového kolečka

6.2 Druhá varianta návrhu skateboardového kolečka

Jedná se o kolečko o velikosti průměru 56 mm, celkové šířce 32 mm a kontaktní ploše 16 mm. Vnitřní rozměry jsou standardní vůči ose trucků a rozměrům ložisek. Předpokládaná tvrdost tohoto profilu se pohybuje v rozmezí 100 ShA – 104 ShA (84 ShB). Díky takto vysoké tvrdosti hovoříme o kolečkách standardních, tedy bez jader. Na základě poznatků z teoretické části práce, konkrétně pak z kapitoly 1.3.4, jde o kolečka vhodná pro street skateboarding. Díky rovinným tvarům čel kol bude skateboard lépe držet v grindech. Velikost průměru dodává skvělý poměr mezi maximální rychlostí a dobou životnosti kolečka. Program, ve kterém byla druhá varianta vymodelována je Catia V5.



Obrázek 30 Model druhé varianty skateboardového kolečka

6.3 Zdůvodnění volby první varianty

V rámci navrhovaných alternativních technologií výroby, a to sice třískové obrábění a vstřikování, se jeví jako vhodnější první varianta. Především pak u technologie vstřikování není obvyklé vstřikovat tlustostěnné výrobky, za což skateboardové kolečko lze považovat. Pokud nebereme v potaz celkovou šířku kolečka, pak se tloušťka stěny (myšleno od vnějšího průměru po vnitřní průměr ve, kterém jsou uloženy ložiska) dle normativ pohybuje mezi 14,5 mm – 18,5 mm. U první varianty, která má výrazně menší průměr než varianta druhá, hovoříme o tloušťce stěny 15 mm. To znamená, že se snažíme eliminovat tloušťku profilu na minimum, vyhovující jak pro alternativní technologii výroby – vstřikování, tak pro správné chování skateboardového kolečka. Dále je zapotřebí zmínit, že u třískového obrábění, jak již bylo zmíněno ve 4. kapitole, počítáme s faktem, že disponujeme polotovarem z daného materiálu, který lze zakoupit v požadované tvrdosti a průměru. V rámci tohoto experimentu byl pořízen polotovar o nejbližším vyšším průměru první varianty, tedy tyč o průměru 55 mm. Jak již bylo zmíněno, alternativní technologii – třískové obrábění je v plánu kompletně realizovat, takže bychom měli dostat čtyři hotová kolečka. Ze skateboardového pohledu je první varianta netradiční, a proto by mohlo být zajímavé ji testovat.

7 PRVNÍ ALTERNATIVNÍ TECHNOLOGIE – SOUSTRUŽENÍ

Abychom mohli tuto metodu provést, musíme disponovat polotovarem o daných parametrech. Jako tento polotovar se jeví Polytan, který je blíže popsán v kapitole 4.1.1. Pořizovací cena tyče o průměru 55 mm a délce 250 mm je 775 Kč. Jedná se o tyč 15/90 (viz tab. č. 2).

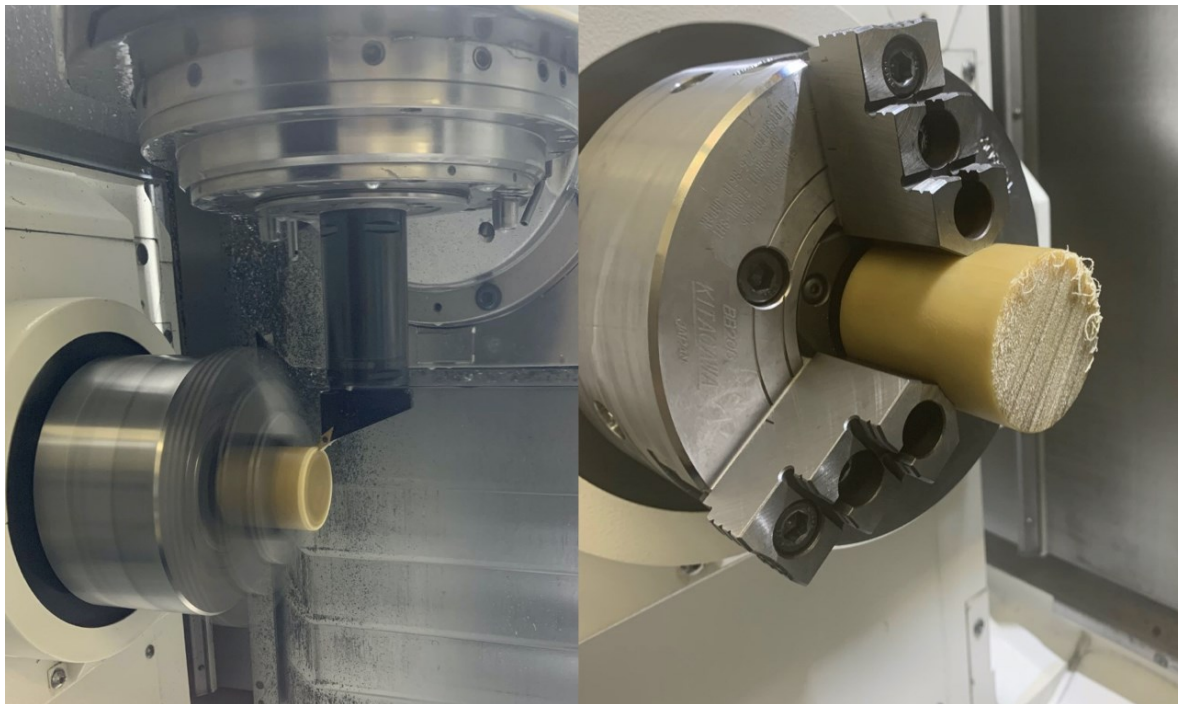


Obrázek 31 Zakoupený polotovar – Polytan

Soustružení vybrané varianty z předešlé kapitoly probíhalo na půdě univerzity. Pracovalo se na CNC obráběcím centru DMG MORI | NTX 1000. Programovalo se přímo ze stroje. Ač se při obrábění dodržely všechny doporučené parametry uvedené výrobcem materiálu z kapitoly 4.1.1, polotovar měl hned při zarovnání čela tendenci uhýbat nástroji a nedal se tedy obrobít. V rámci toho byla testována jak stanovená řezná rychlost 100–150 m/min, tak dvojnásobně vyšší 300 m/min. Kombinací posuvu nástroje a řezné rychlosti bylo tedy vyzkoušeno více. Problém se však i přes to nepodařilo vyřešit. Kolečka tedy z tohoto typu polotovaru být vysoustružena nemohou, nebo jen velmi obtížně a s velkými nepřesnostmi. Můžeme spekulovat o řadě skutečností, které tento problém mohly způsobit. Při volbě nástrojů byla tendence volit takové, které mají co nejmenší úhel břitu. Pro obrábění byly využity břitové destičky, které jsou primárně určeny k obrábění ocele. Proto mohl být využit např. nástroj pro obrábění pryže nebo zakoupen polotovar tvrdší než 90 ShA, který by se patrně dal obrábět lépe. V poslední řadě nelze opomenout možnou chybu způsobenou lidským faktorem. V tab. č. 3 jsou vypsány parametry, které definují proběhlý pokus o obrobení materiálu.

