

Výzkum vlivu materiálu formy na vlastnosti polymerních výrobků

Bc. Jan Švehlík

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Švehlík**
Osobní číslo: **T12680**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výzkum vlivu materiálu formy na vlastnosti
polymerních výrobků**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracování literární rešerše na téma vstřikování
- 2) Popis zvolených materiálů formy a zkoušek polymerních výrobků
- 3) Provedení experimentálních zkoušek pro zjištění vlastností polymerních výrobků
- 4) Statistické vyhodnocení naměřených dat

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Čop

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

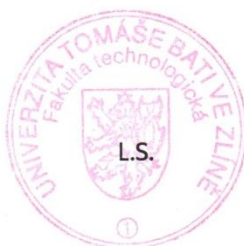
10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: ŠVEHLÍK JAN

KONSTRUKCE
Obor: TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 1.5.2014



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Předložená diplomová práce se zabývá vlivem materiálu vstřikovací formy na výsledné mechanické vlastnosti polymerních výrobků.

Teoretická část pojednává o základních vlastnostech polymerů, materiálech používaných na výrobu vstřikovacích forem a základech technologie vstřikování. Dále jsou v této části popsány vybrané zkoušky mechanických vlastností materiálu.

V praktické části jsou porovnávány mechanické vlastnosti zkušebních těles z vybraných polymerů, vstřikovaných do forem z oceli, duralu a mědi. Mechanické vlastnosti jsou vyhodnocovány na základě tahové zkoušky, zkoušky rázové houževnatosti a zkoušky tvrdosti.

Klíčová slova: Polymerní materiály, vstřikování, materiály vstřikovacích forem, zkoušky mechanických vlastností

ABSTRACT

Master thesis deals with effect of the mold materials on the mechanical properties of polymeric products.

Theoretical part describes basics properties of polymers, materials used for injection mold manufacturing and basics of injection molding technology. Furthermore in this part are described selected tests of mechanical properties of materials.

Practical part is devoted to comparing mechanical properties of test specimens of selected polymers, injectioned to steel, dural and cuprum molds. Mechanical properties are evaluated on the basis of tensile test, test of impact strength and hardness test.

Keywords: Polymeric materials, injection molding, injection mold materials, mechanical properties testing

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Čopovi za odborné vedení a kvalifikované rady při zpracování diplomové práce, dále také za pomoc a čas věnovaný realizaci praktické části.

Také bych chtěl poděkovat Ing. Vladimíru Šumberovi, Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi a Ing. Martinu Řezníčkovi za odbornou pomoc a čas strávený při vstříkovaní zkušebních těles a montáži vstříkovacích forem. Ing. Ladislavu Fojtlovi pak za pomoc při provádění měření.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	13
1.1 TERMOPLASTY	14
1.2 REAKTOPLASTY.....	15
1.3 ELASTOMERY	16
1.4 PŘÍSADY DO POLYMERŮ	16
1.4.1 Zpracovatelské přísady.....	16
1.4.2 Antidegradanty	17
1.4.3 Síťovací prostředky	18
1.4.4 Přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti.....	19
1.4.5 Speciální přísady	20
2 MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM	21
2.1 OCELI	21
2.1.1 Požadované vlastnosti ocelí	21
2.1.2 Číselné značení ocelí dle ČSN, EN a W. Nr.	24
2.1.3 Používané druhy ocelí	28
2.2 SLITINY MĚDI	30
2.2.1 Číselné značení slitin mědi dle ČSN a EN.....	31
2.3 SLITINY HLINÍKU	33
2.3.1 Číselné značení slitin hliníku dle ČSN a EN	33
3 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ	35
3.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	35
3.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VLASTNOSTI VÝSTŘIKU.....	38
3.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	39
3.3.1 Vstřikovací jednotka	41
3.3.2 Uzavírací jednotka	43
3.3.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje.....	44
3.3.4 Vstřikovací formy	45
4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY	48
4.1 PŘÍPRAVA VZORKU	48
4.1.1 Normalizované rozměry zkušebních vzorků pro zkoušku v tahu	49
4.1.2 Normalizované rozměry zkušebních vzorků pro zkoušku rázové houževnatosti.....	50
4.2 STATICKÉ ZKOUŠKY	50
4.2.1 Zkouška tahem	50
4.2.2 Zkoušky tvrdosti.....	53
4.3 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY RÁZOVÉ	55
4.3.1 Zkouška rázové houževnatosti metodou Charpy	55
II PRAKTICKÁ ČÁST	57
5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	58
6 TVAROVÉ DESKY VSTŘIKOVACÍ FORMY	59

6.1	CHARAKTERISTIKA MATERIÁLŮ POUŽITÝCH NA VÝROBU VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	59
6.1.1	Ocel ČSN 19 552	59
6.1.2	Dural EN 7075 (AlZnMgCu1.5)	59
6.1.3	Měď ČSN423001	60
6.2	VÝROBA TVAROVÝCH DESEK PRO VSTŘIKOVACÍ FORMU	61
7	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	63
7.1	CHARAKTERISTIKA VSTŘIKOVANÝCH POLYMERŮ	63
7.1.1	Akronitril-butadien styren (ABS)	63
7.1.2	Polykarbonát (PC)	63
7.1.3	Polypropylen (PP)	64
7.1.4	Sušení polymerů.....	65
7.2	VÝROBA TĚLES VSTŘIKOVÁNÍM	66
7.2.1	Použitý vstřikovací stroj.....	66
7.2.2	Zpracovatelské podmínky vstřikování	67
8	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT.....	68
9	TAHOVÁ ZKOUŠKA	69
9.1	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO TAHOVOU ZKOUŠKU	69
9.2	POSTUP MĚŘENÍ ZKOUŠKY TAHEM.....	70
9.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	70
9.3.1	Naměřené hodnoty tahové zkoušky materiálu ABS	70
9.3.2	Naměřené hodnoty tahové zkoušky materiálu PC	73
9.3.3	Naměřené hodnoty tahové zkoušky materiálu PP/SV	75
10	ZKOUŠKA RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	79
10.1	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI	79
10.2	POSTUP MĚŘENÍ RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	79
10.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	80
10.3.1	Naměřené hodnoty zkoušky rázové houževnatosti materiálu ABS	80
10.3.2	Naměřené hodnoty zkoušky rázové houževnatosti materiálu PC	81
10.3.3	Naměřené hodnoty zkoušky rázové houževnatosti materiálu PP/SV	83
11	ZKOUŠKA TVRDOSTI SHORED	85
11.1	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKU TVRDOSTI.....	85
11.1.1	Postup měření ShoreD zkoušky tvrdosti	85
11.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	86
11.2.1	Naměřené hodnoty tvrdosti ShoreD materiálu ABS.....	86
11.2.2	Naměřené hodnoty tvrdosti ShoreD materiálu PC.....	87
11.2.3	Naměřené hodnoty tvrdosti ShoreD materiálu PP/SV	88
12	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	89
12.1	VYHODNOCENÍ NA ZÁKLADĚ TAHOVÉ ZKOUŠKY	89
12.2	VYHODNOCENÍ NA ZÁKLADĚ ZKOUŠKY RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	93
12.3	VYHODNOCENÍ NA ZÁKLADĚ ZKOUŠKY TVRDOSTI	95
13	ZÁVĚR.....	96
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	98
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	101

SEZNAM OBRÁZKŮ	103
SEZNAM TABULEK.....	106
SEZNAM PŘÍLOH.....	107

ÚVOD

Z hlediska technologie a zpracování polymerních materiálů byl zaznamenán neobyčejně rychlý rozvoj. Mezi hlavní důvody rozvoje polymerů patří jejich výborná zpracovatelnost, nízká hustota, dobrá odolnost proti korozi a často také dobré elektroizolační vlastnosti. Z ekologického a ekonomického hlediska je důležité, že na výrobu polymerů a jejich následné zpracování je zapotřebí vynaložit mnohem méně energie a práce než u kovových materiálů. Mezi nevýhody polymerů patří především omezená teplotní použitelnost a tvarová deformovatelnost, polymery mají také sklon k elektrostatickému nabíjení. Při výrobě je také nutnost uvažovat následný způsob recyklace výrobků. [1]

Většina plastů se spotřebuje na technické účely. Asi jedna třetina celkového vyráběného objemu polymerů se spotřebovává ve strojírenství. Mezi další spotřebitelské odvětví patří zejména elektrotechnický a stavební průmysl. [1]

Vstřikováním se vyrábí vysoce rozměrově přesné, mnohdy tvarově složité výrobky. Jedná se o typickou technologii pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [1]

Vstřikovací formy se skládají z velkého množství jednotlivých komponentů, s rozdílnými funkcemi v sestavě formy. Proto je třeba volit materiál vhodný svými vlastnostmi v závislosti na funkci, kterou díl vykonává. Tvarové části, tvárnice ve spojení s tvárníkem zajišťují jakost a texturu povrchu. Pro volbu materiálů tvárníku a tvárnice je třeba vzít v potaz několik faktorů. Jedná se především o ekonomické zhodnocení, použití a tvaru výrobku v závislosti na specifických vlastnostech materiálů formy. [2]

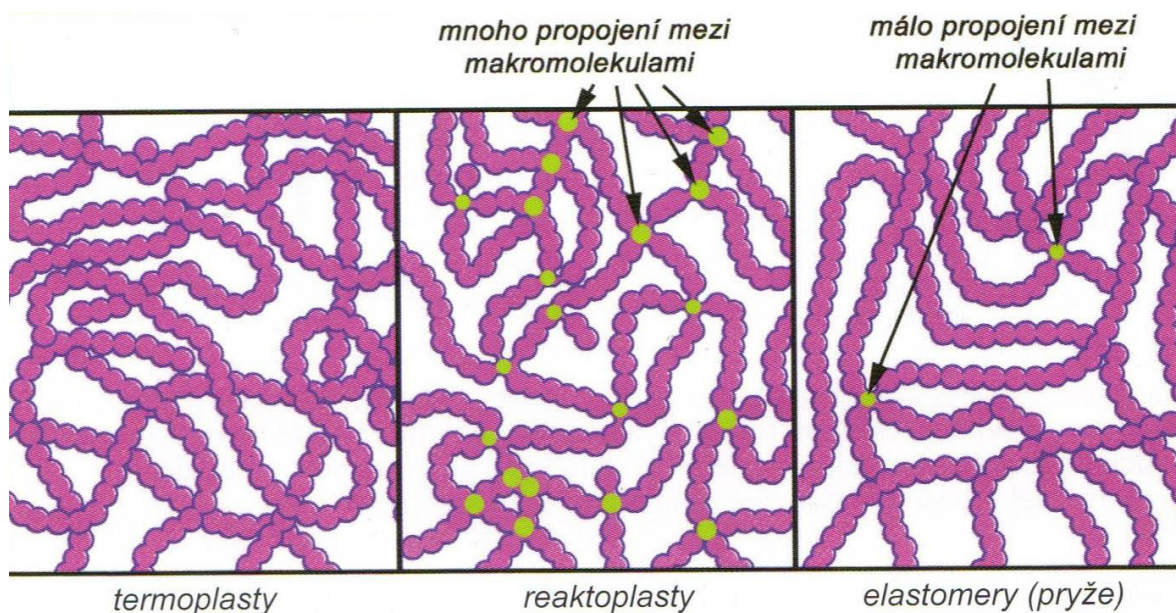
Vstřikovací formy jsou vyráběny především z kovových materiálů, nejčastěji z oceli. Pro výrobu jednotlivých desek formy je používána hlavně konstrukční ocel, zatímco pro výrobu tvarových desek je často využíváno jiných kovových či nekovových vysoce kvalitních materiálů. V poslední době roste význam nekovových materiálů v konstrukci vstřikovacích forem. Ten je zapříčiněn požadavkem na co nejrychlejší a nejméně nákladnou výrobou v menších sériích tak, aby mohli být minimalizovány slabosti výrobků a problémy, které by mohli nastat v pozdější produkci. Výroba takovýchto prototypových forem může být vhodná také pro malé a střední série. Tvarové vložky ze slitin mědi se začínají prosazovat tam, kde je důležitější dosažení co nejkratšího vstřikovacího cyklu. Slitiny hliníku se používají například při vstřikování polymerů s nadouvadlem, kde je s výhodou využívána korozivzdornost hliníku. [2]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Plasty jsou dle ČSN EN ISO 472 materiály, které se skládají z makromolekulárních látek a jsou teplem či tlakem tvářitelné. Za makromolekulární je považována taková látka, jejichž molekulová hmotnost přesahuje 10 000. Z chemického hlediska se jedná o organické sloučeniny, nejčastěji o sloučeniny uhlíku a vodíku, často však obsahují kyslík, dusík, síru, chlór a další. Polymerní materiály se skládají z velkých molekul, které obsahují mnoho opakujících se shodných jednotek. [1]

Příprava makromolekulárních látek je prováděna polyreakcemi. Jsou to jednoduché chemické reakce, které se mnohonásobně opakují. Aby polyreakce proběhla, musí mít chemické sloučeniny v molekule alespoň dvě funkční skupiny schopné reagovat s dalšími molekulami. Opakování reakce je tedy umožněno vhodnou chemickou strukturou výchozích nízkomolekulárních sloučenin. Tyto sloučeniny se označují monomery. Spojováním mnoha monomerů vzniká polymer, který má zcela nové vlastnosti. Jestliže je monomer dvojfunkční, může se každá jeho molekula vázat se dvěma dalšími molekulami. Daná makromolekula má pak tvar lineárního řetězce. Obsahuje-li monomer více funkčních skupin, makromolekula roste prostorově a dochází k tvorbě zesíťované struktury. [1]



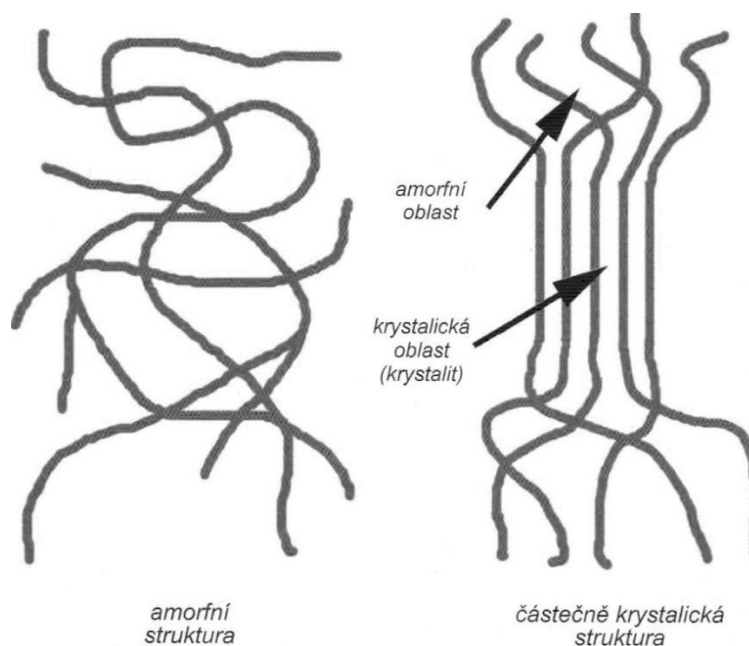
Obr. 1. Struktury makromolekul, termoplasty (lineární nebo rozvětvené makromolekuly), reaktoplasty (hustě zesíťovaná struktura), elastomery (slabě zesíťovaná struktura) [3]

Plasty lze členit do různých skupin dle různých kritérií. Pro praxi je nejdůležitější jejich dělení na základě jejich chování při zahřívání. Podle tohoto kritéria se dělí na termoplasty, reaktoplasty a elastomery. [1]

1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou nejrozšířenější skupina plastů. Tyto polymery přecházejí zahříváním do plastického stavu, v kterém jsou dobře tvárné. Ochlazením pod určitou teplotu, která je typická pro daný druh plastu, pak přecházejí do pevného stavu. Při zahřívání dochází pouze k fyzikálním změnám, chemická struktura plastu se nemění. Proto lze proces plastikace a tuhnutí opakovat. Při zvýšené teplotě však dochází k nežádoucí degradaci za působení vzdušného kyslíku. Rychlost degradace roste se zvyšující se teplotou a také s dobou působení zvýšené teploty. [1]

Makromolekuly termoplastů mají různou schopnost dosažení většího či menšího stupně uspořádání, vykazují tudíž různou nadmolekulární strukturu. [3]



Obr. 2. Amorfní a semikrystalická nadmolekulární struktura polymerů [3]

Dle makromolekulární struktury se plasty dělí na:

- Amorfni, u nichž makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici. Jejich řetězce jsou v prostoru nepravidelně zkrouceny a propleteny.
- Semikrystalické, jejichž makromolekuly vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Toto uspořádání vyjadřuje stupeň krystalinity, což je relativní podíl uspořádaných oblastí uložených mezi oblastmi amorfními. Stupeň krystalinity je v rozmezí 40-90 %, podle druhu plastu. [4]

Výstřiky z amorfniých termoplastů mají oblast použití pod teplotou skelného přechodu. V tomto stavu je polymer pevný. Při zvyšování nad tuto teplotu postupně slábnou kohezni síly mezi makromolekulami a termoplast se stává plastickým až viskózním, ve kterém probíhá jeho zpracování. Při zvyšování teploty dochází také k nárůstu objemu polymeru.

U semikrystalických termoplastů jsou jednotlivé makromolekuly pevněji vázány v lamelách a ve sferolitech krystalické fáze. Při zvyšování teploty se nejprve uvolní část makromolekul z amorfni oblasti, dále z ostatních. To doprovází značný objemový nárůst plastu. Semikrystalické termoplasty se používají nad teplotou skelného přechodu, protože mají v této oblasti výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti. [4]

1.2 Reaktoplasty

Jsou před zpracováním poměrně nízkomolekulární sloučeniny. V první fázi zahřívání měknou a jsou tvářitelné, avšak tvářitelnost je možná jen po omezenou dobu. Zahříváním začíná polyreakce, zpravidla polykondenzace, která byla při výrobě polymeru přerušena. Pro reaktoplasty je charakteristická prostorově zesíťovaná struktura vytvořená polykondenzací. Tento nevratný děj se nazývá vytvrzování. Vytvrzený polymer nelze znovu tavit ani rozpustět v rozpouštědlech. Jednotlivé části makromolekul jsou velmi hustě propojeny chemickými vazbami tak, že celý výrobek je možno považovat za jednu velikou makromolekulu (Obr. 1.). Z nadmolekulárního hlediska jsou všechny reaktoplasty amorfni, není u nich možné pravidelné uspořádání s ohledem na zesíťovanou strukturu. [1, 3]

1.3 Elastomery

Elastomery se při mechanickém zatížení velmi deformují. Po odlehčení zatížení se materiál vrací do původního tvaru, v materiálu tedy probíhá pružná deformace. Do elastomerů jsou řazeny kaučukové materiály.

Mezi makromolekulami se mohou vyskytovat příčné kovalentní vazby, které udržují vzájemné polohy makromolekul a tím zabraňují trvalé deformaci materiálu. Hustota příčných vazeb je nižší jako u reaktoplastů (Obr. 1.), makromolekuly se tedy mohou orientovat ve směru působící síly díky rotaci kolem vazeb C-C a po odlehčení se vracejí do původního tvaru. [3]

1.4 Přísady do polymerů

Polymerní materiály samy o sobě nedosahují požadovaných mechanických vlastností, barvy, vzhledu, ani požadované chemické a tepelné odolnosti. V některých případech se i obtížně zpracovávají. Požadovaných vlastností se dosahuje až přidávkem přísad.