Tabulka 3 Parametry definující proběhlý pokus o soustružení

Stroj	DMG MORI NTX 1000
Hodinová sazba na stroji	1 500 Kč/h
Nástroj pro vnější průměr (řezná jednotka)	C5 – SVJBL – 35060-11
Prodlužovací adaptér	C5 – 391.01 – 50090A
Břítová destička	VBMT110202-F1, CP500
Nástroj pro vnitřní průměr (řezná jednotka)	C5 – SVQBL – 15080-11
Břítová destička	VBMT110202-F1, CP500
Posuv	0,1 - 0,2 mm/ot
Řezná rychlost	100–150 m/min, (300 m/min)
Strojní čas pro výrobu jednoho kolečka	17 min



Obrázek 32 Průběh zarovnání čela a stav polotovaru po něm

7.1 Úskalí technologie soustružení

Zakoupený polotovár se v rámci této tvarovací technologie nepodařilo obrobit. Je ale zapotřebí shrnout si úskalí této technologie, a to v komplexním pohledu na celou problematiku. Hlavním důvodem, proč je fakt, že i když se výše uvedený polotovár nepodařilo obrobit, neznamená to, že např. s tvrdším polotovárem by to jít nemohlo. Tento fakt by byl příjemný zejména tím, že pokud bychom vyráběli kolečko tvrdší než 90 ShA, tedy kolečko standardní, nemuseli bychom jakkoliv zohledňovat vložky pro ložiska, které by se při této navrhované alternativní technologii zhotovovaly jen těžko. I když má materiál Polytan vhodné preference pro to být skateboardovým kolečkem, nemůžeme si bohužel tento předpoklad ověřit v praxi při jízdě na skateboardu, protože se kolečko nedalo obrobit. Poslední nedořešenou otázkou zůstává, zda absence jádra nebude při jízdě způsobovat vytlačení ložisek z kolečka (viz kapitola 6.1).

Je za potřebí si uvědomit, že pokud se jedná o jakékoliv třískové obrábění, tak automaticky vzniká odpad. Ten v porovnání se stávajícími technologiemi výroby – odlévání nevzniká téměř žádný. Velkosériová výroba koleček pomocí třískového obrábění by tedy byla neekologická. Lze však uvažovat, že tato navrhovaná alternativní technologie má předpoklady na to být vhodná pro malosériovou výrobu. Ta si často zakládá na ojedinělosti daného výrobku, což první varianta kolečka rozhodně je.

V rámci porovnání navrhovaných alternativních technologií bude spočítána ekonomická stránka výrobního procesu – soustružení.

7.2 Ekonomické zhodnocení soustružení

Ekonomické vyhodnocení je provedeno na základě stanovené hodinové sazby na stroji DMG MORI | NTX 1000. Tato hodinová sazba je stanovena vedoucím práce na 1 500 Kč/h. Cenu vztahujeme na čas výroby jednoho kolečka. Ten je v našem případě 17 min + 2 min na manipulaci (viz tab. č. 4). Z našeho polotovaru o délce 250 mm by šlo vyrobit 6 koleček první varianty. Pořizovací cena polotovaru na jedno kolečko by tedy byla cca 130 Kč. Závěrem je vypočtena teoretická cena jedné sady (tzn. čtyř koleček).

Tabulka 4 Podklady pro výpočet ekonomického zhodnocení technologie soustružení

Hodinová sazba na stroji - C_{hs}	1 500 Kč/h
Čas výroby jednoho kolečka - t_S	17 min + 2 min na manipulaci
Pořizovací cena polotovaru o délce 250 mm	775 Kč
Šířka první zvolené varianty kolečka - b	35 mm

$$C_{V1k} = \frac{C_{hs} \cdot t_S}{60} = \frac{1\,500 \cdot 19}{60} = 475 \text{ Kč/kolečko}$$

$$n = \frac{250}{b} = \frac{250}{35} = 7,14 \rightarrow \text{Z polotovaru o délce 250 mm lze zhotovit 6 koleček}$$

$$C_{P1k} = \frac{775}{6} \approx 130 \text{ Kč}$$

$$C_{1k} = C_{V1k} + C_{P1k} = 475 + 130 = 605 \text{ Kč}$$

$$C_{Sk} = C_{1k} \cdot 4 = 605 \cdot 4 = 2\,420 \text{ Kč}$$

C_{V1k} – Cena výroby jednoho kolečka

C_{hs} - Hodinová sazba na stroji

t_S - Čas výroby jednoho kolečka

n - Maximální počet vyrobených koleček z polotovaru

C_{P1k} – Cena polotovaru pro jedno kolečko

C_{1k} – Celková výrobní cena za jedno kolečko

C_{Sk} – Celková výrobní cena jedné sady koleček

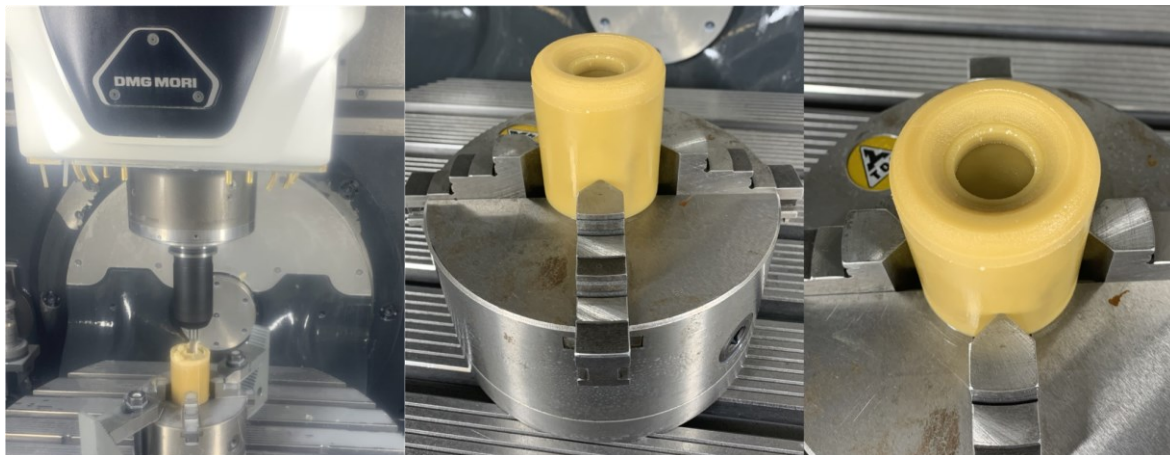
8 NÁHRADA ZA SOUSTRUŽENÍ – FRÉZOVÁNÍ

Obrábět rotační součásti za pomoci frézování není standardní. Nám ale tato metoda poslouží jako kompenzace za nevydařené soustružení. Polotovarem pro frézování zůstává stále stejný materiál (viz předešlá kapitola). Programovalo se v programu Siemens NX a pracovalo se na stroji DMG MORI | DMU 50. Všechny použité nástroje byly dvoubřité. Jelikož z obrábění technologií frézování máme výsledek (viz obr. 33.), v tab. č. 5 je vyobrazen souhrn jednotlivých operací s konkrétními parametry pro každou z nich. Dále je nutné uvést, že tato tabulka obsahuje parametry obrábění pouze jedné poloviny skateboardového kolečka.

Průběh frézování byl poněkud upokojivější než průběh soustružení. Tendence materiálu uhýbat nástroji byla výrazně vyšší u hrubovacích operací. U operací dokončovacích byla tato tendence výrazně nižší, avšak výsledný povrch součásti neodpovídal očekávané kvalitě. Při vyšších rychlostech posuvu docházelo k deformaci polotovaru.

Tabulka 5 Průběh operací pro obrobení jedné poloviny kolečka

Operace	Nástroj	Čas [h:min:s]	Posuv [mm/min]	Otáčky [ot/min]	Řezná rychlost [m/min]
Zarovnání čela	SECO JS512120D3C.0Z2- NXT	0:00:19	1 000	8 000	301,44
Vrtání	SECO SD1103- 1600-045-16R1	0:00:21	120	1 500	75,34
Hrubování vnějšího průměru	SECO JS512120D3C.0Z2- NXT	0:03:53	1 700	7 984	300,84
Dokončování vnějšího průměru bez rádiusů	SECO JS512120D3C.0Z2- NXT	0:00:16	850	8 000	301,44
Hrubování vnitřního průměru	SECO JS512120D3C.0Z2- NXT	0:01:32	1 800	7 984	300,84
Dokončování vnitřního průměru bez rádiusů	K-TOOLS 122030A.120	0:00:04	1 800	7 984	300,84
Dokončování rádiusů	SECO JS532060D1B.0Z2- NXT	0:08:32	1 800	14 500	273,13



Obrázek 33 Průběh frézování a výsledná obrobena polovina polotovaru

8.1 Úskalí technologie frézování

Hlavním úskalím technologie frézování je v našem případě fakt, že obrábíme rotační součást, která je v naprosté většině případů vhodná obrábět za pomoci technologie soustružení. Neznamená to však nutně to, že by daný profil touto technologií obrobit nešel. Naopak se ukazuje, že se v našem případě s daným polotovarem tato technologie jeví jako vhodnější a díky ní se nám podařilo získat alespoň nějaký výstup pro navrhovanou alternativu výroby – třískové obrábění. Je tedy zřejmé, že v rámci experimentu je tato technologie plně dostačující. V rámci kusové, a už vůbec ne sériové výroby, je tato cesta zcela nevyhovující. V průběhu frézování se musí nejméně třikrát měnit nástroj, kdežto u soustružení pouze dvakrát. Čas strávený výměnami nástrojů nám tedy zbytečně prodlužuje celkový čas výroby jednoho kolečka.

8.2 Ekonomické zhodnocení frézování

Ekonomické vyhodnocení je provedeno na základě stanovené hodinové sazby na stroji DMG MORI | DMU 50. Hodinová sazba je stanovena opět vedoucím práce na 1 200 Kč/h. Cenu vztahujeme na čas výroby jednoho kolečka. Ten je v našem případě 20 min + 2 min na manipulaci (viz tabulka č. 6). Z předešlého ekonomického vyhodnocení soustružení je vypočtena cena polotovaru pro jedno kolečko. Cena polotovaru pro výrobu jednoho kolečka zůstává stejná jako u předešlého ekonomického zhodnocení, a proto nám nic nebrání v tom, abychom ji využili pro výpočet ceny sady koleček i zde.

Tabulka 6 Shrnutí parametrů potřebných pro výpočet ekonomického zhodnocení

Hodinová sazba na stroji - C_{hs}	1 200 Kč/h
Čas výroby jednoho kolečka - t_S	20 min + 2 min na manipulaci
Cena polotovaru pro jedno kolečko - C_{P1k}	130 Kč

$$C_{V1k} = \frac{C_{hs} \cdot t_S}{60} = \frac{1\,200 \cdot 22}{60} = 440 \text{ Kč/kolečko}$$

$$C_{1k} = C_{V1k} + C_{P1k} = 440 + 130 = 570 \text{ Kč}$$

$$C_{Sk} = C_{1k} \cdot 4 = 570 \cdot 4 = 2\,280 \text{ Kč}$$

C_{V1k} – Cena výroby jednoho kolečka

C_{hs} - Hodinová sazba na stroji

t_S - Čas výroby jednoho kolečka

C_{1k} – Celková cena za jedno kolečko

C_{P1k} – Cena polotovaru pro jedno kolečko

C_{Sk} – Cena jedné sady koleček

9 DRUHÁ ALTERNATIVNÍ TECHNOLOGIE – VSTŘIKOVÁNÍ

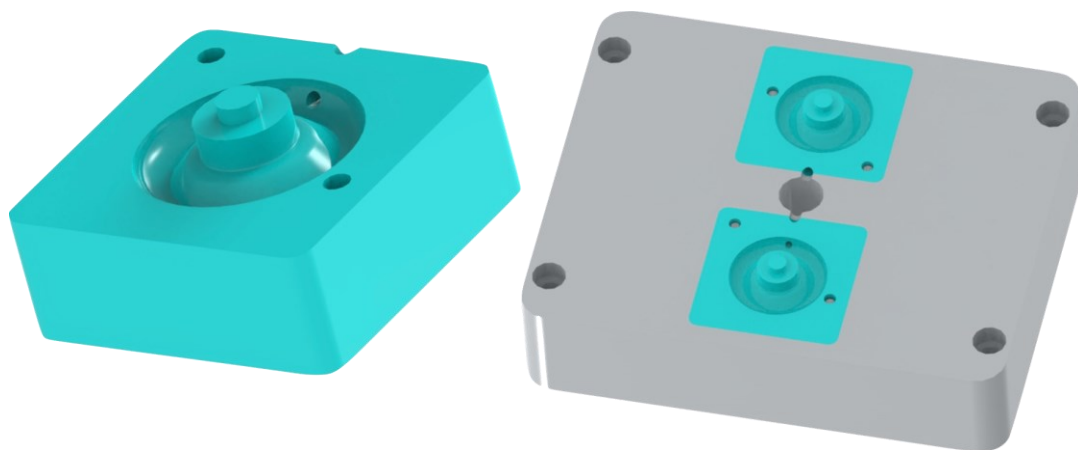
Tato kapitola se opírá o fakt, že univerzita vlastní univerzální vstřikovací rám, do kterého jsou zakomponovány tvarové vložky kolečka. Jedná se o univerzální rám FW50 o rozměrech 296 x 346 mm od firmy Meusburger. Je tedy navržena idea prototypu dvojnásobné vstřikovací formy za pomoci tvarových vložek – tvárníku a tvárnice. Způsob zaformování probíhá za pomoci dvoudeskového systému a jedná se o formu se vstřikem kolmo na dělicí rovinu. Je pracováno s konceptem, že se bude jednat o formu se studeným vtokovým systémem. K práci pro navrhování částí formy byl využit program Catia V5. Schéma sestavy formy o celkové výšce 367 mm je na obrázku 34. Jelikož chceme, aby vstřikovaný materiál byl vhodný k recyklaci, což stávající materiál skateboardových koleček není, je v rámci této alternativní technologie počítáno s tím, že vhodným vstřikovaným materiálem by měl být TPU (viz kapitola 5.4). Jako jednu z hlavních výhod tohoto materiálu oproti materiálu stávajícímu shledává autor práce v možnosti jej recyklovat. Po ukončení doby životnosti koleček by se dala například recyklovat a přetvořit na bushingy do trucků (viz kapitola 1.3.2) anebo přidávat do nových koleček v takovém poměru, aby nedošlo ke zhoršení vlastností jako je např. otěruvzdornost. Závěrem této kapitoly je spočítáno ekonomické zhodnocení formy se studeným vtokovým systémem.