Přísady musí zajišťovat stabilitu plastu při provozních podmínkách, nesmí mít nežádoucí účinky na výsledné vlastnosti polymerů a musí být dostatečně účinná. Některé přísady přinášejí i ekonomickou úsporu. [3, 8]

1.4.1 Zpracovatelské přísady

Tyto přísady usnadňují zpracování polymerních směsí. V některých případech jsou pro zpracování přímo nezbytné. Ovlivňují však také více či méně konečné vlastnosti výrobku. [3]

Plastikační činidla

Používají se u kaučuků, kde usnadňují první zpracovatelskou operaci tzv. plastikaci. Plastikace je úprava kaučuku intenzivním hnětením. Tyto přísady zvyšují účinnost a rychlost plastikace, tím že usnadňují štěpení makromolekul kaučuku způsobené hnětením, stabilizací přechodně vzniklých radikálů. Používají se také při regeneraci odpadní pryže. [8]

Maziva

Jsou používána při zpracování obtížně zpracovatelných plastů, jako jsou PVC, PS, PTFE. Usnadňují zpracovatelské procesy, ale mají i další výhodné vlivy na vlastnosti povrchu například na vzhled povrchu a tepelnou stabilitu. Mohou mít vnější nebo vnitřní účinek.

Maziva s vnějším účinkem (separační činidla) jsou málo rozpustné v polymeru, proto vystupují na jeho povrch a vytvářejí na něm vrstvu, která napomáhá oddělení výrobku od zpracovatelského zařízení.

Maziva s vnitřním účinkem jsou dobře rozpustná v polymeru, snižují tedy viskozitu taveniny. Do určité míry také zmenšují množství tepla vznikajícího třením při zpracování. [8]

Změkčovadla

Jedná se o málo těkavé organické látky, které dávají makromolekulárním řetězcům ohebnost a tvárnost. Ve výsledku snižují tvrdost, tuhost a křehkost polymerů. Díky nárůstu volného objemu snižují teplotu skelného přechodu a viskozitu taveniny. Jako změkčovadla se používají ftaláty, fosfáty a estery mastných kyselin. [8]

Tepelné stabilizátory

Zvyšují tepelnou stálost polymerů, čímž zmenšují jejich náchylnost k rozkladu za zvýšených teplot. Zlepšují tak zpracovatelnost polymeru. Polymery, jejichž teplota měknutí a rozkladu leží v úzkém rozmezí např. PVC bez přidání tepelných stabilizátoru zpracovávat vůbec nelze. U PVC stabilizátory zamezují odštěpování HCl resp. jeho navazování do chemicky méně reaktivních sloučenin. [8]

1.4.2 Antidegradanty

Jsou přísady, které dlouhodobě chrání výrobky před vnějšími vlivy při jejich používání. K těmto vlivům patří především účinek slunečního světla, atmosférického kyslíku a ozonu a tepelné energie. [5]

Světelné stabilizátory

Tyto přísady absorbují nebo odrážejí ultrafialové záření, které má dostatečnou energii na to aby, aby způsobovalo degradaci polymeru. Ultrafialové světlo je elektromagnetické záření o vlnových délkách 300 – 400 nm. Světelné stabilizátory toto absorbované světlo přeměňují dlouhovlnné, např. tepelné záření, které má nižší energii. Mezi těmito přísadami, polymerem a dalšími přísadami nesmí docházet k chemické reakci, která by se navenek projevila, byť třeba „jen“ změnou barvy. Používají se deriváty benzofenonu, kyseliny salicylové a další. Světelně stabilizační účinek mají také některé pigmenty například oxid zinečnatý a oxid titaničitý. [5]

Antioxidanty

Atmosférický kyslík způsobuje degradaci polymerů. Za normální teploty dochází k degradaci po dlouhé době. Za zvýšené teploty se proces urychluje a dochází k tzv. oxidačnímu stárnutí, které se projevuje štěpením makromolekul na radikály, ty zahajují řetězovou oxidační reakci. Antioxidanty přispívají k omezení této reakce. [5]

Antiozonanty

Ozon napadá pouze pryže vyrobené z nenasycených kaučuků. Ozon reaguje snadno s dvojnými vazbami makromolekulárního řetězce kaučukové sítě. Na povrchu pak vzniká vrstva křehkého ozonidu, která má v napnutém stavu pryže náchylnost k praskání. Antiozonanty mají schopnost reagovat s ozonem ochotněji než řetězce kaučukové sítě. Antiozonanty mají také tendenci difundovat k povrchu pryže, kde uplatňují svůj ochranný účinek. [5]

1.4.3 Síťovací prostředky

Do této skupiny přísad jsou zařazeny látky, které jsou členy síťovacích reakcí. Síťovací reakce je spojování lineárních nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců příčnými vazbami do struktury prostorové sítě. [5]

Síťovací činidla

Pokud je síťovaným polymerem kaučuk, probíhá vulkanizace. Činidla umožňující toto síťování jsou tedy nazývány vulkanizační. U reaktoplastů dochází k vytvrzování vytvrzovacími. V posledních desetiletích se začali síťovat také termoplasty. [5]

Aktivátory síťování

Tyto přísady aktivují síťovací reakci tím, že zmenší její aktivační energii. To se projeví menší závislostí rychlosti síťování na teplotě. Za jejich přítomnosti také vzniká podstatně hustší síť (více příčných vazeb) než v jejich nepřítomnosti. [5]

Urychlovače síťování

Reakce síťovacího činidla s polymerem je velmi zdlouhavá, proto používáme urychlovače. Nejdůležitějšími urychlovači jsou urychlovače sirmé vulkanizace kaučuků a urychlovače vytvrzování reaktoplastů. [5]

1.4.4 Přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti

Plniva

Jsou práškové nebo granulované látky používané pro dosažení požadovaných mechanických vlastností (pevnosti, tuhosti, tvrdosti, ořezuvzdornosti, houževnatosti), tepelné odolnosti či vzhledu výrobku. Některá plniva se používají především pro snížení ceny polymeru. U částicových plniv jsou kromě tvaru jejich částic (sferický, destičkový, jehlicovitý, nepravidelný) důležité termomechanické vlastnosti (teplotní roztažnost, tuhost, velikost deformací).

Anorganická plniva (Uhlíčan vápenatý, malé skleněné kuličky o průměru 5 až 500 μ m, jemně mletá slída) jsou tužší a pevnější než polymerní matrice, ale mají malou plasticitu. Proto jsou těmito plnivy plněné plasty výrazně tužší a získávají dle typu plniva některé speciální fyzikální a mechanické vlastnosti (menší teplotní roztažnost, větší tepelnou a elektrickou vodivost).

Naopak málo tuhé elastomerní částice, které se snadno elasticky deformují, zmenšují výslednou tuhost a současně zvyšují houževnatost. V některých případech také zvyšují odolnost proti cyklické únavě.

Při vhodné orientaci vláken k silovému toku umožňuje vláknitá výztuž dosáhnout výrazného zvýšení tuhosti oproti částicovým plnivům. Částicová plniva s výjimkou tzv. aktivních plniv s velmi malými rozměry, ale velkým povrchem částic pevnost polymerního výrobku nezvyšují, často však snižují jeho houževnatost. [6, 8]

Vyztužovadla

Zpevňují svým tvarem a strukturou polymerní výrobky, především reaktoplasty jako jsou např. polyesterové a močovinoformaldehydové pryskyřice. Používají se vláknité a textilní materiály na základě polyamidů, polyesterů, bavlny, celulózy, skla, kovů a dalších látek. Skleněná vlákna jsou stále více využívána i pro vyztužování termoplastů, především polyolefinů a vinylových plastů. Vyztužovadla impregnovaná pryskyřicemi a lisovaná do žádaného tvaru se nazývají vrstvené materiály neboli lamináty. [5]

Nadouvadla

Nalézají uplatnění při zpracování polymerů na lehčené hmoty. Zpracovávají se za zvýšené teploty a rozkládají se za vzniku plyných produktů, které ve výrobku vytváří otevřené nebo uzavřené póry. Plynou složku rozkladu tvoří obvykle oxid uhličitý.[5]

Pigmenty

Jsou práškové barvy, které se v polymeru nerozpouští, ale propůjčují jim příslušný barevný odstín. V objemu polymeru zaujímají pouze malé procento, obvykle okolo 1%. Nejvíce se používá oxid titaničitý, organické či anorganické barevné pigmenty či saze. [5]

1.4.5 Speciální přísady

Propůjčují polymerům zvláštní vlastnosti, proto se přidávají jen do některých směsí a v různém množství dávky.

Antistatické prostředky

Většina polymerů je elektricky nevodivá, což při tření vyvolává vznik elektrostatického náboje. Vlivem elektrostatického náboje se polymerní výrobky špiní, lnou ke zpracovatelským strojům a vlivem proskakování jisker může dojít k požáru. Velikost vznikajícího elektrostatického náboje závisí na hodnotě povrchového odporu polymerního materiálu. Pokud převyšuje $10^{10} \Omega$ má materiál tendenci elektricky se nabíjet, pokud je nižší náboj se stačí odvádět. Antistatika mají tedy za účel zvýšit elektrickou vodivost polymerů. Jsou to látky buď silně hydrofilní, nebo mají elektricky vodivou strukturu. Ve svých molekulách obsahují uhlík a kyslík, případně dusík, fosfor a síru. [5]

Faktisy

Používají se při výrobě pryží, pro zlepšení hladkosti povrchu a přesnější dodržování rozměrů při vytlačování. Do kaučukových směsí se přidávají také při výrobě stěracích pryží, kterým umožňují dosažení požadované odírací schopnosti. Při velkých koncentracích zhoršují faktisy mechanické vlastnosti pryže, činí ji měkkou a vláčnou, čehož se využívá při výrobě velmi měkké pryže. [5]

Prostředky snižující hořlavost

Tyto přísady, nazývané také retardéry hoření nebo zhášedla, se používají především k výrobě nehořlavých nátěrových hmot a lehčených polymerních materiálů určených k aplikacím v obalové technice a stavebnictví.

Pro plasty i kaučuky je používán oxid antimonitý, který se kombinuje se změkčovadly na základě chlorovaných parafinů za vzniku chloridu antimonitého. Dále se používají fosfátová změkčovadla a u kaučuků především boritan zinečnatý. [5]

2 MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Formy, jakožto nákladné nástroje, jsou sestaveny z dílů funkčních a pomocných. Materiál forem je významným činitelem pro dosažení požadované kvality výstřiku, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Druh materiálu formy je volen na základě provozních podmínek výroby, což jsou především:

- Druh vstřikovaného plastu
- Požadovaná přesnost a jakost výstřiku
- Procesní parametry
- Vstřikovací stroj

Pro výrobu forem se používají materiály, které v optimální míře splňují provozní požadavky. Široký výběr materiálů je tedy možno zredukovat na užší sortiment s velkým rozsahem užitečných vlastností. Hlavní druhy jsou:

- Oceli vhodných jakostí
- Neželezné slitiny kovů (Cu, Al, ...)
- Ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé...)

Oceli jsou nejvíce používanými materiály na výrobu vstřikovacích forem. Vzhledem k jejich pevnosti a dalším mechanickým vlastnostem se dají jen obtížně nahradit.

Avšak i ostatní druhy materiálu jsou využívány například pro jejich fyzikální a další vlastnosti (tepelně izolační materiály, tepelně vodivé materiály, ...) [7]

2.1 Oceli

Úspěšný vývoj univerzálních typů ocelí s širokým rozsahem užitečných vlastností, může plnit v maximální míře funkční požadavky výroby na materiál. Optimální určení druhu oceli na danou část formy záleží na její funkci.

Na výslednou kvalitu může mít vliv způsob výroby a tepelné zpracování. Nedostatečná jakost povrchu znesnadňuje vyjímání. Naopak leštěný povrch je prostředkem ochrany proti korozi. Z těchto požadavků vyplívají i nároky na čistotu oceli. [7]

2.1.1 Požadované vlastnosti ocelí

Jelikož díly vstřikovacích forem mají různé funkce, musí být vlastnosti jejich materiálů voleny tak, aby vyhovovali požadované funkci součásti (především s ohledem na opotřebení a životnost).

Od materiálů používaných na vstřikovací formy se požaduje především:

- Dostatečná mechanická pevnost
- Dobrá obrobitelnost

Materiál funkčních dílů musí také zajišťovat požadavky na výslednou strukturu, která je daná především chemickým složením. Jednotlivé legující prvky mohou mít dle použitého množství pozitivní či negativní vliv na výsledné vlastnosti. Většinou se používá několik legujících prvků, které se mohou vzájemně ovlivňovat. Legováním se tedy snažíme dosáhnout těchto vlastností:

- Dobrá leštitelnost a obrusitelnost
- Zvýšená odolnost proti otěru
- Odolnost proti korozi a chemickým vlivům polymeru
- Vyhovující kalitelnost a prokalitelnost
- Stálost rozměrů a minimální deformace při kalení. [2, 7]

Pro dosažení požadovaných vlastností výroby a provozu forem posuzujeme následující parametry.

Mechanická pevnost materiálu

Nejdůležitějšími parametry jsou mez pevnosti materiálu a mez kluzu, které se používají při výpočtech. Mezi dalšími doplňujícími údaji může být například tažnost materiálu či pevnost v ohybu (u křehkých materiálů). [7]

Obrobitelnost

Vlastnost materiálu vyjadřující hospodárnost obrábění do požadovaného tvaru za dosažení požadované jakosti povrchu a rozměrové přesnosti. Je závislá na tvrdosti struktury materiálu, množství a typu karbidů, které obsahuje. Obecně platí, že čím je vyšší koncentrace uhlíku a legujících prvků tím klesá obrobitelnost. [7]

Tvářitelnost

Je úzce spjata s obrobitelností. Důležitá je především u výroby forem vtlačováním a tam, kde je vyžadován definovaný průběh vláken v blízkosti tvarové dutiny. Tvářitelnost je závislá na struktuře a tvrdosti materiálů. Z hlediska této technologie je nejvhodnější použít oceli s nízkým obsahem uhlíku a malou koncentrací legur. Tedy například cementační oceli. [7]

Leštitelnost

Jakost povrchu dutiny povrchu formy má rozhodující vliv na kvalitu povrchu výtříku. Pro hodnocení jakosti dutin formy se posuzuje lesk v závislosti na drsnosti. Je-li drsnost povrchu formy Ra nižší než 0,05 považuje se plocha jako dobře vyleštěná. Leštitelnost materiálu je určena podílem karbidické fáze a rovnoměrností jejího rozložení v materiálu. S malým obsahem roste leštitelnost materiálů. Důležitá je také čistota oceli. Proto jsou vhodné oceli zpracované elektrostruskovým přetavováním. [7]

Otěrzdornost

Vzrůstá s tvrdostí materiálu. Zvyšování této hodnoty umožňuje minimalizaci změn tvaru způsobených tlakem a otěrem. Otěrzdornost pozitivně ovlivňuje rostoucí množství karbidů Cr, Mo, W, V. [2]

Korozivzdornost a chemická odolnost

Odolností proti chemickému působení polymerů se vyznačují oceli s minimálním obsahem Cr nad 12 %. Pro dosažení nejlepší korozivzdornosti je potřeba, aby ocel měla nízký obsah uhlíku a chrom byl co nejdokonaleji rozpuštěn ve struktuře materiálu. [7]

Kalitelnost

Je přímo závislá na obsahu uhlíku v oceli a rychlosti ochlazování. Oceli s nízkým obsahem uhlíků mají nižší výslednou tvrdost po zakalení než oceli eutektoidní. U rozměrnějších součástí uvažujeme také prokalitelnost. Pro zvýšení kalitelnosti jsou vhodné legury Cr, Ni, Mo, W a Mn. Vysokou prokalitelností se vyznačují oceli Cr-Ni nebo Cr-Ni-Mo. [7]

Fyzikální vlastnosti kovů

Tepelná vodivost, roztažnost či koeficient tření jsou důležité pro dosažení požadovaných funkčních parametrů vstřikovacích forem.

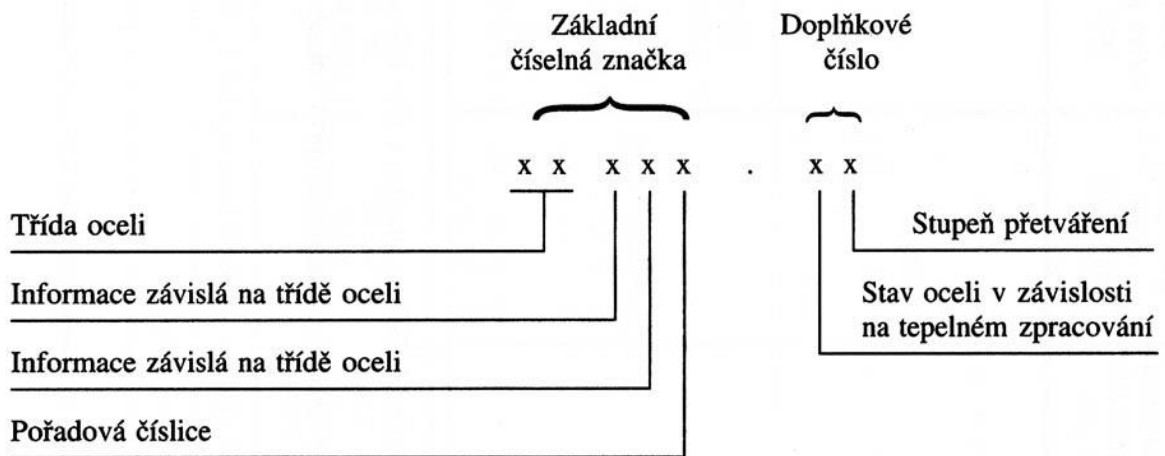
Je zřejmé že, některé požadované vlastnosti jsou navzájem protichůdné. Pro optimální volbu materiálu je třeba uvažovat vlastnosti a technologií vstřikovaného plastu. V úvahu je brán způsob výroby částí forem, jejich velikost a způsob tepelného zpracování. Volbu dále ovlivňuje cenová dostupnost materiálu, šíře sortimentu a vhodnost opracování pro dosažení optimální kvality povrchu. [7]

2.1.2 Číselné značení ocelí dle ČSN, EN a W. Nr.

Značení dle ČSN EN 10020

Číselné označování a rozdělení ocelí bylo přizpůsobeno evropským normám. Původní norma ČSN 42 0002 byla přepracována a nahrazena normou ČSN EN 10020 s účinností od 1. 7. 1994, která obsahuje definice a rozdělení ocelí.

Oceli ke tváření se označují číselně a toto označení se skládá ze základní číselné značky a doplňkového čísla odděleného tečkou. [9]



Obr. 3. Schéma číselného značení ocelí dle ČSN EN 10020 [9]

Základní číselná značka je pětimístné číslo označující základní materiál.

První číslice v základní značce je 1 a označuje tvářenou ocel

Druhá číslice ve spojení s první označuje třídu oceli (Tab. 1.)