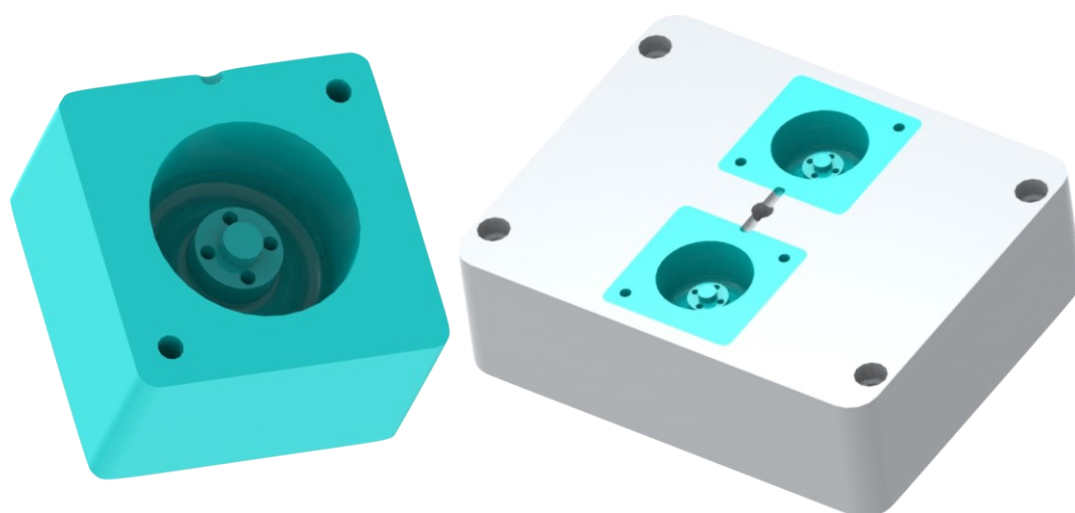
Obrázek 34 Univerzální forma UTB

9.1 Návrh tvarových částí formy

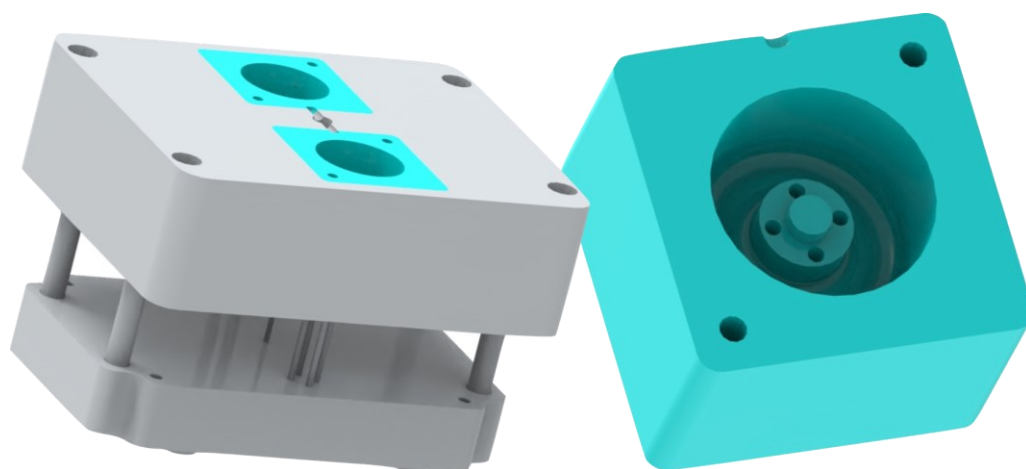
Tvarové části formy jsou řešeny pomocí tvarových vložek, které jsou uloženy do samotného tvárníku a tvárnice. Tvárník se nachází v posuvné části formy a tvárnice na straně pevné. S ohledem na to, že skateboardová kolečka se prodávají v sadách po čtyřech kusech, bylo by vhodnější navrhovat formu čtyřnásobnou, abychom měli v rámci jednoho vstřikovacího cyklu vyhotovenou celou sadu. Musíme však zohlednit maximální kapacitu plastikační jednotky vstřikolisu, pro který je tento experiment navržen. Vstřikovací stroj univerzity Tomáše Bati (Arburg Allrounder 470 E 1000-290) má kapacitu plastifikační jednotky nedostačující, a proto je navržena forma dvojnásobná. Tato forma se tedy skládá ze čtyř tvarových vložek. Ty jsou navrženy s vrtanou kanálovou temperací. Bylo by zřejmě vhodnější použít konformní temperaci, ale tento druh temperace by se musel vyrábět např. za pomoci odlévání nebo metodou 3D tisku. Nevýhodou by v takovém případě mohla být skutečnost, že takto vyrobená tvarová vložka prošla vysokým tepelným namáháním a má větší tendenci být náchylná na praskliny a deformace. Materiál stanovený pro tvarové vložky je nástrojová ocel W.Nr. 1.2343ESU. V ekonomické části budeme počítat s cenou za tento materiál, která se v případě našeho objemu pohybuje okolo 500 Kč. Obě tvarové vložky jsou vystředěny dvěma čepy o průměru 6 mm a pojištěny dvěma šrouby M6, které zachytávají axiální síly (ty vznikají adhezí materiálu k dutině) ve směru otevírání formy. Umístění dělicí roviny bylo zvoleno tak, aby její stopa nijak nezasahovala do funkčních ploch. Jak si lze z obrázků níže povšimnout, dělicí rovina vede z bodu mezi koncem kontaktní plochy kolečka a začátkem rádiusu do středu kolečka tak, aby nebyly nijak ovlivněny plochy, ve kterých jsou uložena ložiska. Samotný vtok je umístěn na místě kolečka, které není funkční, a proto možná vzniklá stopa po vtoku nepředstavuje problém. Vtokový kanál ve vložce má tedy banánový tvar. O vyhazování výrobku (viz obr. 37) se starají čtyři válcové vyhazovací kolíky o průměru 4 mm, které prochází tvárníkem a při vyhození jsou v kontaktu s dorazovou plochu pro ložiska v kolečku. Na této ploše nám nijak nevadí možné stopy po vyhazovačích.



Obrázek 35 Samotné tvarové vložky a tvarové vložky umístěné v tvárnici



Obrázek 36 Samotné tvarové vložky a tvarové vložky umístěné v tvárníku



Obrázek 37 Tvárník s vyhazovacím systémem a detailní zobrazení vložky s otvory pro vyhazovače

9.2 Ekonomické zhodnocení dvojnásobné vstřikovací formy s SVS

Ekonomické zhodnocení u vstřikovacích forem je diametrálně odlišné než předešlá ekonomická zhodnocení. Především pak kvůli tomu, že výrobky, které se vstřikují, spadají v naprosté většině pod velkosériovou výrobu. Abychom dostali výslednou cenu za výrobu jednoho skateboardového kolečka, budeme postupovat podle Davida Kazmera [34]. Z tohoto zdroje je také převzato veškeré značení operátoru při výpočtu. V tab. č. 7 jsou uvedeny obecné parametry, které budou využity v jednotlivých krocích výpočtu ekonomické části.

9.2.1 Základ pro výpočet ceny formy

Celková cena formy se vypočítá za pomoci vztahu níže. Konkrétně se jedná o součet ceny za výrobu tvarových částí formy ($C_{cavities}$), cenu za rám vstřikovací formy (C_{mold_base}) a cenu zohledňující komplexnost formy ($C_{customization}$).

Cenu za univerzální rám formy známe z webových stránek firmy Meusburger. Cena rámu vstřikovací formy (C_{mold_base}) je tedy 129 642 Kč.

$$C_{total_mold} = C_{cavities} + C_{mold_base} + C_{customization}$$

Tabulka 7 Obecné parametry zvolené varianty skateboardového kolečka

Parametr	Skateboardové kolečko
Materiál	TPU
Množství výroby	80 000 ks
Vnější průměr	52 mm
Šířka kolečka	32 mm
Plocha kolečka	10,59 mm ²
Objem kolečka	55,2 mm ³
Hmotnost kolečka	0,054 kg
Tloušťka stěny	15 mm

9.2.2 Výpočet celkového času obrábění tvarových částí formy

Abychom mohli určit cenu za obrábění tvarových částí formy, musíme si spočítat dobu potřebnou k obrobení objemu dutiny formy (t_{cavity_volume}). Ta je funkcí objemu materiálu (polotovaru vložky – $V_{cavity_material}$) a rychlosti úběru materiálu ($R_{material_volume}$), který je dosazen ze zdroje [34]. Podobně pak musíme spočítat dobu potřebnou k obrobení plochy dutiny (t_{cavity_area}). Dále pak koeficient komplexivity dílu ($f_{cavity_complexity}$), což je bezrozměrná veličina a při jejím výpočtu figuruje doposud nezminěná šířka stěny (h_{wall}) viz tab. č. 7. Nakonec vše dosadíme do vztahu pro výpočet celkového času obrábění tvarových částí formy ($t_{cavity_machining}$). Uvažujeme zde s 50 % využitelností CNC stroje a vše násobíme hodnotou 1, jakožto koeficientem pro nákladovost CNC frézování.

$$t_{cavity_volume} = \frac{V_{cavity_material} [m^3]}{R_{material_volume} [m^3/h]} = \frac{0,08 \cdot 0,08 \cdot 0,06}{7 \cdot 10^{-4}} = 5,48 h$$

$$t_{cavity_area} = \frac{A_{part_surface} [mm^2]}{R_{material_area} [m^2/h]} = \frac{10,59}{0,017} = 0,62 h$$

$$f_{cavity_complexity} = \frac{A_{part_surface} [mm^2] \cdot h_{wall} [mm]}{V_{part} [mm^3]} = \frac{10,59 \cdot 15}{55,2} = 2,87$$

$$t_{cavity_machining} = \frac{t_{cavity_volume} [h] + t_{cavity_area} [h]}{f_{machining_efficiency} [\%]} \cdot f_{cavity_complexity} \cdot f_{machining}$$

$$t_{cavity_machining} = \left(\frac{5,48 + 0,62}{50\%} \right) \cdot 2,87 \cdot 1 = 8,75 h$$

9.2.3 Cena za dokončovací operace tvarových částí formy

Z předešlé podkapitoly (9.2.2) známe celkový čas pro obrábění tvarových částí formy ($t_{cavity_machining}$). Dále máme stanovenou hodinovou sazbu na CNC frézovacím stroji na $C_{hCNC} = 1\,200$ Kč/h vedoucím práce. Vypočítáme tedy předběžnou cenu za obrábění tvarových částí formy ($C_{cavity_machining}$), kdy do celého součinu dosadíme násobnost formy (jedná se o formu dvojnásobnou) a vzhledem k tomu, že druhá dutina je replikou dutiny

první, bude její cena ponížena ($\times 0,85$). Cena za dokončovací operace ($C_{cavity_finishing}$) se počítá z plochy, která těmito dokončovacemi operacemi projde. V našem případě je to kontaktní plocha kolečka a plocha v níž jsou uložena ložiska. Velikost této plochy je $S_{finishing_area} = 6\,239,84\text{ mm}^2$. Jelikož je forma dvojnásobná, násobíme ji dvěma, a tím pádem nám plocha vzroste na $S_{finishing_area} = 12\,479,68\text{ mm}^2$. Nakonec je tato plocha vydělena koeficientem finishing rate, který představuje rychlost úběru materiálu při dokončovacích operacích pro dosažení kvality povrchu v rozmezí hodnot $R_a\ 0,05\text{--}0,1$. Tento podíl je vynásoben hodinovou sazbou dokončovacích operací C_{hf} , která je stanovena vedoucím práce na 625 Kč/h .

$$C_{cavity_machining} = t_{cavity_machining}[h] \cdot C_{hCNC}[Kč/h] \cdot 0,85 \cdot 2$$

$$C_{cavity_machining} = 8,75 \cdot 1\,200 \cdot 0,85 \cdot 2 = 17\,850\text{ Kč}$$

$$C_{cavity_finishing} = \frac{S_{finishing_area}[m^2]}{Finishing\ rate[m^2/h]} \cdot C_{hf}[Kč/h] = \frac{0,0125}{0,001} \cdot 625 = 7\,812,5\text{ Kč}$$

9.2.4 Celková cena za obrábění tvarových částí formy

Celková cena tvarových částí formy se spočte jako součet ceny za obrábění, ceny za dokončovací operace a ceny za polotovary, ze kterého jsou tvarové části formy vyrobeny. Cena za polotovar byla stanovena $C_{mat} = 500\text{ Kč}$.

$$C_{cavities} = C_{cavity_machining} + C_{cavity_finishing} + C_{mat}$$

$$C_{cavities} = 17\,850 + 7\,813 + 500 = 26\,163\text{ Kč}$$

9.2.5 Výpočet ceny zohledňující komplexnost formy

Cena za příslušenství formy se vypočítá na základě sumy dvou koeficientů – $f_{cavity_customizing}$, a $f_{mold_customizing}$. Koeficient $f_{cavity_customizing}$ odpovídá faktorům ovlivňujícím náklady na přizpůsobení tvarových vložek formy a koeficient $f_{mold_customizing}$ odpovídá faktorům řízení nákladů na úpravu základny formy. Suma jednotlivého koeficientu představuje přidané přizpůsobení pro každý ze subsystémů jako je přívodní systém, temperační

system, vyhazovací systém, struktura formy aj. Parametry, kterými disponuje naše forma jsou uvedeny v tab. č. 8.

Tabulka 8 Hodnoty koeficientů příslušné formy

	Konkretizace	$f_{cavity_customizing}$	$f_{mold_customizing}$
Vtokový systém	Se dvěma deskami, SVS	0,05	0,1
Temperanční systém	Vrtané kanály	0,15	0,4
Vyhazovací systém	Válcové vyhazovací kolíky	0,1	0,1
Struktura formy	Žádné	0	0
Periferie formy	Čidla teploty formy	0,05	0,1
Σ Suma		0,35	0,7

$$C_{customization} = C_{cavities} \cdot \sum_i f_{cavity_customizing}^i + C_{mold_base} \cdot \sum_i f_{mold_customizing}^i$$

$$C_{customization} = 26\,163 \cdot 0,35 + 129\,642 \cdot 0,7 = 99\,907 \text{ Kč}$$