Třetí a čtvrtá mají různý význam podle třídy oceli

Doplňkové číslo má jednu nebo dvě doplňkové číslice. [9]

Tab. 1. Rozdělení ocelí do tříd dle ČSN EN 10200 [9]

Třída oceli	Oceli podle		Charakteristika ocelí
	použití	stupně legování	
10	konstrukční	Nelegované	předepsané hodnoty mechanických vlastností, chemické složení není předepsáno
11			předepsané hodnoty mechanických vlastností a obsah C, P, S popř. (P+S) a dalších prvků
12			předepsaný obsah C, Mn, Si, P, popř. (P+S) i dalších prvků
13		Nízkolegované	legovací prvky: Mn, Si, Mn – Si, Mn - V
14			legovací prvky: Cr, Cr – Al, Cr – Mn, Cr – Si, Cr – Mn - Si
15			legovací prvky: Mo, Mn – Mo, Cr – Mo,
16		legované	Nízkolegované a středně Legované
17	Středně legované a vysoko Legované		legovací prvky: Cr, Ni, Cr – Ni, Cr – Mo, Cr – V, Cr – Al, Cr – Ni – Mo, Cr – Ni – Ti atd.
19	nástrojové	Nelegované	předepsaný obsah C, Mn, Si, P, S
		Legované	legovací prvky: Cr, V, Cr - Ni, atd.

Podle stupně legování, daného součtem středních obsahů legovacích prvků, se ocelí dělí na:

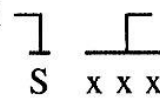
- Nelegované (uhlíkové) s tímto maximálním procentuálním obsahem prvků: 0,9 Mn; 0,5 Si; 0,3 Cr; 0,5 Ni; 0,3 Cu; 0,2 W; 0,2 Co, ostatní, tj. Mo, V, Ti, Al, Nb, Zr a Pb jednotlivě do 0,1.
- Legované – střední obsah kteréhokoliv z uvedených prvků vyšší než uvedené hodnoty.

Podle středního nebo maximálního obsahu uhlíku se nelegované oceli rozdělují na:

- Nízkouhlíkové, s obsahem uhlíku do 0,25%.
- Středněuhlíkové, s obsahem uhlíku od 0,25 do 0,6 %.
- Vysokouhlíkové, s obsahem uhlíku nad 0,6 %. [9]

Značení dle EN 10027-1

Jedná se o systém zkráceného označování ocelí. Dle dané normy musí mít každá ocel svůj unikátní název.

Základní symbol  číslo
S x x x

Obr. 4. Schéma číselného značení ocelí dle ČSN EN 10027-1[9]

Značení je rozděleno do dvou hlavních kategorií

Písmena a čísla vyjadřují základní charakteristické znaky ocelí, třídí se dle:

- a) Značky vytvořené na základě použití a mechanických nebo fyzikálních vlastností:
 - S – Oceli pro ocelové konstrukce pro všeobecné použití
 - P – Oceli pro tlakové nádoby
 - L – Oceli na potrubí
 - E – Oceli na strojní součásti

Následuje číslo vyjadřující minimální mez kluzu v $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ pro nejmenší tloušťku výrobku. Jedná-li se o oceli na odlitky, přidá se před označení písmeno G.

- b) Značky vytvořené na základě chemického složení oceli.
 - Nelegované oceli se středním obsahem manganu do 1%:
C + čísla odpovídající stonásobku středního obsahu uhlíku
 - Nelegované oceli se středním obsahem manganu vyšším než 1%, nelegované autotomové oceli a legované oceli, kromě rychlořezných, s obsahy jednotlivých legujících prvku pod 5%:
Číslo odpovídající stonásobku středního obsahu uhlíku + chemické symboly legujících prvků charakterizujících + čísla vyjadřující obsah charakteristických legujících prvků.
 - Legované oceli (kromě rychlořezných) s obsahem minimálně jednoho legujícího prvku nad 5 %:

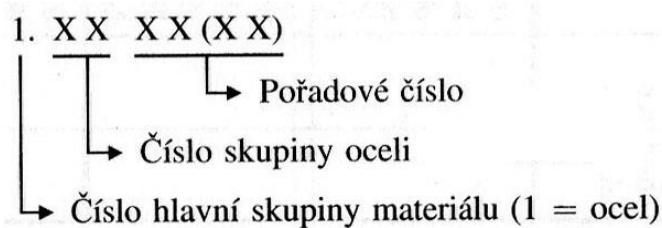
X + číslo odpovídající stonásobku střední hodnoty rozsahu předepsaného pro obsah uhlíku + chemické symboly legujících prvků charakterizujících ocel + čísla udávající obsahy charakteristických legujících prvků

- Rychlořezné oceli:

HS + čísla udávající obsahy prvků v pořadí wolfram, molybden, vanad a kobalt. [9]

Značení dle EN 10027-2 (W. Nr.)

Jednotlivé druhy ocelí jsou rozděleny do skupin. Dále je každá ocel ve skupině označena pořadovým číslem.



Obr. 5. Schéma číselného značení ocelí dle ČSN EN 10027-2 [9]

Tab. 2. Význam čísla skupiny oceli dle EN 10027-2[10]

Číslo skupiny ocelí	Skupina ocelí
00	Oceli obvyklých jakostí
01	Konstrukční oceli pro běžné použití $R_m < 500$ MPa
02	Konstrukční oceli neurčené pro tepelné zpracování $R_m > 500$ MPa
11	Konstrukční oceli na strojní součásti s $< 0,5$ % C
08	Oceli se zvláštními fyzikálními vlastnostmi
09	Oceli pro různé oblasti použití
35	Oceli na valivá ložiska
40,43,44	Nerezavějící oceli
89	Vysoce pevné, svařitelné oceli

2.1.3 Používané druhy ocelí

Z širokého sortimentu ocelí jsou pro výrobu forem používány tyto skupiny ocelí:

- Konstrukční oceli k použití v zušlechťeném i původním stavu
- Snadno obrobitelné a tvářitelné oceli vhodné pro cementování a zušlechťování
- Uhlíkové oceli vhodné k zušlechťování
- Nástrojové oceli legované se sníženou i velkou prokalitelností a odolností proti otěru
- Nitridační oceli
- Antikorozi oceli
- Martenziticky vytvrditelné oceli s malými deformacemi při tepelném zpracování a s dobrou stálostí rozměru. [7]

V následujících kapitolách je číselné značení zapisováno dle těchto norem a v tomto tvaru: ČSN EN 10020 - EN 10027-2 (W. Nr.). Chybí-li označení, nemá tato ocel ekvivalent v dané normě.

Konstrukční oceli

Méně náročné a namáhané díly se vyrábí z oceli třídy 11 a používají se v přírodním či normalizačně žíhaném stavu. Používají se na výrobu rozpěrek (Ocel 11 373 - 1.0036, 11 500 - 1.0050, 11 600 - 1.0060), dorazů (11 600 - 1.0060, 11 700 - 1.0070) a desek forem (11 500 - 1.0050, 11 600 - 1.0060). Na výrobu více namáhaných desek se používá ušlechtilá uhlíková ocel 12 050 - 1.0503, 12 060 - 1.0535. [7, 19]

Cementační oceli

Tyto oceli mají nízkou pevnost v žíhaném stavu, díky které jsou dobře obrobitelné a tvářitelné. Nejsou také náchylné k praskání při kalení. Používají se na výrobu tvárnic vtlačovaných za studena. Pro dosažení vyšší pevnosti a tvrdosti musí být funkční povrchová vrstva cementovaná a kalená. Proto je důležitou vlastností těchto ocelí kalitelnost a prokalitelnost, kterou je dána pevnost jádra po tepelném zpracování. Při nedostatečné pevnosti jádra může docházet k promáčknutí v místě lokální koncentrace tlakových napětí. Čím je vyšší tloušťka cementační vrstvy, tím více se zvětšuje deformace při kalení.

Nejširší oblast použití má chrommanganová ocel 19 487 - 1.2162, určená ke kalení v oleji. Je prokalitelná do 40 mm, má vysokou houževnatost a relativně dobrou odolnost proti opo-

třezení. Ve stavu žíhaném na měkko je dobře obrobiteľná i leštitelná. Pro aplikace s požadkem na vyšší jakost povrchu je tato ocel vyráběna v přetaveném stavu.

U méně náročných částí forem jsou cementační nástrojové oceli nahrazovány podobnými, ale méně jakostními cementačními oceli (12 010 - 1.1121, 12 020 - 1.1141) nebo legovanými (14 220 - 1.7131, 14 221 - 1.7147), které mají vyšší pevnost jádra než uhlíkové oceli. [7, 19]

Kalitelné oceli

Na málo výkonné formy jednodušších tvarů a pomocných dílu forem se uplatňují kalitelné oceli s malou prokalitelností. Kalení probíhá ve vodě, kdy se prokaluje jen menší povrchová vrstva jádro zůstává měkké. Jedná se o oceli 19 083 - 1.173, 19 191 - 1.1645, u nichž jsou značné deformace při kalení.

Pro rozměrnější formy s vyšší trvanlivostí jsou používány legované oceli k zušlechťování se zvýšenou prokalitelností. Patří mezi ně manganové oceli 19 312 - 1.2842 a 19 314 - 1.2510. Tyto oceli mají obdobné vlastnosti, jako jsou dobrá obrobiteľnost a houževnatost. Vyznačují se také menšími deformacemi při kalení. Dále zde patří oceli křemíkové 19 452, chromové 19 421 - 1.221 a wolframové 19 732 - 1.2542, které se používají na výrobu vyhazovačů.

Střední a velké funkční části forem jsou vyráběny z oceli 19 662 - 1.2711, 19 663 - 1.2714 a 19 665 - 1.2744. Nahrazují oceli cementační s výhodou menší deformace při kalení a možností nitridace pro zvýšení jejich životnosti. Při vysokých nárocích na lesk se používají oceli s větším obsahem Ni (4-5%). [7, 19]

Antikoroziční oceli

Oceli tohoto druhu jsou používány na tvarové části forem, u kterých je důležitá chemická odolnost při zpracování agresivních druhů polymerů (PVC, CA). Nejvíce používaná je ocel 17 029 – 1.4034. Jedná se o nástrojovou nerezavějící chromovanou ocel, určenou ke kalení v oleji.

Tvarové části je možno povrchově upravit tvrdým chromováním, což vede ke zvýšení tvrdosti, lesku i chemické odolnosti při zpracování agresivních polymeru. Tato úprava se provádí po předchozím tepelném zpracování. Tvrdochrom je nanášen na tvrdý dobře vyleštěný povrch ve vrstvě 20 – 30 μm . [7, 19]

Oceli k nitridování

Nitridování se používá pro zvýšení tvrdosti povrchu u zakalených a popouštěných součástí. Po nitridování se zvyšuje otěruvzdornost dílu, u nichž je dostatečná nižší pevnost jádra (asi 1000 MPa).

K nitridování se používají oceli, které jsou legovány Al, V a Cr jako jsou například ocel 19 436, 19 550. Hloubka nitridované vrstvy je v rozmezí 0,02 - 0,05 mm. [7, 19]

Martenzitické oceli

Oceli vysoce legované prvky Cr, Ni, Co, Mo s nízkým obsahem uhlíku jsou tepelně vytvrditelné při nízkých teplotách. Tyto velmi drahé oceli se používají na náročné díly forem s vysokými požadavky na houževnatost, leštitelnost a rozměrovou stálost. Patří mezi ně oceli 19 901 - 1.2705 a 19 902 - 1.2709. Se zhoršenou obrobiteľností se zpracovávají v měkkém austenitizačně žíhaném stavu, následně se vytvrzují. [7, 19]

2.2 Slitiny mědi

Na výrobu některých součástí forem se začínají také prosazovat slitiny mědi. Především pro chladicí trny tenkých tvárníků, tvarové vložky, ale také na vytáčeací matice a šrouby, vodící a středící pouzdra, vyhazovací kolíky apod. Proti ocelím mají slitiny mědi tyto výhodné vlastnosti:

- Velmi dobrá tepelná vodivost
- Dobré kluzné vlastnosti
- Dobrá chemická odolnost

Při vhodném použití měděných materiálů se dosáhne:

- Vyšší kvality výstřiku
- Zkrácení vstřikovacího cyklu (kratší doba chlazení)
- Vyšší funkční bezpečnosti (vhodnější kluzné vlastnosti)

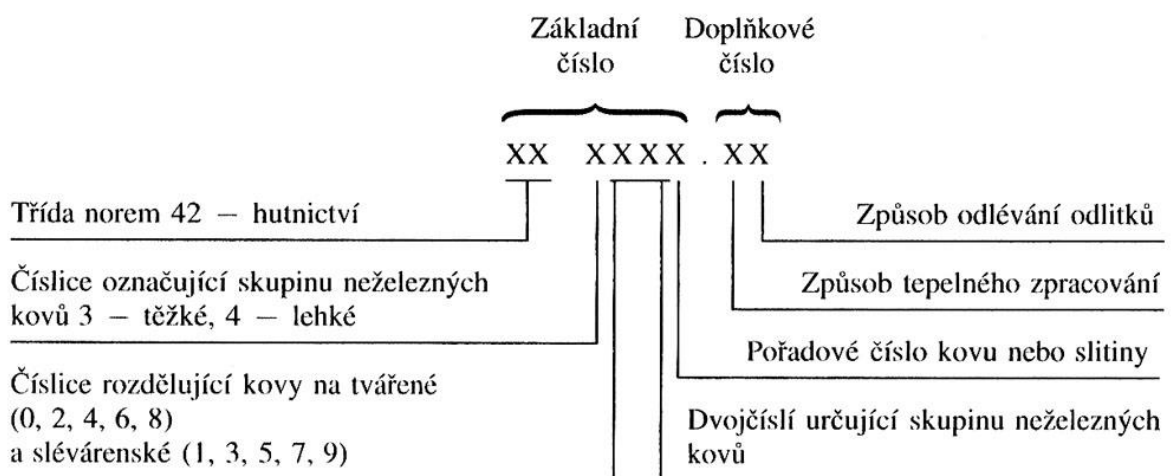
Jedna z nejdůležitějších vlastností slitin mědi je vysoká tepelná vodivost, která je oproti ocelím asi 4x vyšší. U ocelových forem je čas chlazení asi 70 % z času celého vstřikovacího cyklu. Využitím slitin mědi se minimalizuje čas chlazení na 20% - 50% cyklu, což vede ke snížení času cyklu a snížení ceny výstřiku. Zlepšení technologických časů vede k lepší struktuře polymeru, jakostnějšímu povrchu i přesnější geometrii výstřiku.

Měděné materiály mají také lepší obrobiteľnosť, proto se s výhodou používá třískové obrábění. Naopak nevýhodou je špatná opracovatelnost elektroerosivními metody obrábění. [7]

2.2.1 Číselné značení slitin mědi dle ČSN a EN

Značení dle ČSN42 0055

Těžké a lehké neželezné kovy se označují číselně a toto označení se skládá ze základní číselné značky a doplňkového čísla odděleného tečkou. Mezi těžké neželezné kovy patří tyto kovy a jejich slitiny: měď, cín, olovo, zinek, antimon, kadmium a nikl. Lehké neželezné kovy jsou hliník, hořčík, titan a jejich slitiny.



Obr. 6. Schéma číselného značení neželezných kovů [9]

Základní číselná značka je šestimístné číslo, označuje druh materiálu (spolu s doplňkovým číslem je označením jeho materiálového listu)

První dvojčíslí označuje třídu norem (42 – třída hutnictví)

Třetí číslice rozděluje materiály podle hustoty na těžké neželezné kovy a jejich slitiny a lehké neželezné kovy a jejich slitiny

Čtvrtá číslice rozlišuje slitiny podle jejich výrobní technologie: sudé číslice (0, 2, 4, 6 a 8) – slitiny pro tvářeni, liché číslice (1, 3, 5, 7 a 9) – slévárenské slitiny

Dvojčíslí ze 4. a 5. číslice určuje skupiny těžkých kovů a jejich slitin, např. čistá měď, čistý hliník, slitiny Cu-Sn, Cu-Ni, Al-Mg, Al-Si. (Tab. 3.)

Trojčíslí ze 4., 5. a 6. číslice určuje těžké a lehké kovy a jejich slitiny z hlediska chemického složení a hlediska výrobního.

Doplňkové číslo (dvoumístné) určuje pro tvářené odlitky – stav a jejich jakost.

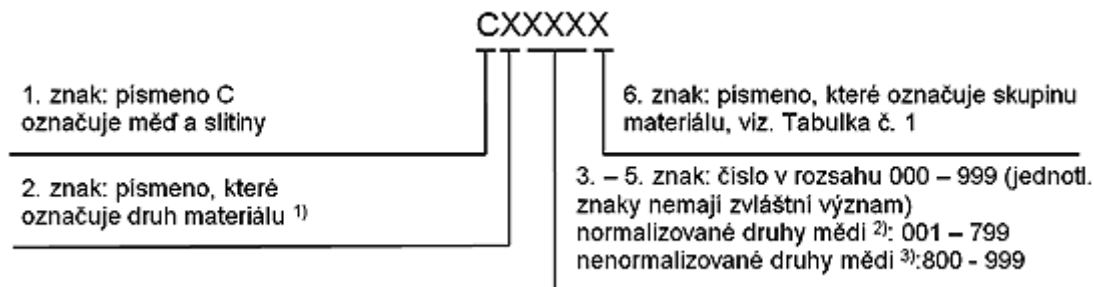
Doplňkové číslo (z 1. Číslice) určuje pro odlitky – stav odlitku po tepelném zpracování. [9]

Tab. 3. Význam 4. a 5. Číslice Značení dle ČSN 42 0055 [9]

Dvojčíslí ze 4. a 5. Číslice	Skupina kovů	Dvojčíslí ze 4. a 5. číslice	Skupina kovů
00	Čistá měď	22	Mosaz Cu – Pb – Zn (automatová)
01	Cínový bronz	23, 24	Speciální mosazi Cu, Zn
04	Hliníkový bronz	25	Niklové mosazi
06	Niklový bronz	40 – 49, 60 - 69	Ostatní těžké kovy
20	Tombaky Cu – Zn	80 - 89	Vzácné kovy

Značení dle ČSN EN 1412

Každý materiál může mít pouze jedno číselné označení. Označení musí být šestimístné (složeno z číslic a písmen), znaky za sebou následují bez mezer.



Obr. 7. Číselné značení mědi dle ČSN EN 1412: ¹⁾ písmeno W = materiály ve formě tvářených výrobků, ²⁾ druh mědi specifikovaný v evropské normě, ³⁾ druh mědi, který není specifikovaný v evropské normě, ale v Evropě se vyrábí [11]

Tab. 4. Význam písmen označujících skupinu materiálu dle ČSN EN 1412 [11]

Písmeno	Skupina materiálu
A, B	Měď
C, D	Nízkolegované slitiny mědi (méně než 5% legujících prvků)
E, F	Speciální slitiny mědi (5% a/nebo více legujících prvků)
G	Slitiny měď - hliník
H	Slitiny měď - nikl
J	Slitiny měď – nikl - zinek
K	Slitiny měď - cín
L, M	Binární slitiny měď - zinek
N, P	Slitiny měď – zinek - olovo
R, S	Komplexní slitiny měď - zinek

2.3 Slitiny hliníku

Formy ze slitin hliníku a dalších kovů mají specifické využití. Jsou méně pevné a odolné proti opotřebení. Pro části forem můžeme využít jejich výhodné vlastnosti, jakými jsou velké tepelná vodivost či korozivzdornost.

Využití těchto materiálů je například pro výrobu forem na strukturní pěny. Pro tyto formy je vyžadován intenzivní chladicí účinek, dobrá chemická odolnost proti korozi a činidlům, které vznikají při vstřikování polymerů s nadouvadlem. Tlaky při vstřikování jsou několikanásobně nižší než pro klasické vstřikování, proto je pevnost těchto forem dostačující.