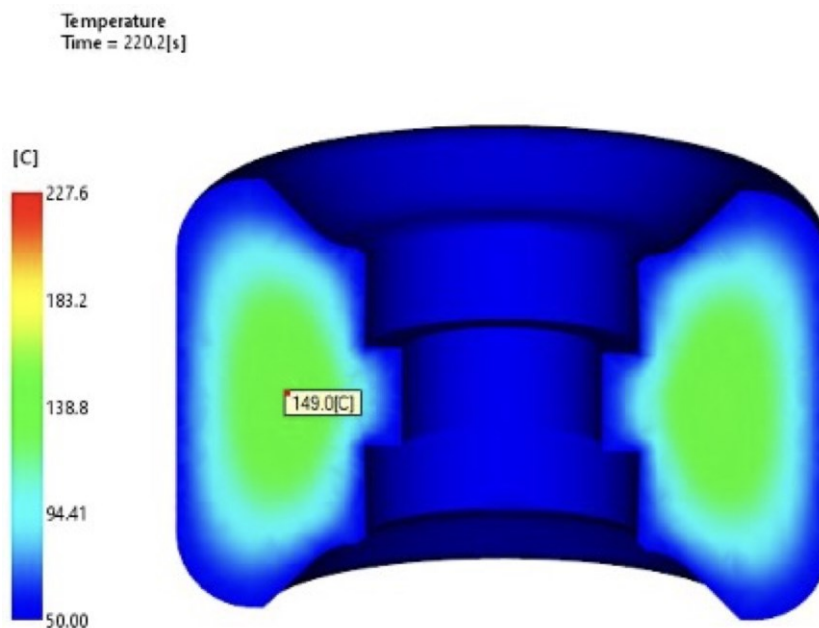
9.2.6 Celková cena na výrobu formy

$$C_{total_mold} = C_{cavities} + C_{mold_base} + C_{customization}$$

$$C_{total_mold} = 25\,663 + 129\,642 + 99\,907 = 255\,212 \text{ Kč}$$

9.2.7 Cena výroby jednoho kolečka

Abychom mohli spočítat cenu výroby jednoho kolečka C_{part} , tak si musíme vztáhnout každou jednotlivou cenu na jedno skateboardové kolečko. $C_{\text{mold/part}}$ se vypočte jako celková cena na výrobu formy vydělená plánovaným množstvím výroby (v našem případě 80 000 ks). Dále cena za materiál potřebný pro výrobu jednoho kolečka $C_{\text{material/part}}$. Cena TPU (C_{TPU}) na trhu dnes činí 153 Kč/kg. Jelikož známe hmotnost kolečka (m_{wheel}) z programu Solid Edge, stačí spolu tyto dvě hodnoty vynásobit. Hmotnost je navýšena z 0,054 kg na 0,006 kg, a to kvůli zohlednění materiálu, který spotřebuje např. zaplnění vtokového kanálu. Jako poslední je zapotřebí zohlednit sazbu stroje při výrobě jednoho kolečka $C_{\text{process/part}}$. Zde figuruje hodinová sazba vstřikovacího stroje $C_{\text{h_molding}}$, která je stanovena vedoucím práce na 1 000 Kč/h. Doba jednoho vstřikovacího cyklu t_{cyklus} , byla stanovena za pomoci simulace v programu Autodesk Moldflow. Bylo zjištěno, že v rámci optimálního chlazení, bude dosaženo vyhazovací teploty TPU 150 °C za 220 s (viz obr. 38). Součin je dále podělen 2 abychom dostali cenu za jedno kolečko z dvojnásobné formy. Při výpočtu ceny výroby jednoho kolečka C_{part} pracujeme s faktem, že výnos nikdy nebude 100procentní. Součin všech parametrů je tedy vydělen 0,95, protože předpokládáme, že 5 % vstřikovaných dílů nebude dosahovat požadované kvality. V úplném závěru je vypočítána výrobní cena sady koleček C_{sk} .



Obrázek 38 Znárodnění tuhnutí taveniny na vyhazovací teplotu 150 °C

$$C_{mold/part} = \frac{C_{total_mold}[K\check{c}]}{80\,000 [Ks]} = \frac{255\,212}{80\,000} = 3,2 K\check{c}$$

$$C_{material/part} = C_{TPU}[K\check{c}/kg] \cdot m_{wheel}[kg] = 153 \cdot 0,06 = 9,2 K\check{c}$$

$$C_{process/part} = \frac{C_{h_molding}[K\check{c}/h] \cdot t_{cyklus}[s]}{3\,600 \cdot 2} = \frac{1\,000 \cdot 220}{3\,600 \cdot 2} = 30,6 K\check{c}$$

$$C_{part} = \frac{C_{mold/part} + C_{material/part} + C_{process/part}}{yield}$$

$$C_{part} = \frac{3,2 + 9,2 + 30,6}{0,95} = 45,3 K\check{c}$$

$$C_{sk} = C_{part} \cdot 4 = 45,32 \cdot 4 = 181,28 K\check{c}$$

10 EKONOMICKO TECHNOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ ALTERNATIVNÍCH METOD VÝROBY

Základní rozdíl v navržených alternativních technologiích spočívá zejména v jejich vhodnosti či nevhodnosti pro malosériovou či velkosériovou výrobu. Od toho se také odvíjí výrobní cena za jednu sadu skateboardových koleček viz tab. č. 9.

Navrhovaná tvářecí technologie vstřikování obecně počítá s velkosériovou výrobou o objemu 80 000 ks, přičemž jak bylo vypočteno v kapitole 9.2 výrobní cena za sadu koleček činí 181,25 Kč. Z ekologického hlediska lze usoudit, že navrhovaná alternativní metoda vstřikování je se svým materiálem TPU výrazně úspěšnější než metody třískového obrábění. Nejen, že produkuje minimální odpad, což se podepisuje také na ekonomické stránce věci, ale právě minimální vzniklý odpad (např. vtok) je možné recyklovat. V ekonomickém zhodnocení u vstřikování je uvedená cena 153 Kč za 1 kg TPU. TPU je možné zakoupit i jako technologický odpad z firem a podle informací od vedoucího práce se jeho cena na trhu pohybuje do 100 Kč/kg. U tvarovacích technologií je to přesně naopak. Odpadu vzniká zbytečně mnoho.

Po praktické realizaci tvarovacích metod výroby (soustružení a frézování) vyšlo najevo, že tyto navrhované alternativy jsou vhodné spíše pro kusovou výrobu. Zároveň si však musíme uvědomit, že stroje, na kterých byl experiment prováděn, jsou stroje mnohonásobně převyšující požadavky na obrobení takto tvarově jednoduché součásti, jako je skateboardové kolečko. To jde ruku v ruce s pořizovací cenou strojů, která je několikrát vyšší než cena za stroj, který by byl technologicky dostačující. Odrazem toho se je jejich hodinová sazba, ze které jsou jednotlivé výrobní ceny vypočteny. Je tedy zřejmé, že výrobní cena u těchto tvarovacích technologií by mohla být v případě volby adekvátního stroje i o polovinu nižší. Pokud bychom přece jen chtěli velkosériovou výrobu provádět za pomoci tvarovacích operací, lze předpokládat, že cena polotovaru by se pohybovala v nižších sazbách než v rámci kusové výroby.

Závěrem nelze opomenout fakt, že v rámci vstřikování si můžeme upravovat parametry materiálu jako tvrdost, otěruvzdornost aj. U obrábění by to šlo taktéž, ale zdá se to být poněkud kontraproduktivní – vytvářet materiál se specifickými vlastnostmi, aby z něj nakonec vznikl odpad.

Tabulka 9 Souhrn cen sady skateboardových koleček

Metoda výroby	Výrobní cena sady koleček
Soustružení	2 420 Kč
Frézování	2 280 Kč
Vstřikování	181,25 Kč

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout alternativní možnosti výroby zvoleného valivého profilu – skateboardového kolečka, a to zhodnotit z ekonomického hlediska. Skateboardová kolečka se komerčně vyrábí z polyuretanu odléváním, v široké škále možných tvrdostí a velikostí. Cena sady (4 koleček) se na dnešním trhu pohybuje okolo 1 000 Kč.