Na funkční díly forem se používá válcovaná slitina 424203.6 (AlCuMg), která dosahuje dostatečné pevnosti po vytvrzení. U odlévaných materiálů není lehké docílit hladký a bezporézní povrch, proto se téměř nepoužívají. [2]

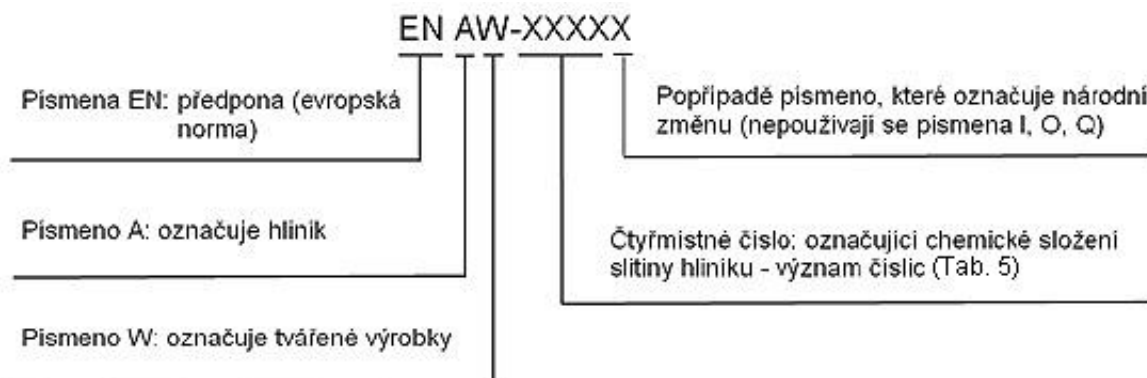
2.3.1 Číselné značení slitin hliníku dle ČSN a EN

Značení dle ČSN42 0055

Používá se norma pro značení těžkých a lehkých neželezných kovů viz. kapitola 2.2.1 (Obr. 6.). Číselné značení slitin mědi dle ČSN a EN.

Značení dle ČSN EN 573-1

Označení ve tvaru písmen a číslic, jak je uvedeno na Obr. 8.



Obr. 8. Číselné značení hliníku a slitin hliníku dle ČSN EN 573-1 [11]

Tab. 5. Význam číslic v označení tvářeného hliníku a jeho slitin [11]

Význam 1. číslice		Význam 2. číslice	Význam 3. a 4. číslice
Číslice	Skupina slitin		
1xxx	Al min. 99 %	Změny v mezním obsahu doprovodných 0: nelegovaný hliník s běžným obsahem doprovodných prvků 1 – 9: určují zvláštní regulaci obsahu doprovodných nebo slitinových prvků	Určují minimální obsah Al v %. Jsou shodné s číslicemi, uváděnými v označení min. procentuálního obsahu Al stanoveného na 0,01%, za desetinnou čárkou
2xxx	Cu	Modifikace dané slitiny 0: základní slitina 1 – 9: modifikace základní slitiny	Nemají zvláštní význam, rozlišují pouze různé slitiny ve skupině
3xxx	Mn		
4xxx	Si		
5xxx	Mg		
6xxx	Mg a Si		
7xxx	Zn		
8xxx	ostatní		

3 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ

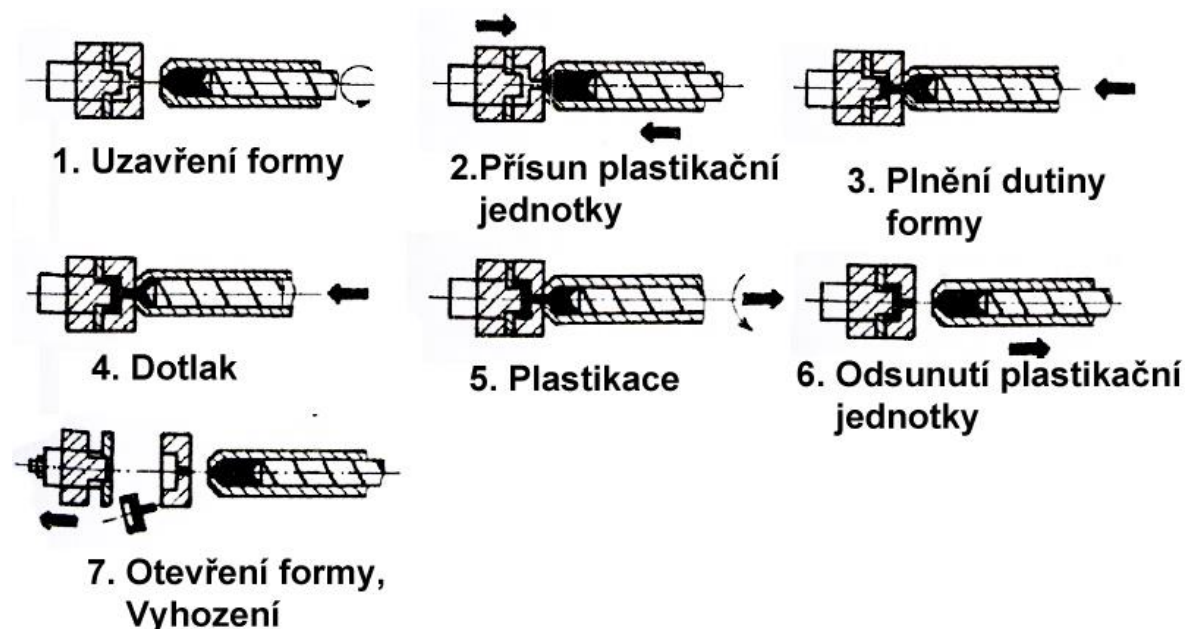
Jedná se o jednu z nejrozšířenějších a nejpoužívanějších technologií používanou při výrobě dílu z polymerních materiálů. Vstřikování je poměrně složitý fyzikální proces tváření. Nej-
důležitější faktory ovlivňující kvalitu výstřiku a jeho užité vlastnosti, jsou:

- Výchozí polymer použitý na výrobu
- Vstřikovací stroj a ostatní zařízení podílející se na výrobním cyklu
- Nástroj (Vstřikovací forma)
- Procesní parametry (Vstřikovací cyklus) [4]

V průběhu vstřikování je roztavený polymer tlakem dopravován z vstřikovacího stroje do dutiny formy, kde je chlazen ve tvaru požadovaného výrobku. [1]

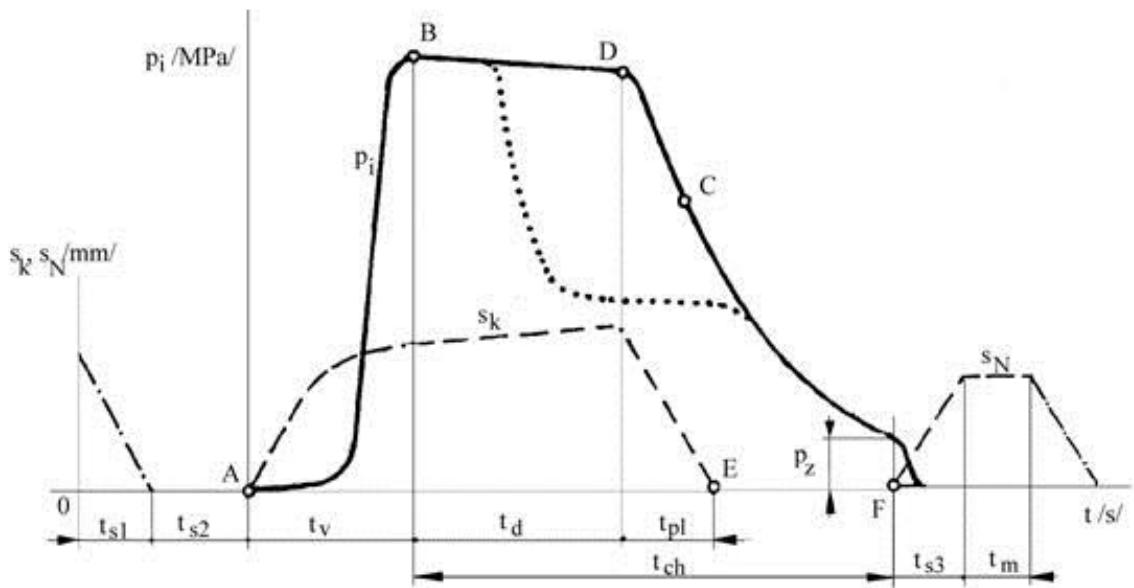
3.1 Vstřikovací cyklus

Je tvořen sledem přesně za sebou jdoucích operací. Počátek vstřikovacího cyklu je definován jako okamžik impulsu k zavření formy.



Obr. 9: Činnost vstřikovacího stroje [1]

Na obr. 10. je znázorněn průběh tlaku v dutině formy p_i , který se používá pro popis vstřikovacího cyklu.



Obr. 10: Průběh tlaku v dutině formy během vstřikovacího cyklu [1]

Před zahájením cyklu je forma prázdná a otevřená. V čase $t=0$ stroj obdrží impuls k zahájení cyklu. V čase t_{s1} se forma přisune, uzavře a uzamkne. Při uzavírání formy je na přísun vynakládána poměrně malá síla F_p . Naopak při uzamknutí je třeba vynaložit značně vyšší sílu F_u z důvodu zabránění jakéhokoliv pootevření formy vlivem síly, která vzniká jako důsledek tlaku taveniny v dutině formy. V čase t_{s2} probíhá přísun tavicí komory k formě. Úseky t_{s1} a t_{s2} jsou nazývány jako strojní časy. V bodě A se začíná pohybovat šnek v tavicí komoře, začíná vstřík roztavené hmoty do formy. V této fázi šnek koná pouze posuvný pohyb, působí jako píst. S nepatrným zpožděním začíná vzrůstat tlak taveniny proudící do dutiny formy. Až do bodu B probíhá plnění dutiny formy v čase t_v . Po vstupu taveniny do dutiny formy začíná tavenina předávat teplo do formy, tím tavenina chladne. Chladnutí trvá až do otevření formy a vyhození výstřiku, to probíhá v časovém intervalu doba chladnutí t_{ch} . Chladnutí je možno rozdělit na dvě fáze, z nichž jedna probíhá při plném vstřikovací tlaku a druhá při klesajícím tlaku. První fázi představuje doba dotlaku t_d . Během této fáze probíhá smrštění, hmota zmenšuje svůj objem, což by mělo za důsledek tvorbu staženin. Tento úbytek hmoty je kompenzován dotlačením menšího množství taveniny do dutiny. Velikost dotlaku může být stejná po celou dobu působení, a to taková jako byl původní vstřikovací tlak. Po několika sekundách se však velikost dotlaku může snížit, takže další

chladnutí již probíhá již za sníženého tlaku. Dotlak končí v bodě D, následuje doba plastikace t_{p1} nové dávky polymeru. Šnek začne konat rotační pohyb a nabírat granulát pod násypkou. Poté probíhá plastikace a vtlačování polymeru před čelo šneku, šnek se současně pohybuje dozadu. Kvalita homogenity taveniny je závislá na zpětném odporu šneku, tedy tlakem hydraulické kapaliny, který musí šnek překonat při zpětném pohybu.

Bodem C je označen okamžik zatuhnutí hmoty ve vtokovém kanálu. Vtokovým kanálem je spojena dutina tavicí komory s dutinou formy. Dokud je hmota v kanálu ve stavu taveniny, může šnek ovlivňovat tlakové poměry v dutině formy. Zatuhnutím je však kanál mezi tavicí komorou a dutinou formy přerušen a další působení dotlaku je již zbytečné. Tento bod je důležitý z hlediska výsledných vlastností výstřiku. Působení dotlaku tedy skončí nejpozději v bodě C. Dotlak může však přestat působit i před bodem C, to má však následek zrychlený pokles tlaku ve formě.

V bodě E je plastikace ukončena, rotační pohyb šneku se zastaví a v čase t_k probíhá odjezd tavicí komory od formy. To proto, že od formy, která je chlazená, by probíhalo chlazení trysky tavicí komory. Tavicí komora je vytápěna a musí zůstat dostatečně horká, aby materiál zůstal v roztaveném stavu. Oddálením tedy zabráníme přesunu tepla z trysky do formy.

Chlazení formy pokračuje, přičemž klesá tlak v dutině formy až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , pod tímto tlakem se již ztuhlá hmota nachází ve formě těsně před otevřením. Nedostatečná hodnota zbytkové tlaku může způsobit propadliny a deformace výstřiků, vysoká hodnota pak může mít za následek vysoké vnitřní pnutí ve výstřících. Snížení zbytkového tlaku může být dosaženo zkrácením doby dotlaku, anebo naprogramováním průběhem tlaku během dotlaku (na Obr. 10. tečkovanou čarou).

Po ochlazení formy na vyhazovací teplotu se forma otevře (v bodě F) a výstřik je z formy vyhozen ve strojním čase t_{s3} . Před začátkem dalšího cyklu je někdy třeba zařadit čas potřebný pro obsluhu formy (například pro vkládání kovových záložek do formy), nazýváme jej manipulační čas t_m .

Strojní časy potřebné na uzavření a otevření formy jsou závislé na dráze, kterou musí forma urazit a na její rychlosti. Z důvodu úspory času je snaha zkracovat dráhu na minimum, musí být však dostatečná, aby bylo umožněno bezpečné vyhození výstřiku z formy, případně aby zbyl prostor pro manipulaci v otevřené formě. Rychlost formy není konstantní, snižuje se zmenšující se mezerou mezi deskami, tak aby se při uzavírání forma nepoškodila. Také při otevírání je rychlost nejprve vysoká a před dosednutím formy na vyhazovač se

snižuje, aby vyhazovací kolíky vysunuly výstřik pomalu. Celková doba všech strojních časů u strojů střední velikosti nepřesahuje několik sekund. Doba chlazení překrývá doba potřebná na odsun tavicí komory t_k a doba prodlevy komory v zadní poloze t_{kp} . V této pozici komora zůstává až do uzavření formy, po čase t_{s1} dosedne opět na formu.

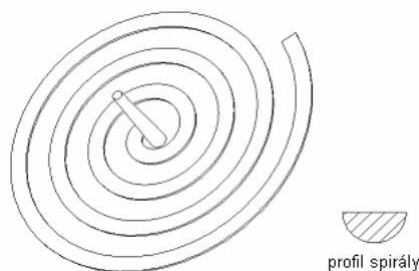
Doba plnění t_v je závislá na rychlosti pohybu šneku vpřed. Na tuto vstřikovací rychlost mají vliv technologické podmínky, především teplota taveniny a vstřikovací tlak, vliv má i objem a design výstřiku, typ vtokové soustavy či druh vstřikovaného polymeru. Doba plnění se pohybuje od zlomků sekundy do několika sekund.

Doba dotlaku t_d představuje prodlevu mezi ukončením plnění dutiny a počátkem plastifikace. Tato doba závisí na průřezu vtokového kanálu, čím je kanál užší tím dříve hmota v kanálu zatuhne. Zpravidla se jedná o několik sekund.

Doba chlazení t_{ch} je časově nejvýznamnější část cyklu, pohybuje se od několika sekund až do několika minut. Je závislá na objemu a tvaru výstřiku, druhu plastu, teplotě taveniny a formy. Doba chlazení je zkracována účinným chlazením formy, zejména v místech, v nichž hmota chladne nejpomaleji. [1]

3.2 Faktory ovlivňující vlastnosti výstřiku

O mechanických a fyzikálních vlastnostech výstřiku rozhoduje především zvolený polymer, do značné míry jsou však závislé i na technologických podmínkách vstřikování, konstrukčním řešením formy a volbou stroje. Pro zpracování musí mít polymerní materiál takové vlastnosti, aby bylo dosaženo homogenní taveniny v nejkratším čase. Polymer je dodáván ve formě granulátu, jehož částice mají mít vhodný tvar a co nejmenší rozdíly ve velikosti. Nejlépe osvědčený tvar granulátu je ve formě válečků o průměru 1 až 3 a délce 3 až 5 mm. Tento granulát dobře propadává hrdlem násypky a je snadno nabírán otáčejícím se šnekem. [1]



Obr. 11. Spirála pro zkoušku zabíhavosti [12]

Důležitou vlastností taveniny je její zabíhavost. Zabíhavost je zjišťována zkouškou při které se polymer vstřikuje do formy, která má tvar spirály (obr. 11.). Danou zkouškou tedy můžeme porovnávat materiály na základě vzdálenosti zatečení taveniny. Zabíhavost taveniny lze ovlivnit teplotou taveniny, tlakem při vstřikování a teplotou formy.

Při řízení procesu vstřikování není vhodné, jestliže se viskozita taveniny mění příliš rychle se změnou teploty, z důvodu zvyšování nároků na přesnost regulace. Taktéž není vhodný příliš úzký interval teploty, v kterém přechází polymer ze stavu tuhého do stavu viskózní kapaliny. Taková tavenina velmi rychle ztrácí v kontaktu s chlazenou formou tekutost, což má za následek nezatečení polymeru do všech míst tvarové dutiny.

Důležitá je také dostatečná tepelná stabilita polymeru v celém rozsahu zpracovatelských teplot. Spodní hranice tohoto intervalu je dána teplotou tavení polymeru, horní hranice pak teplotou, při které polymer degraduje. Polymery se začnou rozkládat při teplotě závislé na chemickém složení, stejně jako všechny organické látky. To se projevuje zhoršením mechanických vlastností, zpravidla zvyšující se křehkostí. Stupeň degradace je závislý na teplotě, které je polymer vystaven a na čase, který tato teplota působí. Pro zpracovatelské procesy je vhodné co nejširší teplotní oblast zpracování.

Polymer nesmí uvolňovat těkavé látky při zpracování, což by mělo za následek zhoršení vzhledu, případně mechanických vlastností výstřiku. Takové polymery je nutno předem zbavit vody sušením, nebo použít speciální vstřikovací stroje s evakuační zónou v tavící komoře.

Dále je důležitá kontrolovatelná hodnota smrštění, minimální vnitřní pnutí ve výstřiku a dodržení optických vlastností hmoty. [1, 12]

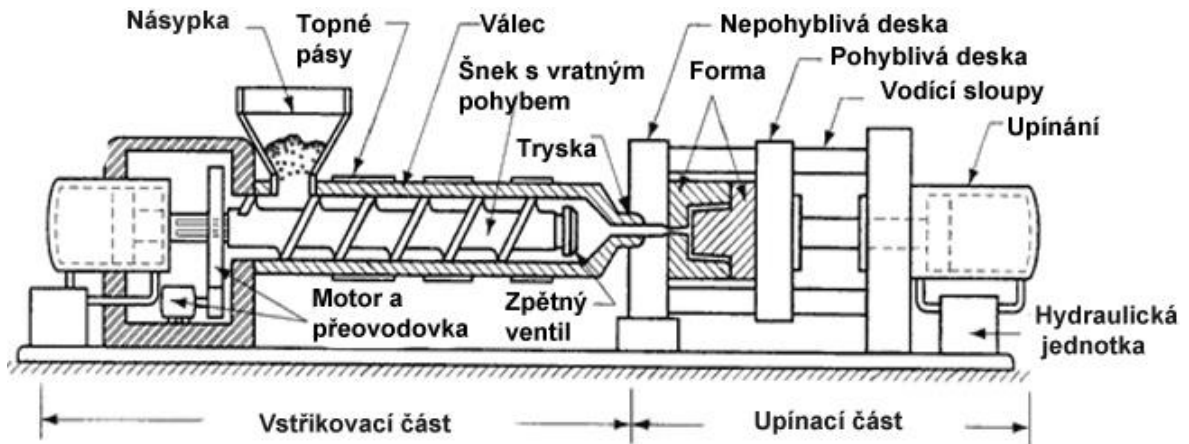
3.3 Vstřikovací stroj

Kvalitou svých parametrů a řízením zajišťuje výrobu jakostních výstřiků. Existuje velký počet různých konstrukcí strojů, které se liší provedením, způsobem řízení, reprodukovatelností a stálostí jednotlivých parametrů, rychlostí výroby či snadnou obsluhou.