Po základním teoretickém přehledu k dané problematice, byla navržena a realizována první alternativa výroby – třískové obrábění, v podobě soustružení. Tu provázely komplikace, neboť zvolený materiál nevykazoval výrobcem deklarované vlastnosti při soustružení, v důsledku čehož se nedal řádně obrobít. V zájmu co nejvíce se přiblížit k navrženému tvaru výrobku, bylo přistoupeno k další formě třískového obrábění kterým bylo frézování. Aby mohl být díl obroben, muselo se počítat se základní technologickou optimalizací jako nastavení rezných rychlostí, určení typů nástrojů aj. V našem případě se nakonec frézování ukázalo jako vhodnější varianta výroby oproti soustružení.

Tváření v podobě vstřikování byla zvolena jako druhá alternativní možnost výroby skateboardového kolečka. U této alternativy byl navržen pouze nástroj – idea vstřikovací formy. Tato problematika v sobě skrývá široký potenciál na další zpracování např. v diplomové práci, zejména s ohledem na ojedinělost vstřikování takto tlustostěnného profilu.

Obě alternativy byly závěrem zhodnoceny z hlediska ekonomických aspektů. Na jednotlivých výrobních cenách koleček se podepsal především fakt, že první navrhovaná alternativní cesta výroby – soustružení/frézování, počítá spíše s kusovou výrobou, kdežto druhá alternativa – vstřikování se vydává cestou sériové výroby. Výrobní cena za sadu skateboardových koleček byla vypočtena u metody třískového obrábění na částku okolo 2 000 Kč a u metody vstřikování na částku téměř desetinásobně nižší 190 Kč.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KANE, Steven. *Skateboard: průvodce základními technikami skateboardingu: jak se zdokonalit v jízdě na skateboardu*. Praha: Ottovo nakladatelství, 1998. ISBN 80-718-1212-9.
- [2] MARCUS, Ben. *The Skateboard: The Good, the Rad, and the Gnarly: An Illustrated History*. Ilustrované vydání. Minneapolis: MVP Books, 2011. ISBN 9780760338056.
- [3] Czech skateboarding [online]. [cit. 20.11.2020]. Dostupné z: <https://www.czechskateboarding.cz/skateboarding/historie-skateboardingu>.
- [4] Skatedelux [online]. [cit. 26.11.2020]. Dostupné z: <https://www.skatedeluxe.com/en>.
- [5] Techmagazín [online]. [cit. 26.11.2020]. Dostupné z <http://www.techmagazin.cz/2242>.
- [6] Exploratorium [online]. [cit. 26.11.2020]. Dostupné z: <https://www.exploratorium.edu/skateboarding/skatedesignwheel.html>.
- [7] PILEGGI, Sarah. (1975): *Wheeling and Dealing*. Sports Illustrated Magazine. Volume 43, Issue 9.
- [8] HARE, Jonathan. *Trade secrets...Skateboarding* [online]. Royal Society of Chemistry. [cit. 12.02.2021]. Dostupné z: <https://edu.rsc.org/feature/trade-secrets--skateboarding/3007413.article>.
- [9] LENFELD, Petr. *Technologie II. - Technologie zpracování plastů* [online]. Technická univerzita Liberec, Fakulta strojí. [cit. 22.02.2021]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm.
- [10] Sciencechannel. [online]. [cit. 12.02. 2021]. Dostupné z: <http://www.sciencechannel.com/tv-shows/how-its-made/videos/roller-skate-assembly>.
- [11] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2.vyd. Praha: VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [12] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Code Creator, s.r.o., 2016 [cit. 20.02. 2021]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>.
- [13] MASSEY, K. Liesl. *The effects of UV light and weather on plastics and elastomers*. 2nd edition. Norwich, NY: William Andrew Pub., 2007. ISBN 9780815519256.

- [14] Bones [online]. [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://bones.com/why/street-tech-formula/>
- [15] AKINDOYO, John et al. (2016): *Polyurethane types, synthesis and applications – a review*. The Royal Society of Chemistry. Volume 6.
- [16] ZIA, M. Khalid et al. (2006): *Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review*. Reactive & Functional Polymers. Volume 67.
- [17] DROBNY, Jiri George. *Handbook of Thermoplastic Elastomers*. 2nd ed. Burlington: Elsevier Science, 2014. Plastics Design Library. ISBN 9780323221689.
- [18] HLUCHÝ, Miroslav, KOLOUCH, Jan a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.
- [19] HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 1. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003 [cit. 01.03.2021]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf.
- [20] AUSPERGER, Aleš. (2015): *Technologie zpracování plastů* [online]. Code Creator, s.r.o., 2016 [cit. 03.03.2021]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>.
- [21] EPP plasty [online]. [cit. 10.03.2021]. Dostupné z: <http://www.eppplasty.cz/obrabeni.php>.
- [22] DULA, Jan. *Obrábění nekovových materiálů* [online]. Uherské Hradiště: Střední odborná škola technická v Uherském Hradišti, 2012 [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <http://www.uh.cz/szesgsm/files/sblizovani/pdf/obr-nekovu.pdf>.
- [23] KAUFFER, H. Phoebe. *Injection molding: process, design and applications*. New York: Nova Science Publishers, 2011. Materials science and technologies. ISBN 9781617614200.
- [24] BOBEK, Jiří. (2016): *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Code Creator, s.r.o., [cit. 2021-05]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
- [25] BEAL, Becky. (2013): *Skateboarding: The Ultimate Guide*. California, Greenwood. ISBN 978-0-313-38113-3.

- [26] DOREN, Martin a PRAMANN, Ulrich. *Fascinující skateboarding: Příručka pro teorii a praxi*. Praha: Nakladatelství Svoboda. 1994. ISBN 8020504052.
- [27] Boardrap [online]. [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <http://www.boardrap.com/dylan-wins-video-part-of-the-year-supreme-cherry/>
- [28] Vogue [online]. [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://www.vogue.com/article/best-hair-skateboarding-stacy-peralta-laura-thornhill>.
- [29] Globoesporte [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://globoesporte.globo.com/radicaais/skate/noticia/fusao-de-federacoes-internacionais-pode-ajudar-cbsk-no-processo-olimpico-do-skate.ghtml>
- [30] Dreamstime [online]. [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://www.dreamstime.com/classic-skateboard-view-side-bottom-angle-monochrome-contour-drawing-classic-skateboard-view-side-image137078368>
- [31] Powell-Peralta [online]. [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://powell-peralta.com/skateboard-decks/flight>
- [32] Sidewalk surfing: Old skating movies from the 70s [online]. [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://briantissot.com/2014/06/02/sidewalk-surfing-old-skating-movies-from-the-70s/>.
- [33] Vstřikovací formy [online]. [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf.
- [34] KAZMER, David. *Injection Mold Design Engineering*. Mnichov: Carl Hanser Verlag, 2007. ISBN 10-3-446-41266-2. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265224787_Injection_Mold_Design_Engineering.
- [35] Polyplasty [online]. [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <https://www.polyplasty.cz/material-polyuretan.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$^{\circ}\text{C}$	Stupeň celsia
$A_{\text{part_surface}}$	Plocha výrobku promítnutá ve vložce
b	Šířka skateboardového kolečka
C_{cavities}	Celková cena tvarových částí formy
C_{cavity}	Cena za výrobu tvarových částí formy
$C_{\text{cavity_finishing}}$	Cena za dokončovací operace v dutině formy
$C_{\text{cavity_machining}}$	Cena za obrábění tvarových částí formy
$C_{\text{customization}}$	Cena zohledňující komplexnost formy
C_{hCNC}	Hodinová sazba na CNC frézovacím stroji
C_{hf}	Hodinová sazba dokončovacích operací
C_{hs}	Hodinová sazba na stroji
C_{mat}	Cena za materiál
$C_{\text{material/part}}$	Cena za materiál vztažená na jedno kolečko
$C_{\text{mold_base}}$	Cena za rám formy
$C_{\text{mold/part}}$	Celková cena na výrobu formy vztažená na jedno kolečko
$C_{\text{process/part}}$	Sazba vstřikovacího stroje vztažená na výrobu jednoho kolečka
C_{sk}	Výrobní cena jedné sady koleček
$C_{\text{total_mold}}$	Celková cena vstřikovací formy
C_{v1k}	Celková výrobní cena výroby jednoho kolečka
CNC	Počítačem řízené obrábění
D	Průměr (rozměr)
$f_{\text{cavity_complexity}}$	Koeficient komplexivity dílu
$f_{\text{cavity_customizing}}$	Faktor ovlivňující náklady na přizpůsobení tvarových vložek formy
$f_{\text{machining}}$	Koeficient pro nákladovost CNC frézování