Konstrukce stroje je charakterizována podle:

- vstřikovací jednotky
- uzavírací jednotky
- ovládání a řízení stroje

Nejčastěji používané vstřikovací stroje jsou především hydraulické nebo hydraulicko-mechanické stroje, především stavebnicového uspořádání s různým stupněm elektronického řízení.



Obr. 12. Schéma vstřikovacího stroje [13]

Prvky pro řízení a ovládání bývají umístěny na panelu vstřikovacího stroje, případně v elektrorozvodné skříni vybavené zásuvkami a vypínači. Tím je umožněno připojení přídatných a pomocných zařízení (temperanční, vytáčeční, atd.) [4, 34]

Na vstřikovací stroj jsou kladeny zejména tyto požadavky:

- Vysoká tuhost a pevnost při vstřikování
- Udržitelnost konstantního tlaku, rychlosti, teploty a ostatních parametrů včetně jejich přesného časového působení
- Přesná reprodukovatelnost technologických parametrů

Velikost vstřikovacího stroje se určuje dle vstřikovací kapacity. Jedná se o maximální objem roztaveného polymeru, který lze vstříknout z tavicí komory při jednom pracovním zdvihu šneku.

Dalším důležitým údajem je plastikační kapacita, ta představuje maximální hmotnost zplastikovaného polymeru za jednu hodinu. Plastikací se rozumí zahřátí polymeru na teplotu vstřikování a dosažení potřebné homogenity taveniny. [1]

3.3.1 Vstřikovací jednotka

Slouží k přípravě a dopravě požadovaného množství roztaveného polymeru s předepsanými technologickými parametry do vstřikovací formy. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Při příliš malém vstřikovaném množství setrvává polymer ve vstřikovací jednotce dlouhou dobu, čímž nastává jeho degradace. To můžeme ovlivnit rychlejšími cykly výroby. Maximální vstřikované množství by nemělo překročit 80% jednotky, z důvodu případného doplnění při úbytku hmoty při chlazení smrštěním. [4, 34]

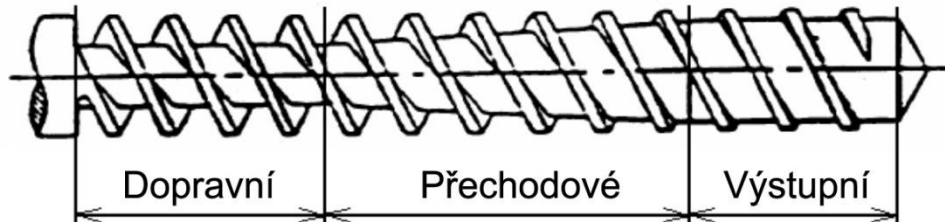


Obr. 13. Vstřikovací jednotka [15]

Práce vstřikovací jednotky probíhá tak, že do tavicího válce je dopravován zpracovaný polymer z násypky pohybem šneku. Šnek posouvá polymer přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Postupně probíhá plastikace, homogenizace a tavenina se hromadí před šnekem. Současně ho odtlačuje do zadní polohy. [4, 34]

Šnek je konstruován tak, aby bylo umožněno správné dávkování a doprava materiálu, plastikace, hnětení a vstřikování do formy. U technologie vstřikování se používá diferenciální šnek, jenž má definován kompresní poměr. Kompresní poměr je dán jako poměr objemu šnekového profilu pro jedno stoupání závitu pod násypkou k objemu profilu v části šneku před tryskou. Hodnota kompresního poměru je 1,5 až 4,5. Kompresní poměr je realizován

změnou průměru jádra šneku což vede ke změně hloubky drážky, případně změnou úhlu stoupání závitu.



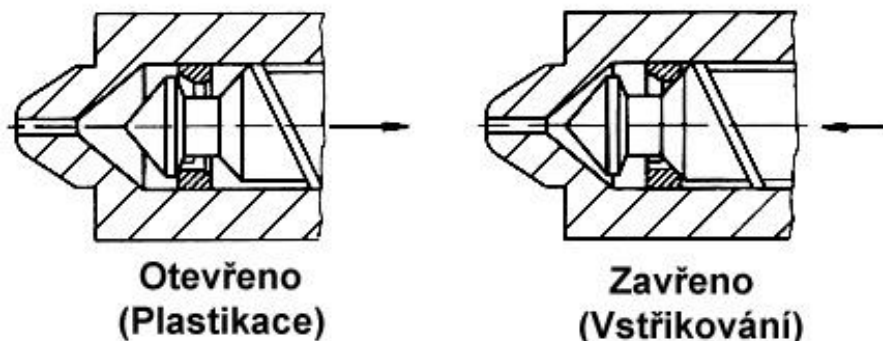
Obr. 14. Diferenciální šnek vstřikovacího stroje [14]

Na šneku (Obr. 14.) vstřikovacího stroje se nacházejí tři pásma, které mají rozdílnou funkci. Pod násypkou je průměr jádra šneku nejmenší, drážka šneku je zde konstantní a hluboká. Toto pásmo se nazývá dopravní. Polymer je v něm stlačován, čímž se vytěsňuje vzduch z granulátu a ohříván, nesmí se však začít tavit.

V druhém, přechodovém pásmu se zvětšuje průměr jádra šneku a zmenšuje se hloubka drážky. Důsledkem toho dochází ke stlačování materiálu, polymer je zde taven. Na konci tohoto pásma musí být materiál zcela roztaven, není však ještě plně homogenizován.

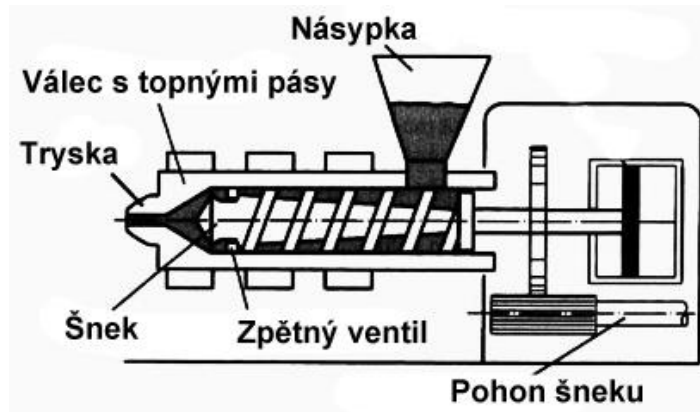
Homogenizace probíhá v posledním, výstupním pásmu. V tomto pásmu je největší průměr jádra šneku, tudíž nejmenší hloubka drážky.

Tavenina má při vstřikování snahu téci drážkou zpět k násypce. Proto je zakončení šneku konstruováno tak, aby se tomuto jevu zabránilo. Provádí se tupé zakončení šneku nebo prodloužené zakončení špičky šneku. Nejspolehlivější je zakončení zpětným uzávěrem. [1]



Obr. 15. Zpětný uzávěr vstřikovací jednotky [13]

Topení tavící komory je rozděleno do tří pásem (vstupní, střední a pásmo u trysky). Tryska disponuje samostatným topením. Část tepelné energie vzniká disipací materiálu.

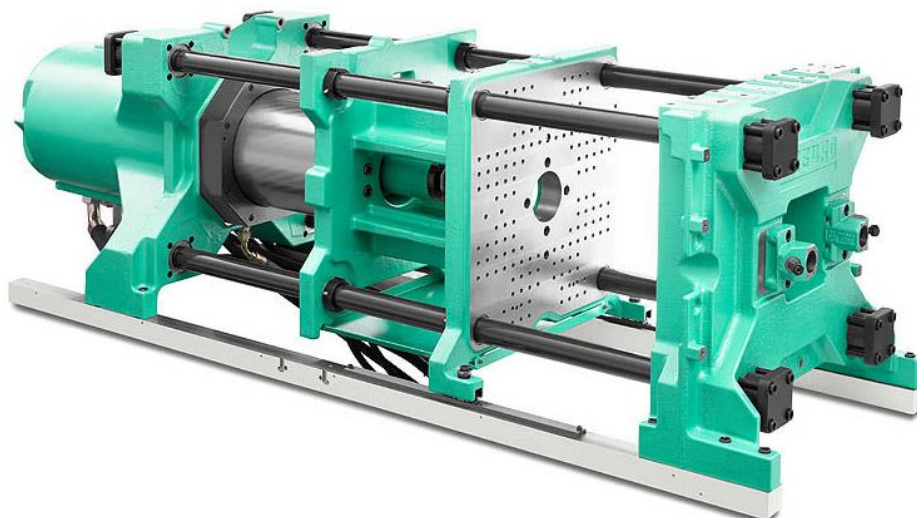


Obr. 16. Schéma vstřikovací jednotky [13]

Tavicí komora je zakončena vyhřívanou tryskou, která spojuje formu s vstřikovací jednotkou. Přesné dosednutí do sedla vtokové vložky zajišťuje kulové zakončení trysky. Podmínkou správné funkce je jejich souosost, menší průměr otvoru a menší poloměr trysky než je u sedla vtokové vložky. [4, 34]

3.3.2 Uzavírací jednotka

Slouží k ovládání formy a zajišťuje její polohu v uzavřené i otevřené poloze. Velikost uzavíracího tlaku je nastavitelná a je přímo závislá na velikost vstřikovacího tlaku, ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině.



Obr. 17. Uzavírací jednotka [15]

Hlavní části uzavírací jednotky:

- Pevná opěrná deska
- Upínací deska
- Vodící sloupky
- Uzavírací mechanismus

Uzavírací mechanismy mohou mít různý způsob provedení. Hydraulické jednotky mohou být otevřeny do libovolné hloubky. Musí být zajištěny proti závorou proti pootevření nástroje. Hydraulicko-mechanické jednotky jsou používány na strojích s malým vstřikovaným objemem materiálu. Zaručují vyšší rychlost uzavírání a potřebné zpomalení před uzavřením formy. Taktéž se vyznačují vysokou tuhostí. Jsou konstruovány jako kloubové mechanismy ovládané hydraulickým válcem. Formu proti pootevření při vstřikování zajišťuje válec velkého průřezu, který je pevně spojen s upínací deskou. [4, 34]

3.3.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Charakteristickým znakem kvality vstřikovacího stroje je stupeň řízení a snadná obsluha. Důležitá je stálá reprodukovatelnost technologických parametrů. Pokud tyto parametry kolísají, nerovnoměrnost se projeví na přesnosti a kvalitě výroby. Řízení stroje je nutno zajistit vhodnými regulačními a řídicími prvky.

U nových koncepcí vstřikovacích strojů je nutnost výkonné procesorové techniky. Pro nastavování technologických parametrů se využívá grafické formy řízení pracovního cyklu na displeji se selektivním přístupem k jednotlivým parametrům stroje. Cyklus pracovního stroje sestavený do programových sekvencí je pak snadno kontrolovatelný a upravitelný.

Koncepce seřízení je rozdělena na:

- Sestavení grafu vstřikovacího stroje
- Definice a nastavení parametrů
- Kontrola procesu

Nastavení stroje je kontrolováno zpětně řídicím systémem. [4, 34]

3.3.4 Vstříkovací formy

Výroba dílů vstříkáním je realizována na vstříkovacím stroji a ve formě v poměrně krátkém čase. Důležití je působení dostatečné teploty, tlaku a dalších parametrů. Z toho vyplývají požadavky na stroj a vstříkovací formu.

U formy je vyžadována:

- Vysoká přesnost a jakost funkčních ploch dutiny formy a dalších funkčních dílů.
- Maximální možná pevnost a tuhost částí formy i celku, z důvodů zachycení potřebných tlaků.
- Správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazovací systém, odvodušnění, temperování a další.
- Dlouhá životnost zaručenou konstrukcí, materiálem a výrobou.

Konstrukce vstříkovacích forem jsou realizovány v mnoha variantách, lze je rozdělit do následujících skupin:

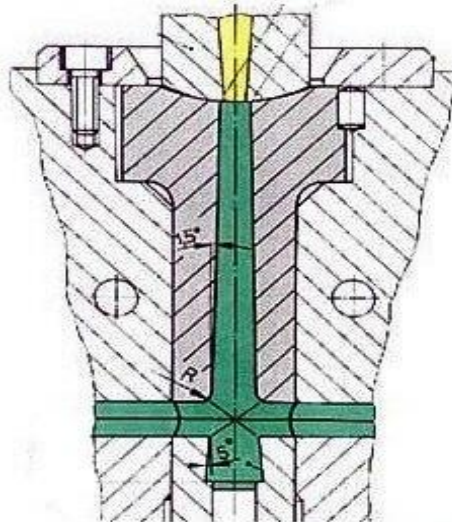
- Dle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné
- Dle zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, čelist'ové, etážové, vytáček, apod.
- Dle konstrukce vstříkovacího stroje na formy se vstříkem do dělicí roviny a na formy se vstříkem kolmo na dělicí rovinu.

Vstříkovací forma je složena z dílů, vymežujících dutinu formy, z vtokového systému, z temperačního systému, z vyhazovacího systému a z vodících a upínacích elementů. Části vstříkovací formy jsou rozděleny do dvou skupin na části funkční a části konstrukční. Funkční části jsou ve styku s tvářeným materiálem a dávají mu požadovaný tvar. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost formy. [4, 34]

Vtokový systém

Kvalitu a jakost výstříku nejvíce ovlivňuje vtokový systém. Vtokový systém zajišťuje správné naplnění dutiny formy, oddělení od výstříku a snadné vyhození vtokového zbytku. Vtokový systém je navrhován podle rozmístění a počtu tvarových dutin a podle toho, zda bude konstruován jako horký nebo studený rozvod. Při vstříkování termoplastů je důležité správné umístění vtoku a správný druh vtokového systému. Vtok musí být řešen dle zásad tak, aby naplnění formy taveninou proběhlo co nejkratší cestou bez značných tlakových a

teplotních ztrát. Důležité je doplnění formy co nejrychleji a pokud možno všude ve stejném čase. U forem vícenásobných je velmi důležité, aby plnění všech tvarových dutin probíhalo současně a při srovnatelných technologických podmínkách, což znamená při stejném vnitřním tlaku a stejné teplotě taveniny. [4, 34]



Obr. 18. Detail vtokového ústí [14]

U forem vícenásobných je možné umístění tvarových dutin buď v řadě, nebo do hvězdy. Pro plnění tvarových dutin je výhodnější umístění do hvězdy, protože k zaplnění dochází stejnoměrně. Uspořádání v řadě je méně výhodné a je třeba provést korekci ústí vtoku. Korekce ústí vtoku je prováděna změnou rozměrů rozváděcích kanálů směrem ke vzdálenějším dutinám.

Temperační systém

Aby byla zajištěna opakovatelnost výroby, musí polymer ve formě zchladnout co nejrychleji z technologického a ekonomického hlediska. Z tohoto důvodu vstřikovací formy obsahují temperační systém. Temperační systém je soustava dutin a kanálů, které umožňují prostup a přestup tepla z taveniny do formy temperovací kapaliny. Chladící medium protékající soustavou chladících kanálků slouží k udržování požadované teploty formy. Je důležité zajistit, aby se hmota ochlazovala ve všech místech stejnou rychlostí. Nerovnoměrným ochlazením vznikají ve výrobku vnitřní pnutí, může se deformovat a vznikají v něm trhliny. Temperační systém se dělí do dvou okruhů, na okruh pro pevnou (vtokovou) část formy a okruh pro pohyblivou část. Rozměry a rozmístění temperačních kanálků jsou navrhovány s ohledem na celkové řešení formy, tedy na umístění vtokové soustavy, tvarových složek a vyhazovacího systému. Vzdálenost jednotlivých kanálů od líce formy musí být

volena tak, aby nedocházelo k porušení povrchu dutiny formy, ale také aby v tvarové dutině nevznikala podchlazená místa. Obecnou zásadou je použití většího počtu malých kanálů, než-li je množství většího počtu větších kanálů. Průřez kanálů se používá kruhový o průměru 6-20 mm. Celková délka kanálů je volena tak, aby rozdíl teplot temperačního média na vstupu a výstupu byl 3-5°C. [4, 34]

Vyhazovací systém

Při ochlazování výrobku dochází k jeho smršťování a setrvání na tvarových součástech formy, z tohoto důvodu musí vstřikovací forma obsahovat různé mechanismy pro vyhazování výstřiků. Nejčastější a nejjednodušší způsob vyhazování je mechanický princip pomocí vyhazovacích kolíků, stíracích desek a kroužků, apod. Jednotlivé způsoby vyhazování se v praxi kombinují. [4, 34]

4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Při mechanických zkouškách jsou zkušební tělesa deformována pod určitým napětím, které vzniká při namáhání tahem, tlakem, ohybem, smykem či krutem. Pro technické použití polymerních výrobků je obvyklým předmětem zkoumání jejich mechanická pevnost proti různým působením síly. Používané zkušební metody je možno rozdělit do tří skupin:

1. Statické zkoušky – Materiál je namáhám pomalu se měnícími silami. Síla je zvyšována pomalu, obvykle do zničení zkušební tělesa.
2. Dynamické zkoušky- Působící síla se mění za velmi krátký časový úsek. Působení síly může být i dlouhodobé, ale v tomto případě se její velikost mění periodicky v krátké době.
3. Únavové zkoušky. Mechanické vlastnosti se zkoušejí dlouhodobě za předepsaných podmínek časově proměnného namáhání, až do porušení materiálu. [16]

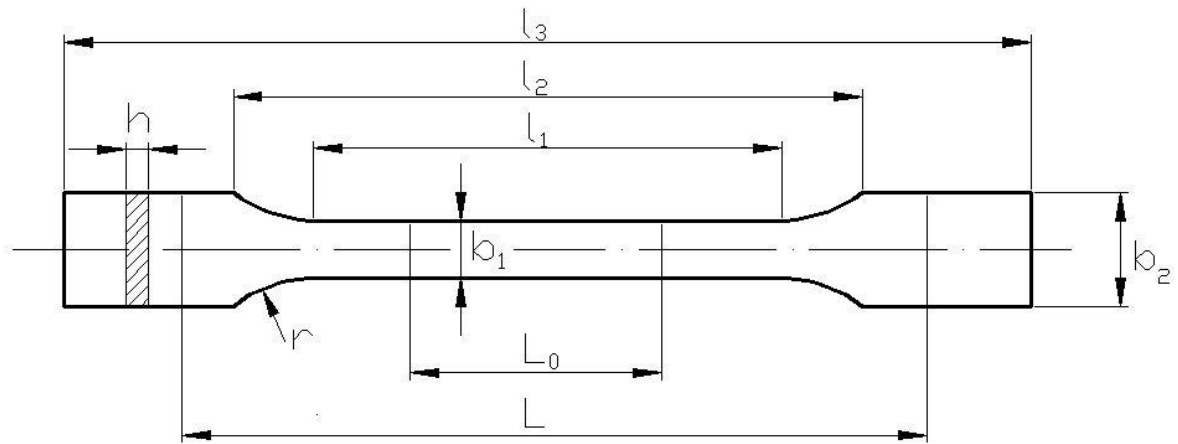
4.1 Příprava vzorku

Výsledky mechanických zkoušek jsou závislé především na vlastnostech polymeru, jako jsou chemické složení, molekulová hmotnost a její distribuce, krystalinita, obsah nečistot a dalších. Ve značné však výsledky těchto zkoušek ovlivňují i způsob zpracování a zpracovatelské podmínky výroby zkušebních těles. Pro jednotlivé zkoušky, případně polymery existují zvláštní předpisy dané normou.