$f_{\text{machining_efficiency}}$	Faktor účinnosti
$f_{\text{mold_customizing}}$	Faktor řízení nákladů na úpravu základny formy
g/mol	Jednotka molární hmotnosti gram na mol
h_{wall}	Tloušťka stěny vstřikovaného profilu
inch	Jednotka délky – palec
Kč	Měna České republiky – Koruna česká
Kč/h	Jednotka hodinové sazby koruny za hodinu
L	Délka
m/min	Jednotka řezné rychlosti – metr za minutu
MDI	difenylmetal-4,4-diisokyanát
mg	Jednotka úbytku materiálu – miligram
min	Jednotka času – minuta
mm	Jednotka délky – milimetr
mm/ot	Jednotka posuvu – milimetr na otáčku
Mpa	Jednotka napětí – mega pascal
n	Maximální možný počet vyrobených koleček z polotovaru
NDI	Naftalen-1,5-diisokyanát
nm	Jednotka délky – nanometr
ot/min	Jednotka rychlosti otáček – otáčky za minutu
PMMA	Polymethylenmethakrylát
PU	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid
$R_{\text{material_are}}$	Rychlost úběru materiálu vztaženého na plochu
$R_{\text{materiál_volume}}$	Rychlost úběru materiálu vztaženého na objem
Ra	Drsnost povrchu

s	Jednotka času – sekunda
$S_{\text{finishing_area}}$	Plocha, která má projít dokončovacími operacemi
ShA	Tvrdość dle Shooreho ve stupnici A
ShB	Tvrdość dle Shooreho ve stupnici B
STF	Street Tech Formula
$t_{\text{cavity area}}$	Doba potřebná k obrobení plochy dutiny formy
$t_{\text{cavity volume}}$	Doba potřebná k obrobení objemu dutiny formy
$t_{\text{cavity_machining}}$	Celkový čas obrábění tvarových částí formy
t_s	Čas výroby jednoho kolečka
TPE	Termoplastický elastomer
TPU	Termoplastický polyuretan
$V_{\text{cavity material}}$	Objem obráběného polotovaru
V_{part}	Objem skateboardového kolečka
V1 – V6	Jednotlivé typy koleček řady STF Bones

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Ukázka skateboardingu – legenda novodobého skateboardingu Dylan Rieder [27]</i>	11
<i>Obrázek 2 Stacy Peralta – jedna z nejvýznamnějších postav vzniku skateboardingu jedoucí v disciplíně slalom [28]</i>	13
<i>Obrázek 3 Pohled na skateboarding dnes [29]</i>	13
<i>Obrázek 4 Schéma skateboardu [30]</i>	14
<i>Obrázek 5 Deska z kompozitního materiálu od firmy Powell-Peralta [31]</i>	15
<i>Obrázek 6 Schéma rozloženého trucku (nápravy) [4]</i>	16
<i>Obrázek 7 Schéma ložisek uložených v kolečku [4]</i>	17
<i>Obrázek 8 Jeden z prvních skateboardů s ocelovými kolečky [32]</i>	19
<i>Obrázek 9 Schéma rozdělení skateboardových koleček podle tvrdosti [8]</i>	20
<i>Obrázek 10 Schéma rozdělení koleček dle velikosti průměru [4]</i>	21
<i>Obrázek 11 Schéma základního rozdělení kontaktních [4]</i>	22
<i>Obrázek 12 Zobrazení základních tvarů koleček řady STF od firmy Bones factory [14]</i> ...	22
<i>Obrázek 13 Schéma kolečka Bones V1 standard s tabulkou jeho rozměrů [14]</i>	23
<i>Obrázek 14 Schéma kolečka Bones V5 Sidecut s tabulkou jeho rozměrů [14]</i>	24
<i>Obrázek 15 Schéma makromolekuly [12]</i>	25
<i>Obrázek 16 Molekulární struktury polymerů [12]</i>	27
<i>Obrázek 17 Vlastnosti polymerů v závislosti na tvaru makromolekul [12]</i>	27
<i>Obrázek 18 Základní dělení polymerů [12]</i>	28
<i>Obrázek 19 Rozdělení polymerů dle postavení na trhu [12]</i>	31
<i>Obrázek 20 Důležité typy PU a běžné příklady jejich aplikací [15]</i>	32
<i>Obrázek 21 Schematické znázornění TPU složené z diisokyanátu, diolu s dlouhým řetězcem a prodlužovače řetězce. [17]</i>	34
<i>Obrázek 22 TPU překlenující mezeru mezi elastomery a plasty [17]</i>	34
<i>Obrázek 23 Křivky napětí-deformace tří TPU s různými hodnotami tvrdosti. [17]</i>	35
<i>Obrázek 24 Odlévání skateboardových kol do statické formy v továrně Bones [10]</i>	39
<i>Obrázek 25 Základní operace na soustruhu [19]</i>	42
<i>Obrázek 26 Vstřikovací stroj [24]</i>	45
<i>Obrázek 27 Vstřikovací cyklus [24]</i>	46
<i>Obrázek 28 Uspořádání vtokových systémů [33]</i>	48
<i>Obrázek 29 Model první varianty skateboardového kolečka</i>	53
<i>Obrázek 30 Model druhé varianty skateboardového kolečka</i>	53
<i>Obrázek 31 Zakoupený polotovár – Polytan</i>	55
<i>Obrázek 32 Průběh zarovnání čela a stav polotovaru po něm</i>	56

<i>Obrázek 33 Průběh frézování a výsledná obrobená polovina polotovaru</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 34 Univerzální forma UTB</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 35 Samotné tvarové vložky a tvarové vložky umístěné v tvárnici</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 36 Samotné tvarové vložky a tvarové vložky umístěné v tvárníku</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 37 Tvárník s vyhazovacím systémem a detailní zobrazení vložky s otvory pro vyhazovače</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 38 Znárodnění tuhnutí taveniny na vyhazovací teplotu 150 °C</i>	<i>69</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Odolnost různých polymerů proti oděru [17]</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 2 Souhrn vlastností jednotlivých typů Polytanu.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 3 Parametry definující proběhlý pokus o soustružení</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 4 Podklady pro výpočet ekonomického zhodnocení technologie soustružení</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka 5 Průběh operací pro obrobení jedné poloviny kolečka.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 6 Shrnutí parametrů potřebných pro výpočet ekonomického zhodnocení.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 7 Obecné parametry zvolené varianty skateboardového kolečka.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabulka 8 Hodnoty koeficientů příslušné formy</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka 9 Souhrn cen sady skateboardových koleček.....</i>	<i>72</i>