Zkušební vzorky se připravují většinou vstřikováním. Vstřikování probíhá do vytemperované formy, tak aby ve výstřiku vznikala rovnoměrná krystalinická struktura. Velký vliv má také tlak ve formě a teplota taveniny. Parametry musí být nastaveny tak, aby nedocházelo k nedokonalému vyplnění formy, čímž by ve výstřiku vznikaly mezi tuhnoucími vrstvami velké koncentrace napětí. [16]

4.1.1 Normalizované rozměry zkušebních vzorků pro zkoušku v tahu

Tělesa těchto tvarů a rozměrů se používají pro vstříkovaná víceúčelová zkušební tělesa [20].

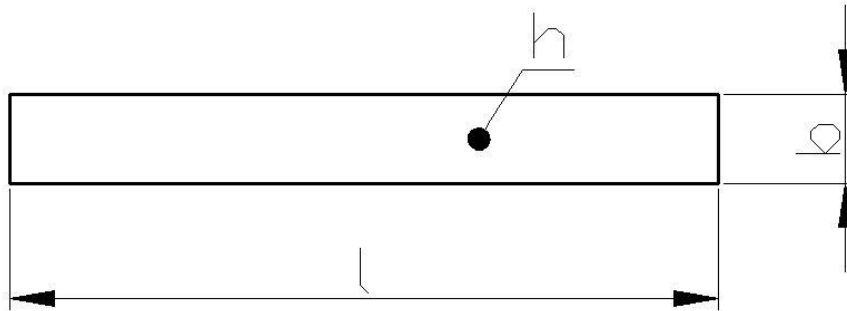


Obr. 19. Zkušební těleso pro tahovou zkoušku [20]

Tab. 6. Rozměry zkušebního tělesa pro tahovou zkoušku [20]

Kóta	Rozměr	Hodnota [mm]
l_1	Délka zúžené části s rovnoběžnými hranami	80 ± 2
l_2	Vzdálenost mezi rozšířenými částmi s rovnoběžnými hranami	$109 \pm 3,2$
l_3	Celková délka	170
R	Poloměr zaoblení	24 ± 1
b_1	Šířka zúžené části	$10 \pm 0,2$
b_2	Šířka konců	$20 \pm 0,2$
H	Doporučená tloušťka	$4 \pm 0,2$
L_0	Počáteční měřená délka (preferovaná)	$75 \pm 0,5$
L	Počáteční vzdálenost mezi čelistmi	115 ± 1

4.1.2 Normalizované rozměry zkušebních vzorů pro zkoušku rázové houževnatosti



Obr. 20. Zkušební těleso pro zkoušku rázové houževnatosti [23]

Tab. 7. Rozměry tělesa pro zkoušku rázové houževnatosti [23]

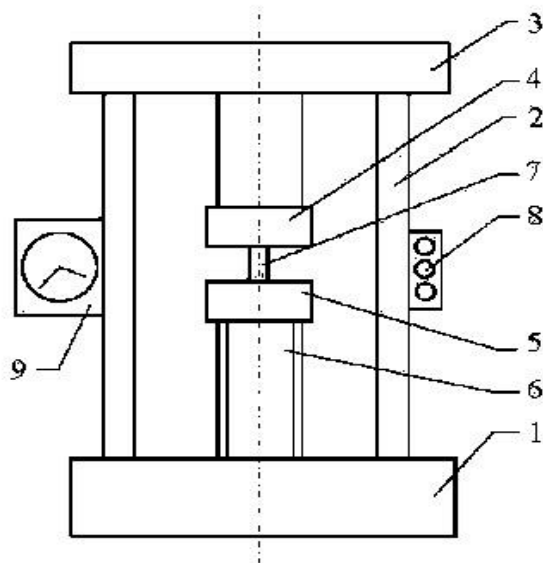
Kóta	Rozměr	Hodnota [mm]
l	Délka	80 ± 2
b	Šířka	$10 \pm 0,2$
h	Tloušťka	$4 \pm 0,2$

4.2 Statické zkoušky

Při těchto zkouškách je materiál namáhán pomalu měnícími silami. Síla se zvyšuje rovnoměrně, obvykle do okamžiku zničení tělesa. Rozdělují se na statické zkoušky krátkodobé a dlouhodobé. Mezi krátkodobé zkoušky patří Zkoušky v tahu, v ohybu a zkoušky tvrdosti, mezi dlouhodobé pak křipové zkoušky v tahu a v ohybu. [16]

4.2.1 Zkouška tahem

Je jednou z nejdůležitějších zkoušek materiálu hodnotící jeho pevnost. Při tahovém namáhání vznikají také smyková napětí jako důsledek ortotropie materiálu (vlastnosti plastu se v různých místech liší). [16]



Obr. 21. Schématické znázornění trhacího stroje: 1 - hnací jednotka, 2 – stojany s vedením, 3 – silový mechanismus, 4 – pevná čelist, 5 – pohyblivá čelist, 6 – pohybový šroub, 7 – zkušební vzorek, 8 – ovládání, 9 – výstupní zařízení [17]

Při působení síly F na průřez tělesa S , bude osově napětí působící v průřezu tělesa

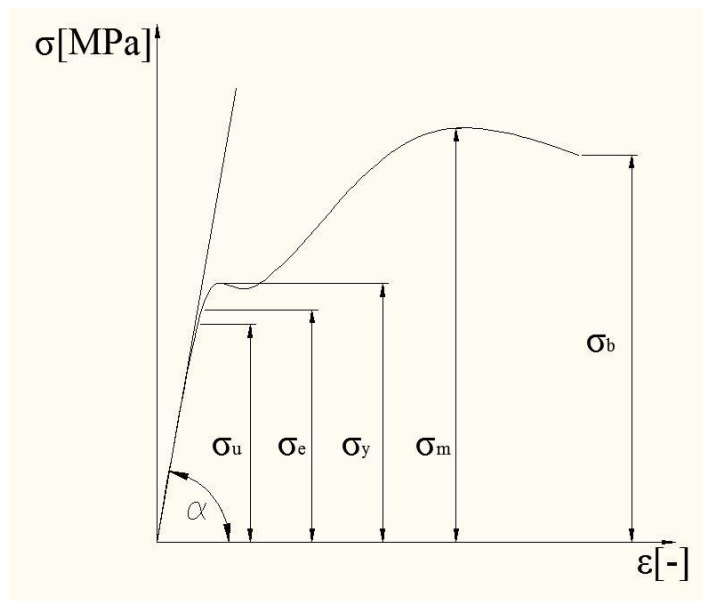
$$\sigma = \frac{F}{S} [\text{MPa}] \quad (1)$$

Průřez tělesa je však proměnný, vždy tak, aby bylo dosaženo rovnováhy mezi deformací a napětím. Zjišťování skutečného napětí je velmi obtížné, proto se v praxi používá takzvané smluvní napětí, což je síla vztažená na počáteční průřez zkušební tělesa A .

$$\sigma = \frac{F}{A} [\text{MPa}] \quad (2)$$

Tahová křivka pro polymery je velmi podobná tahové křivce pro kovové materiály. V průběhu zkoušky je trvale měřena síla a prodloužení zkušebního tělesa. Pro grafické vyjádření se používá závislost smluvního napětí (vzorec 2.) a poměrného prodloužení. Poměrné prodloužení je zvětšení délky vztažené na počáteční měřenou délku dané jako bezrozměrná hodnota, nebo v procentech. [16]

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$



Obr. 22. Pracovní diagram tahové zkoušky [18]

Napětí, či poměrné prodloužení může být vyhodnocené v kterémkoliv bodě na tahové křivce. Charakteristické veličiny materiálu zjišťované tahovou zkouškou jsou:

Napětí na mezi úměrnosti materiálu σ_u

Do tohoto mezního napětí je deformace přímo úměrná napětí. Průběh tahové křivky je prakticky přímkový a platí pro ní Hookeův zákon (vzorec 4.). Ve skutečnosti není průběh ideální už od samého počátku zatěžování, proto se v praxi jako napětí na mezi úměrnosti používá takové napětí, které odpovídá nárůstu 0,01% měřené délky.

Modul pružnosti v tahu E

Je podíl napětí v tahu a poměrného prodloužení v oblasti, ve které existuje lineární závislost mezi napětím a prodloužením. (vzorec 4.)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [MPa] \quad (4)$$

Z grafu pracovního diagramu (Obr. 22.) lze vypočítat jako:

$$\operatorname{tg} \alpha = E \quad (5)$$

Napětí na mezi pružnosti σ_E

Při přesažení hodnoty tohoto napětí vzniká ve zkušebním tělese trvalá deformace, tzn. že po odlehčení se již těleso nevrátí do svého původního tvaru.

Napětí na horní a dolní mezi kluzu σ_y

Do horní meze kluzu se zvyšuje prodloužení se stoupajícím napětím, Za touto mezí se dále zvyšuje deformace, při poklesu napětí. Deformace přestává být homogenní. Na zkušebním tělese se vytvoří místo s menším průřezem (krček). V této oblasti klesá napětí, protože se zmenšuje průřez krčku. Současně dochází k orientaci molekul, tím se zvětšuje odpor proti deformaci. Postupně deformační zpevnění krčku dosáhne takového stupně, že je jeho tuhost vyšší než tuhost neprodloužené části tělesa. Po té se již průřez krčku v podstatě nemění. Od dolní meze kluzu dochází k homogennímu protahování vydlouženého tělesa.

Napětí na mezi pevnosti v tahu σ_m

Maximální napětí naměřené v průběhu tahové zkoušky. Skutečná pevnost plastů je mnohem menší než pevnost vypočítaná teoreticky na základě mezimolekulárních sil. Příčina spočívá v přítomnosti defektů ve struktuře, které představují místa s nižší pevností, než má okolní hmota. Při zatěžování vznikají v těchto místech taková napětí, která překračují hodnotu kohezní pevnosti, čímž dochází ke vzniku mikrotrhliny. Ta se šíří až dojde k lomu tělesa v makroměřítku. Deformace přestává být homogenní. Na zkušebním tělese se vytvoří místo s menším průřezem (krček). [16, 21]

4.2.2 Zkoušky tvrdosti

Tvrдост je jednou z charakteristických veličin polymerů. Polymerní materiály mají v porovnání s kovy vyšší houževnatost a pružnost. Nelze tudíž stanovit jednotnou metodu pro všechny materiály. Přístroje na měření tvrdosti jsou obvykle konstruovány na principu vtlačování zkušebního tělíska do materiálu. Pro měření polymerů je nejpoužívanější metoda měření tvrdosti Shore D. [16]

Tvrдост Shore D

Podstatou zkoušky je měření hloubky vtlačení specifikovaného hrotu do vzorku materiálu za stanovených podmínek.

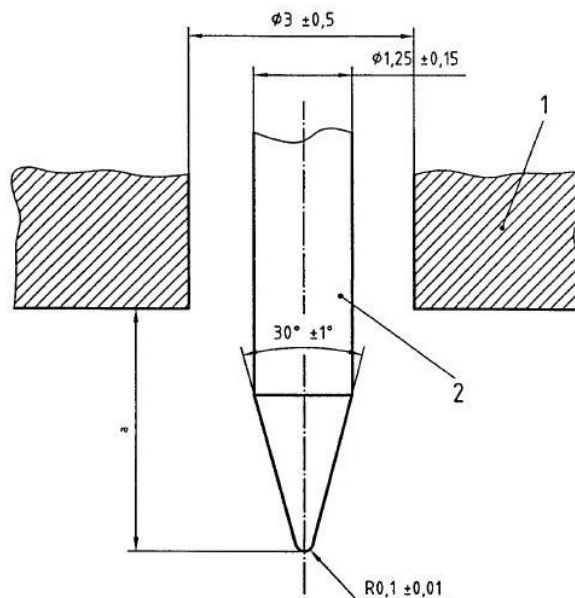
Hodnota tvrdosti je nepřímě úměrná hloubce vtlačení hrotu a je závislá na modulu pružnosti a na viskoelastických vlastnostech polymeru. Výsledky měření závisí na modulu pružnosti na tvaru hrotu, na velikosti síly zatěžování a na době její aplikace. Nelze tedy nalézt jednoduchý vztah mezi výsledky získanými na jiném typu přístroje pro měření tvrdosti.

Povrch zkušebního tělesa musí být rovný na dostatečně velké ploše, aby se opěrná patka tvrdoměru dotýkala zkušebního tělesa na ploše nejméně 6 mm od špičky zkušebního hrotu. Velikost je volena tak, aby jednotlivá měření byly od sebe vzdáleny nejméně 5 mm a od okraje 9 mm.

Zkušební zařízení se skládá z:

- Opěrné patky s otvorem o průměru $3 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$; vzdálenost středu otvoru od kraje patky v kterémkoliv směru je nejméně 6 mm.
- Zkušební hrotu vytvořeného na tyčince z kalené oceli o průměru $1,25 \text{ mm} \pm 0,15 \text{ mm}$; tvar a rozměry zkušební hrotu tvrdoměru typu D jsou na obrázku 23.

Úplné vysunutí, kóta a na obr. 23. je $2,5 \text{ mm} \pm 0,04 \text{ mm}$. [22]



Obr. 23. Zkušební hrot tvrdoměru typu D, 1- opěrná patka, 2- zkušební hrot, a- kóta maximálního vysunutí [22]

4.3 Dynamické zkoušky rázové

Rázové zkoušky jsou prováděny pro zjištění odolnosti polymeru proti působení napětí ve velmi krátkém časovém úseku, nejčastěji se jedná o namáhání v ohybu. Čím vyšší je rychlost ohybu, tím více se jeví zkoušený materiál jako křehký. Při rázovém namáhání dochází u různých materiálů ke křehkým nebo houževnatým lomům, kterému vždy přechází malá či velká plastická deformace. Houževnatý lomem je vždy spojen s tokem, který probíhá před deformací. V zatěžovaném materiálu dochází k molekulárnímu procesu skluzu a částečným rozbalením molekulárních klubek. Během těchto dějů se spotřebuje velké množství vynaložené rázové energie. Při křehkém lomu se značná část energie spotřebuje na roztržení hlavních a vedlejších vazeb, není tedy spojen s tokem. Při měření energie lomu jsou zjišťovány velké rozptyly ve výsledcích, protože křehký lom se iniciuje v místech mikroskopických trhlinek, které jsou velmi nerovnoměrně rozptýleny.

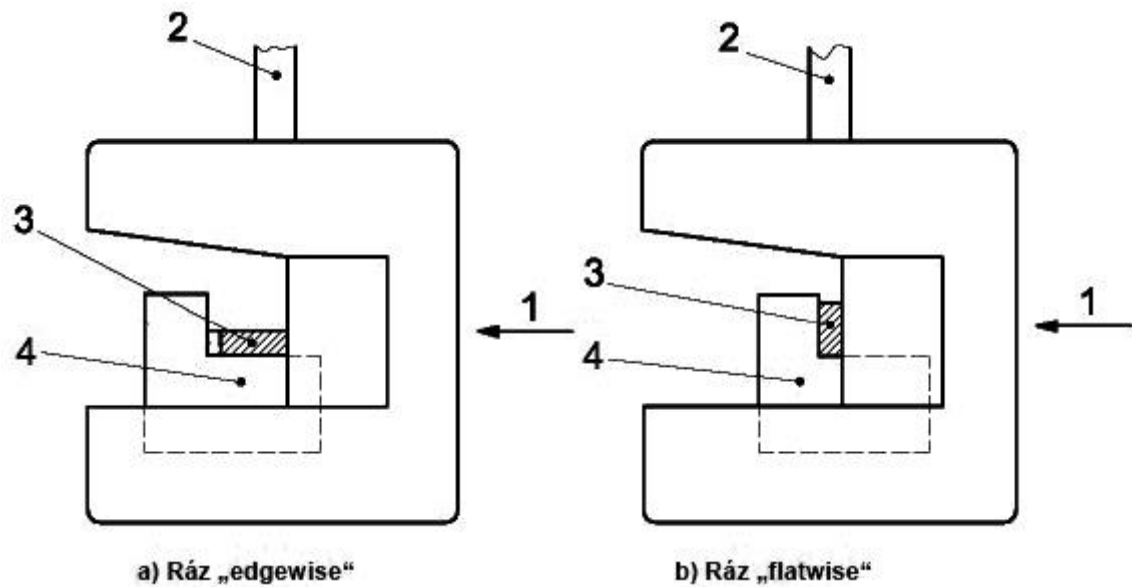
Rázové namáhání je namáhání, které působí rychlostí 1-10 m/s. Rázová houževnatost je závislá na druhu polymeru, zpracovatelských podmínkách a jeho charakteristických teplotách. Amorfny polymery mají teplotu skelného přechodu vyšší než normální, jsou tedy při této teplotě křehké, což má za následek poměrně snadné praskání při zkoušce. Semiskrytalické polymery, u nichž je teplota skelného přechodu nižší než 20°C, vykazují vysokou houževnatost. Tato houževnatost klesá se stoupajícím stupněm krystalinity.

Rázové zkoušky přinášejí některé informace o chování polymerů, jejichž výsledky však nelze přenášet na všeobecné tvary výrobků. Nejčastěji prováděnou zkouškou je rázová zkouška v ohybu, někdy se provádí také rázové zkoušky v tahu, tlaku a krutu. [16]

4.3.1 Zkouška rázové houževnatosti metodou Charpy

Zkušební těleso umístěné vodorovně na podpěrách je přeraženo úderem rázového kyvadla, přičemž směr rázu je veden středem vzdálenosti mezi podpěrami. Zkušební těleso je ohýbáno vysokou, nominálně konstantní rychlostí.

Ráz může působit buď na užší stranu - edgewise (Obr. 24. a), nebo na stranu širší - flatwise (Obr. 24. b). [23]



Obr. 24. Břit a boky podpěr Charpyho kladiva v okamžiku rázu, 1- směr rázu, 2- Tyč rázového kyvadla, 3- zkušební těleso, 4- Podpěra [23]

Výsledná rázová houževnatost Charpy zkušebních těles bez vrubu se vypočítá ze vzorce:

$$a_{cU} = \frac{E_c}{h \cdot b} \cdot 10^3 [kJ \cdot m^{-2}] \quad [6]$$

Kde

E_c [J] korigovaná energie spotřebovaná při přeražení zkušebního tělesa

h [mm] tloušťka zkušebního tělesa

b_N [mm] šířka zkušebního tělesa [23]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo porovnání mechanických vlastností vstříkovaných polymerních výrobků při použití různých materiálů vstříkovacích forem. Použité materiály vstříkovacích forem byly ocel, dural a měď. Výzkum byl proveden především z následujících důvodů:

- Zjištění možnosti použití duralu a mědi jako chladicích vložek v kombinaci s ocelí.
- Posouzení vhodnosti použití levných duralových forem namísto forem ocelových při výrobě v malých sériích.

Do jednotlivých forem z daných materiálů byly vstříkovány tři druhy polymerů a to akro-nitril-butadien-styren (ABS), polykarbonát (PC) a polypropylen plněný 20% skelných vláken (PP/SV). U všech použitých materiálu forem byly při vstříkování nastaveny stejné zpracovatelské podmínky, dle materiálových listů daných výrobcí jednotlivých polymerů.

Mechanické vlastnosti byly vyhodnoceny na základě zkoušky v tahu, zkoušky rázové houževnatosti metodou Charpy a ShoreD zkoušky tvrdosti.

6 TVAROVÉ DESKY VSTŘIKOVACÍ FORMY

6.1 Charakteristika materiálů použitých na výrobu vstřikovacích forem

6.1.1 Ocel ČSN 19 552

Dle EN 10027-2: 1.2343. Jedná se o ocel kalitelnou v oleji a na vzduchu, vhodnou pro nástroje chlazené vodou. Má velmi dobrou prokalitelnost, houževnatost a otěruvzdornost. Je dobře obrobitelná. Vyniká velmi malými rozměrovými změnami po kalení.

Používá se pro výrobu vyhazovačů a tvarových desek vstřikovacích forem tam, kde se vyžaduje vysoká houževnatost. Další použití oceli je na lisovací trny a matrice, nástroje na protlačování, nástroje na výrobu šroubů a matic za tepla, nástroje pro tlakové lití, vložky zápusťek a nože pro stříhání za tepla. [24]

Tab. 8. Chemické složení oceli ČSN 19 552 [24]

Legující prvek	C	Si	Mn	Cr	V
Obsah [%]	0,33-0,41	0,80-1,20	0,25-0,50	4,80-5,50	0,30-0,50

Tab. 9. Fyzikální vlastnosti oceli ČSN 19 552 [24]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Hustota	ρ [kg.m ⁻³]	7800
Elektrická rezistivita	ρ [$\mu\Omega$.m]	0,52
Měrná tepelná kapacita při teplotě 20°C	C_p [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	460
Tepelná vodivost při teplotě 20°C	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	25
Součinitel teplotní vodivosti při teplotě 20°C	a [m ² .s ⁻¹]	$6,97 \cdot 10^{-6}$
Modul pružnosti při 20°C	E [MPa]	215000
Mez pevnosti po zušlechťení	σ_m [MPa]	1200

6.1.2 Dural EN 7075 (AlZnMgCu1.5)

Slitiny na bázi hliníku, zinku a hořčíku jsou tepelně vytvrditelné. Dosažitelná pevnost je velmi dobrá v porovnání s ostatními hliníkovými slitinami. Mezi nevýhody patří snížená odolnost proti atmosférické korozi a vysoká náchylnost k vrubům. Vruby jako ostré přechody mezi silnými a slabými stěnami a rýhy mohou při měnící se zátěži velmi rychle vést k prasklinám. Dá se dobře eloxovat, je však nevhodná ke svařování. Slitina EN 7075 se používá především tam, kde je důležitá kombinace vysoké tvrdosti a nízké hmotnosti.

Kromě výroby strojů a nářadí také například na nárazníky v automobilovém průmyslu. V porovnání s ocelí má výrazně nižší cenu a náklady na následné obrábění. [25]

Tab. 10. Chemické složení Duralu EN 7075 [25]

Legující prvek	Zn	Mg	Cu	Cr	Mn
Obsah [%]	5,5	2,5	1,6	0,25	0,15

Tab. 11. Fyzikální vlastnosti duralu EN 7075 [25]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Hustota	ρ [kg.m ⁻³]	2850
Elektrická rezistivita	ρ [$\mu\Omega$.m]	0,02
Měrná tepelná kapacita při teplotě 20°C	C_p [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	960
Tepelná vodivost při teplotě 20°C	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	135
Součinitel teplotní vodivosti při teplotě 20°C	a [m ² .s ⁻¹]	$4,93 \cdot 10^{-5}$
Modul pružnosti při 20°C	E [MPa]	70000-76000
Mez pevnosti	σ_m [MPa]	480-530

6.1.3 Měď ČSN423001

Jedná se téměř o čistou měď, s čistotou minimálně 99,9%. Má výbornou elektrickou vodivost, je to tzv. elektrovodná měď, používá se tedy především v elektrotechnice. Vyniká však také vysokou teplotní vodivostí, dobrou tvářitelností a korozivzdorností. Je vhodná pro svařování. Je však dražší než oceli používané na výrobu vstřikovacích forem. [26]

Tab. 12. Fyzikální vlastnosti mědi ČSN 42 3001 [27]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Hustota	ρ [kg.m ⁻³]	8890
Elektrická rezistivita	ρ [$\mu\Omega$.m]	0,017-0,0178
Měrná tepelná kapacita při teplotě 20°C	C_p [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	380
Tepelná vodivost při teplotě 20°C	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	388
Součinitel teplotní vodivosti při teplotě 20°C	a [m ² .s ⁻¹]	$1,15 \cdot 10^{-4}$
Modul pružnosti při 20°C	E [MPa]	115000
Mez pevnosti po vytvrzení	σ_m [MPa]	395

6.2 Výroba tvarových desek pro vstříkovací formu

Pro výrobu zkušebních těles byly potřeba tvarové desky s dutinou ve tvarech a rozměrech normalizovaných zkušebních těles pro tahovou zkoušku a zkoušku rázové houževnatosti (kapitola 4.1.1, 4.1.2.).



Obr. 25. Měděný a duralový polotovary pro výrobu tvarových desek

Ocelové tvarové desky byly dostupné na Ústavu výrobního inženýrství. Polotovary pro výrobu duralových a měděných desek (Obr. 25.) byly vyrobeny firmou Feropol s.r.o. Obrobení na požadované rozměry a jakost bylo provedeno ve společnosti Octopus s.r.o.



Obr. 26. Tvarové desky z materiálu Dural



Obr. 27. Tvarové desky z materiálu Měď

7 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

7.1 Charakteristika vstřikovaných polymerů

7.1.1 Akronitril-butadien styren (ABS)

Patří do skupiny polystyrenových plastů, které se vyznačují amorfní nadmolekulární strukturou. Je tvrdý, pevný a houževnatý. Odolává vysokému rozmezí teplot (-30- 80°C). Má horší odolnost proti vnějším vlivům – je nasákavý. Nejčastěji je zpracováván vstřikováním. Ve stavu taveniny má zvýšenou tuhost a nižší zatékavost. Používá se na výrobu výstřiků pro domácí spotřebiče, spotřební a elektrotechnický průmysl. [2]

Pro vstřikování byl použit polymer StarexHighGloss ABS HG-0760, od společnosti SAMSUNG CHEIL INDUSTRIES.

Tab. 13. Vlastnosti ABS HG-0760 použitého při vstřikování [28]

Vlastnost, podmínky měření	Měřeno dle normy	Jednotka	Hodnota
Hustota (23°C)	ASTM D792	g.cm ⁻³	1,04
Index toku taveniny (200°C/5kg)	ASTM D1238	g.cm ⁻³ .10min ⁻¹	2,6
Mez pevnosti v tahu (5mm.min ⁻¹)	ASTM D368	MPa	45
Mez pevnosti v ohybu (2,8mm.min ⁻¹)	ASTM D790	MPa	660
Ohybový modul (2,8mm.min ⁻¹)	ASTM D790	MPa	23 000
HDT – teplota deformace (1,8MPa)	ASTM D648	°C	86

7.1.2 Polykarbonát (PC)

Je amorfní plast s vynikající rázovou a vrubovou houževnatostí, pevností a tuhostí. Má amorfní nadmolekulární strukturu. Používá se především na výrobu ochranných krytů a nosných těles.

Odolává teplotám až do 135°C. Křehne při teplotě – 140°C. Má minimální nasákavost a velmi dobré dielektrické vlastnosti. Neodolává chemickým zásadám a některým technickým rozpouštědlům. Při dlouhodobém pobytu ve vodě o teplotě vyšší než 60°C degraduje.

Tavenina má vyšší viskozitu, což způsobuje obtížnější vstřikování. Má sklon ke vzniku vnitřního pnutí. Je vhodný pro přesné výstřiky. [2]

Pro vstřikování byl použit Anjacom PC R100X, od společnosti Almaakinternational.

Tab. 14. Vlastnosti PC R100X použitého při vstřikování [29]

Vlastnost, podmínky měření	Měřeno dle normy	Jednotka	Hodnota
Hustota (23°C)	ISO 1183	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,2
Index toku taveniny (300°C/1,2kg)	ISO 1133	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot 10\text{min}^{-1}$	12
Mez pevnosti v tahu (50 mm.min ⁻¹)	ISO 527-1/2	MPa	63
Modul pružnosti v tahu (1 mm.min ⁻¹)	ISO 527-1/2	MPa	2200
HDT – teplota deformace (1,8MPa)	ISO 75	°C	127

7.1.3 Polypropylen (PP)

Polypropylen patří do skupiny polyolefinů. Má semikrystalickou nadmolekulární strukturu. Vyniká výbornými dielektrickými vlastnostmi. Má nízkou houževnatost za nižších teplot. Při venkovní exploitaci musí být stabilizován. Při zpracování vykazuje malou závislost na kolísání zpracovatelských podmínek.

Polypropylen vyztužený skelnými vlákny (PP/SV)

Odolává teplotám až do 160°C. Má vyšší houževnatost a modul pružnosti než neplněný polypropylen. Vyznačuje se nízkou hodnotou smrštění po vstřikování a vysokou hodnotou křipové odolnosti i při vysokých teplotách. Má vysokou rozměrovou stabilitu a nízkou hodnotu smrštění po vstřikování. [2, 30]

Při vstřikování byl použit SYNTEGUM 1020 AFV/HMFL, homopolymer polypropylenu vyztužený 20% chemicky vazbenými skleněnými vlákny.

Tab. 15. Vlastnosti PP SYNTEGUM 1020 AFV/HMFL [30]

Vlastnost, podmínky měření	Měřeno dle normy	Jednotka	Hodnota
Hustota (23 °C)	ISO 1183	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,04
Index toku taveniny (230 °C/2,16 kg)	ISO 1133	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot 10\text{min}^{-1}$	10-15
Mez pevnosti v tahu (50 mm.min ⁻¹)	ISO 527	MPa	65
Mez pevnosti v ohybu	ISO 178	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	100
HDT – teplota deformace (1,81 MPa)	ISO 75	°C	127

7.1.4 Sušení polymerů

Pro odstranění vlhkosti z polymerních materiálů bylo použito sušárny Arburg Thermolift 100-2 (Obr. 28.). Maximální objem sušeného materiálu je 0,1 m³. Polymery je možno sušit při teplotě až 160°C.



Obr. 28. Sušárna Thermolift 100-2

Sušení probíhalo za podmínek doporučených výrobcem sušárny (Tab. 16.).

Tab. 16. Podmínky sušení jednotlivých polymerů.

Polymer	Teplota sušení	Doba sušení
Akronitril-butadién styren	80 °C	2,5 h
Polykarbonát	120 °C	2,5 h
Polypropylen vyztužený skelnými vlákny	80 °C	1,5 h

7.2 Výroba těles vstřikováním

7.2.1 Použitý vstřikovací stroj

Zkušební tělesa byla vyrobena na vstřikovacím stroji Arburg Allrounder 470 H 1000-400 HIDRIVE dostupném na UVI. V ocelové, duralové a měděné formě bylo vystříknuto 40 zkušebních těles z vybraných polymerů.



Obr. 29. Vstřikovací stroj Arburg 470 H [32]

Tab. 17. Vybrané parametry stroje Arburg 470 H [33]

Uzavírací jednotka		
uzavírací síla	max. kN	1000
otevření	max. mm	500
vzdálenost mezi vodícími sloupy	mm	470x470
vyhazovací síla	max. kN	40
zdvih vyhazovače	max. mm	175
Vstřikovací jednotka		
průměr šneku	mm	40
poměr šneku	l/d	20
zdvih šneku	max. mm	145
objem dávky	max. cm ³	182
vstřikovací tlak	max. bar	2120
objemová vstřikovací rychlost	max. cm ³ .s ⁻¹	168
kroutící moment šneku	max. Nm	700
přítlačná síla trysky	max. kN	70

7.2.2 Zpracovatelské podmínky vstřikování

Při vstřikování do tvarových desek z oceli, duralu a mědi byly dodrženy stejné zpracovatelské podmínky procesu vstřikování. Procesní parametry byly voleny na základě materiálových listů dodanými výrobcí jednotlivých polymerních materiálů. (Tab. 18.). Vstřikovací formy nebyly temperovány, a to z důvodu zjištění vlivu materiálu formy bez ovlivnění fáze chlazení a taktéž posouzení možnosti použití duralu a mědi jako chladících vložek namísto temperačního média.

Tab. 18. Zpracovatelské podmínky při vstřikování [28, 29, 30]

Parametr	ABS	PC	PP/SV
Vstřikovací rychlost [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]	60	60	60
Vstřikovací tlak [MPa]	88	88	100
Doba vstřikování [s]	0,33	2,26	0,3
Doba chlazení [s]	50	50	50
Dráha dávkování [mm]	28	33	28
Dráha přepnutí [mm]	16	16	16
Uzavírací síla [kN]	950	950	950
Doba dotlaku [s]	10	10	16
Velikost dotlaku [MPa]	70	70	80
Doba cyklu [s]	66,19	68,14	72,18
Teplota pod násypkou [$^{\circ}\text{C}$]	50	60	40
Teplota zóny 2 [$^{\circ}\text{C}$]	190	250	205
Teplota zóny 3 [$^{\circ}\text{C}$]	200	260	220
Teplota zóny 4 [$^{\circ}\text{C}$]	205	270	230
Teplota zóny 5 [$^{\circ}\text{C}$]	210	280	240
Teplota zóny 6 [$^{\circ}\text{C}$]	220	290	245
Teplota trysky [$^{\circ}\text{C}$]	230	300	250

8 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Výsledné průměrné hodnoty byly vypočteny dle vzorce pro odhad aritmetického průměru (7)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

\bar{x} odhad aritmetický průměr

x_i i-tá hodnota měřené veličiny

n počet výběrových hodnot (počet měření)

Pro výpočet střední kvadratické chyby aritmetického průměru byl použit vzorec (8)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (8)$$

Pro výpočet standartní nejistoty typu A byl použit vzorec (9)

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

9 TAHOVÁ ZKOUŠKA

9.1 Zkušební zařízení pro tahovou zkoušku

Tahová zkouška byla provedena na univerzálním testovacím stroji ZWICK ROELL 1456. Tento stroj je určen pro statické a dynamické (nizkocyklové) zkoušky v tahu, tlaku, ohybu, smyku a creepu. Používá se pro testování polymerů (plastů, pryží) a kompozitních materiálů na polymerní bázi. [31]



Obr. 30. Zkušební stroj ZWICK 1456 [31]

Tab. 19. Parametry testovacího stroje ZWICK ROELL 1456 [31]

Maximální posuv příčniku	800 mm/min
Snímače síly	2,5 a 25kN
Teplotní komora	-70°C / 290°C

9.2 Postup měření zkoušky tahem

Na počítači, který je součástí zkušebního stroje, byly nastaveny parametry zkoušky dle normy ČSN 527-1, rychlost zatěžování byla volena $50\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Před každým měřením byla zadána šířka a tloušťka zkušebního tělesa, která byla změřena posuvnou měrkou. Zkušební těleso bylo upnuto tak, aby hlavní osa zkušebního tělesa byla shodná se směrem protahování a procházela osou sestavy čelistí. Po upnutí tělesa byla vynulována zatěžující síla.

Po zahájení zkoušky přijel k tělesu extenzometr, který sloužil k přesnému určení modulu pružnosti. Zkouška trvala do porušení tělesa. Poté byl vytažen porušený vzorek a proveden návrat čelistí do původní polohy.

9.3 Výsledky měření

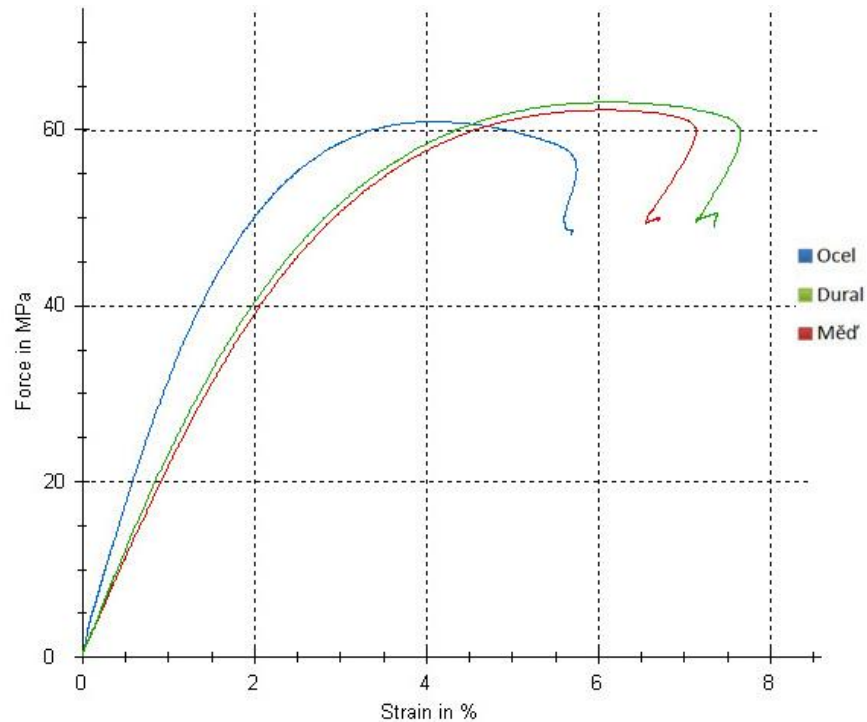
Každá měřená série obsahovala 30 zkušebních těles. Vyhodnocovány byly tyto parametry:

E_t [MPa]	Youngův modul pružnosti
σ_m [MPa]	Napětí na mezi pevnosti
ε_m [%]	Poměrné prodloužení na mezi pevnosti

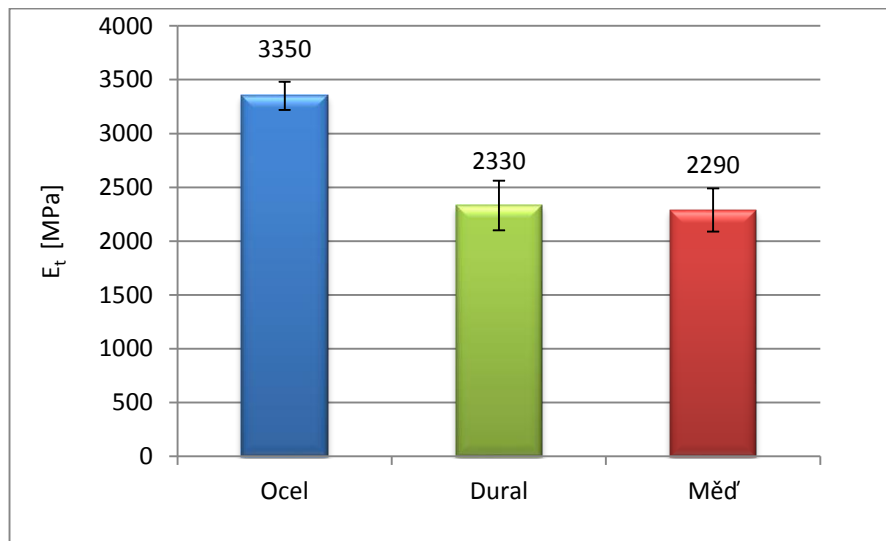
9.3.1 Naměřené hodnoty tahové zkoušky materiálu ABS

Tab. 20. Výsledky měření tahové zkoušky polymeru ABS

Materiál formy	Ocel	Dural	Měď
E_t [MPa]	3350 ± 130	2330 ± 230	2290 ± 200
u_A	23,5	42,8	37
σ_m [MPa]	$48 \pm 0,3$	$47,6 \pm 0,6$	$49,1 \pm 0,4$
u_A	0,056	0,102	0,076
ε_m [%]	$1,8 \pm 0,04$	$2,6 \pm 0,06$	$2,6 \pm 0,05$
u_A	0,007	0,011	0,008

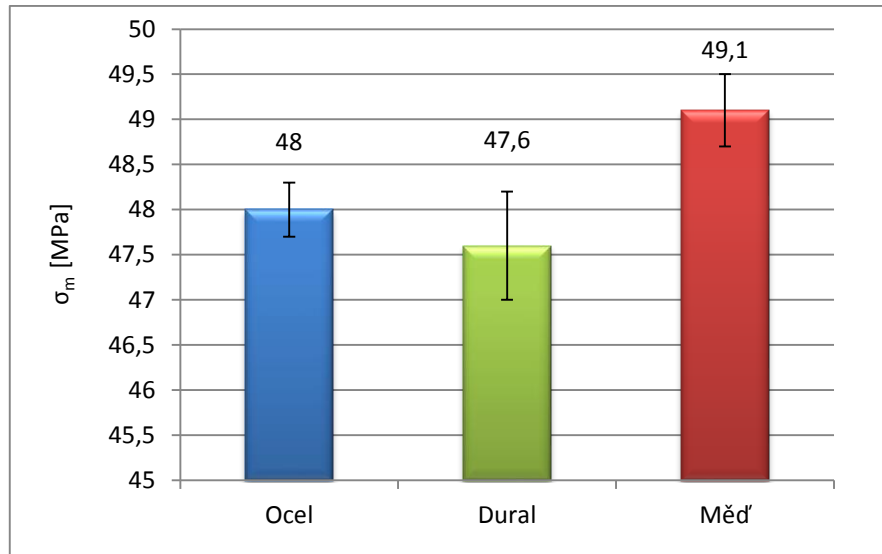


Obr. 31. Tahové křivky ABS při různých materiálech forem



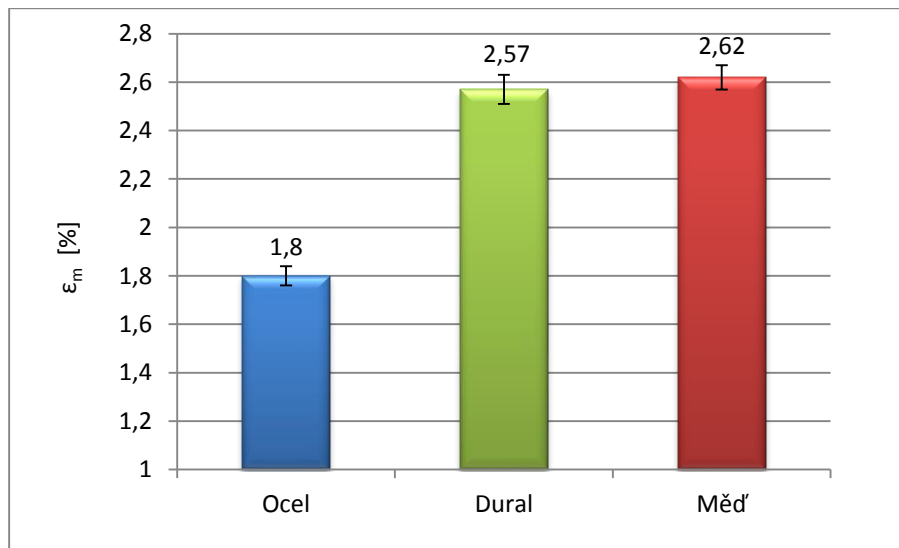
Obr. 32. Porovnání E_t pro ABS při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnota Youngova modulu polymeru akronitril-butadien styrenu byla zjištěna u materiálu vstřikovaného do ocelové formy (3350 MPa). Nejmenší pak u materiálu vstřikovaného do formy měděné (2290 MPa), avšak s malou odchylkou od materiálu vstřikovaného do formy duralové. Z obr. 32. vyšlo najevo, že polymerní výrobky z ABS vstřikované do ocelové formy budou mít vyšší tuhost. Naopak výrobky vstřikované do duralové a měděné formy se budou vyznačovat vyšší pružností, tudíž budou při stejném mechanickém zatížení více deformovány.



Obr. 33. Porovnání σ_m pro ABS při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnotu napětí na mezi pevnosti akrylnitril-butadien-styren vykazoval při vstřikování do měděné formy (49,1 MPa). Nejnižší hodnota napětí na mezi pevnosti byla zjištěna u ABS vstřikovaného do duralové formy (47,6 MPa) s malou odchylkou od ABS vstřikovaného do ocelové formy. Dle Obr. 33. je zřejmé, že materiál vstřikovací formy nemá výrazný vliv na výslednou pevnost polymerního výrobku.



Obr. 34. Porovnání ϵ_m pro ABS při různých materiálech forem

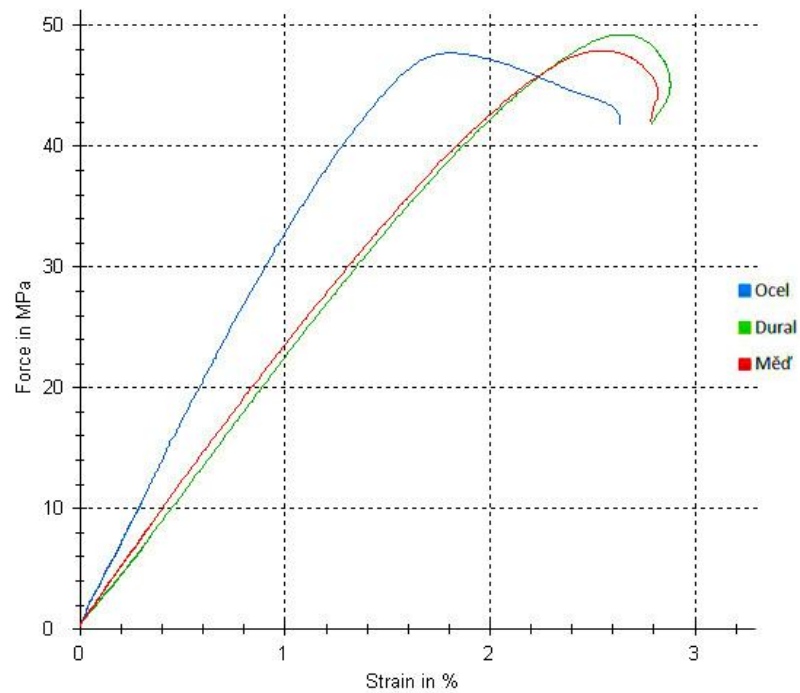
Nejvyšší hodnota poměrného prodloužení na mezi pevnosti byla zjištěna u ABS vstřikovaného do měděné formy (2,62 %), avšak s malou odchylkou od materiálu vstřikovaného do duralové formy (2,57 %). Nejnižší poměrné prodloužení bylo zjištěno u materiálu vstřikovaného do ocelové formy (1,8 %). Z obr. 34. je možno vidět, že při napětí

na mezi pevnosti se budou více deformovat polymerní výrobky vstříkované do duralové a měděné formy, než do formy ocelové.

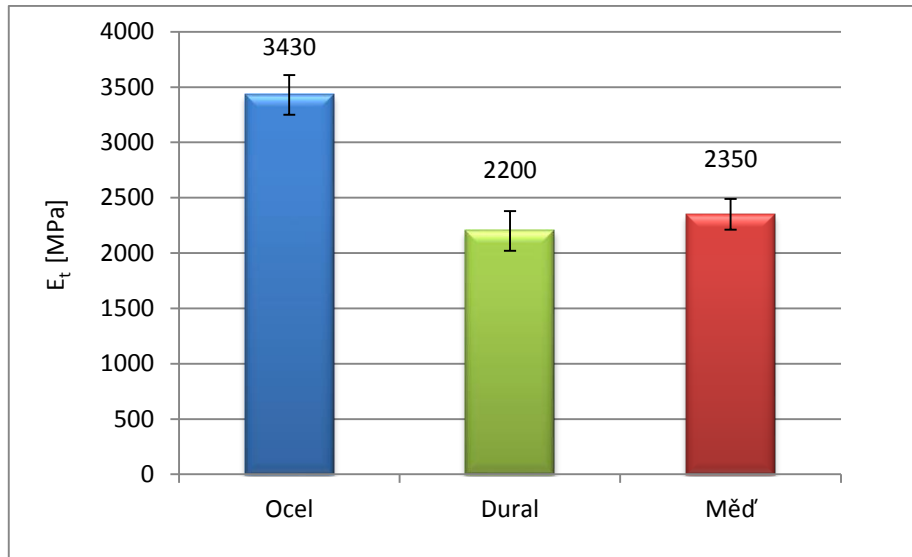
9.3.2 Naměřené hodnoty tahové zkoušky materiálu PC

Tab. 21. Výsledky měření tahové zkoušky polymeru PC

Materiál formy	Ocel	Dural	Měď
E_t [MPa]	3430 ± 180	2200 ± 180	2350 ± 140
\bar{u}_A	33,6	32,5	25,5
σ_m [MPa]	$61,6 \pm 0,5$	$61,3 \pm 0,2$	$63,1 \pm 0,3$
\bar{u}_A	0,099	0,033	0,047
ε_m [%]	$4,1 \pm 0,1$	$6 \pm 0,1$	$6,1 \pm 0,1$
\bar{u}_A	0,011	0,014	0,015

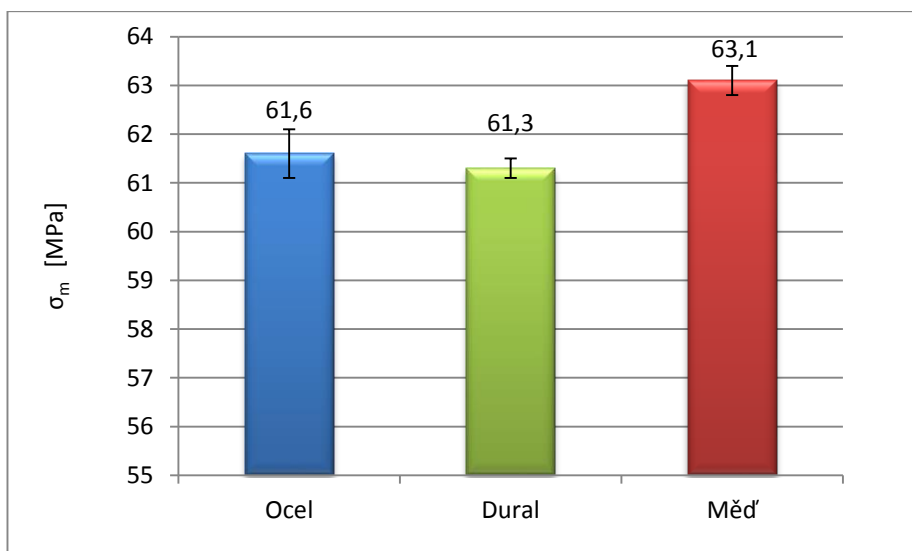


Obr. 35. Tahové křivky PC při různých materiálech forem



Obr. 36. Porovnání E_t pro PC při různých materiálech forem

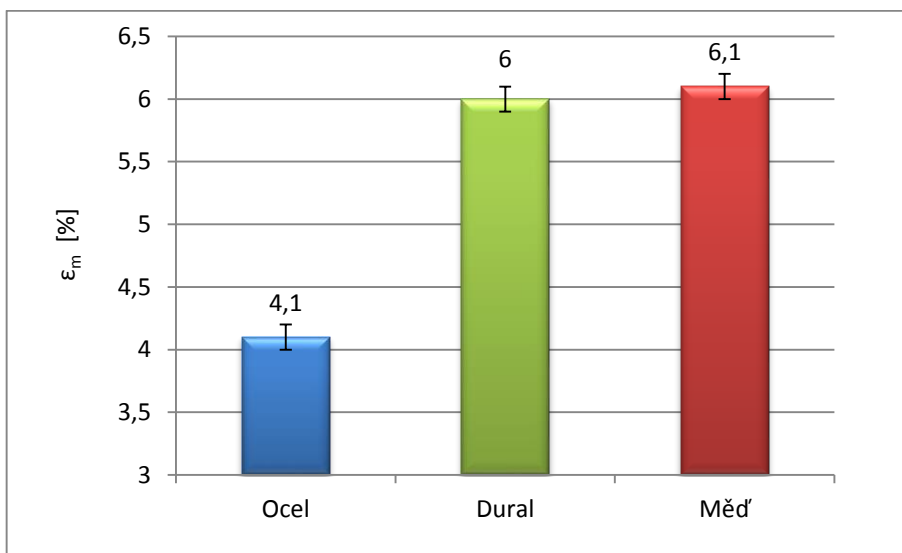
Nejvyšší hodnotu Youngova modulu vykazoval polykarbonát vstříkovaný do ocelové formy (3430 MPa). Nižší hodnoty Youngova modulu byly zjištěny u PC vstříkovaného do měděné formy (2350 MPa) a duralové formy (2200 MPa). Stejně jakou u ABS budou mít polymerní výrobky z PC vstříkované do ocelové formy vyšší tuhost. Naopak výrobky vstříkované do duralové a měděné formy se budou vyznačovat vyšší pružností, z čehož plyne jejich vyšší deformace při stejném mechanickém zatížení. (Obr. 36.)



Obr. 37. Porovnání σ_m pro PC při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnota napětí na mezi pevnosti byla naměřena u polykarbonátu vstříkovaného do měděné formy (63,1 MPa), nejnižší pak u materiálu vstříkovaného do duralové formy

(61,3 MPa) s malou odchylkou od materiálu vstřikovaného do formy ocelové. Z Obr. 37. nelze pozorovat výraznou změnu pevnosti polymerních výrobku v závislosti na použitém materiálu vstřikovací formy.



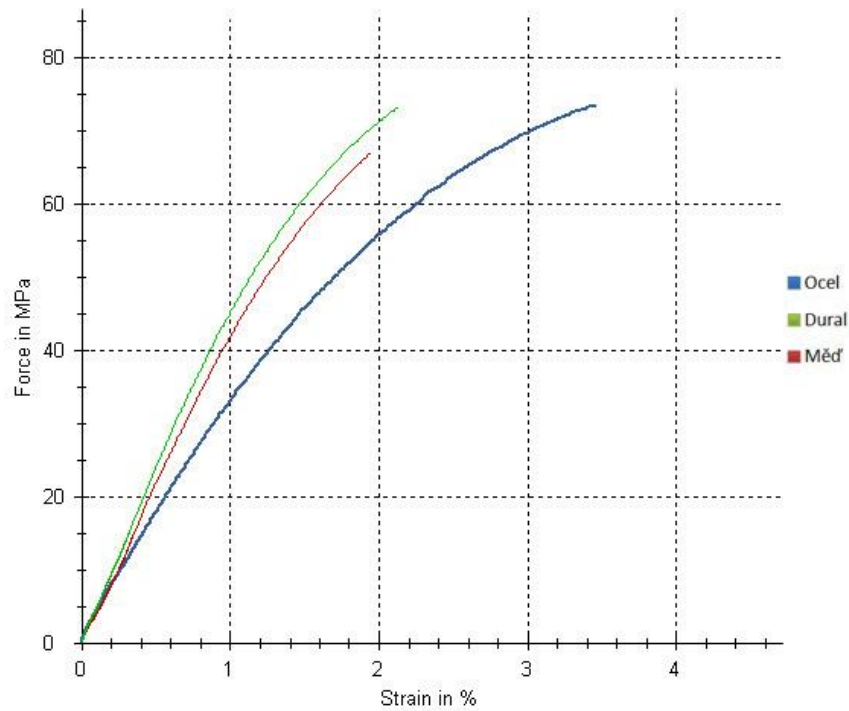
Obr. 38. Porovnání ϵ_m pro PC při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnotu poměrného prodloužení na mezi pevnosti vykazoval polykarbonát vstřikovaný do měděné formy (6,1 %), avšak s téměř srovnatelnou hodnotou materiálu vstřikovaného do duralové formy (6%). Nízká hodnota ϵ_m pak byla zjištěna u polykarbonátu vstřikovaného do ocelové formy (4,1%). Dle Obr. 38. je možno konstatovat, že větších deformací při stejném zatížení bude dosaženo u výrobků vstřikovaných do duralové a měděné formy, než u výrobků vstřikovaných do formy ocelové.

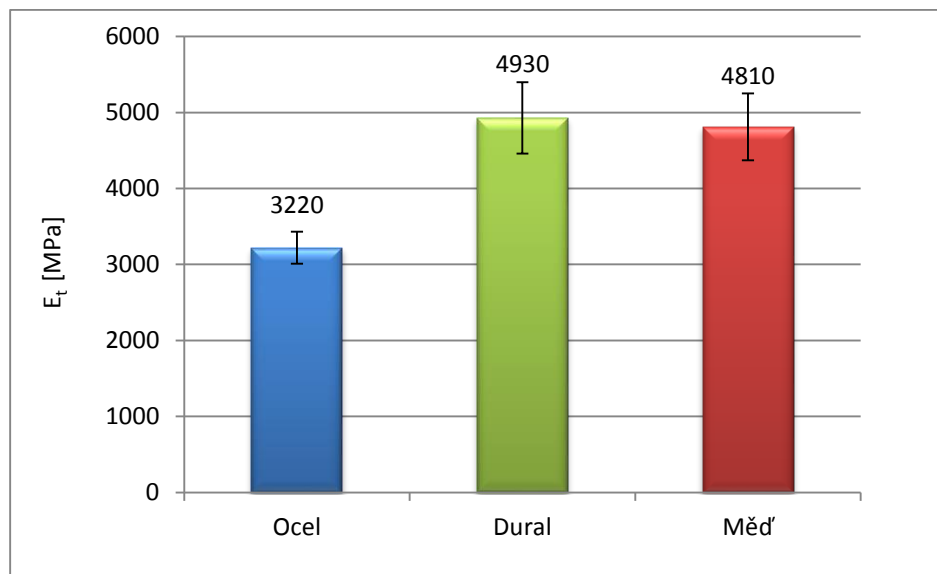
9.3.3 Naměřené hodnoty tahové zkoušky materiálu PP/SV

Tab. 22. Výsledky měření tahové zkoušky materiálu PP/SV

Materiál formy	Ocel	Dural	Měď
E_t [MPa]	3220 ± 210	4930 ± 470	4810 ± 440
u_A	37,9	86,5	81
σ_m [MPa]	$75,7 \pm 0,6$	$68,6 \pm 2,4$	$74,6 \pm 2,9$
u_A	0,106	0,444	0,537
ϵ_m [%]	$4,2 \pm 0,1$	$2 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,3$
u_A	0,014	0,038	0,049



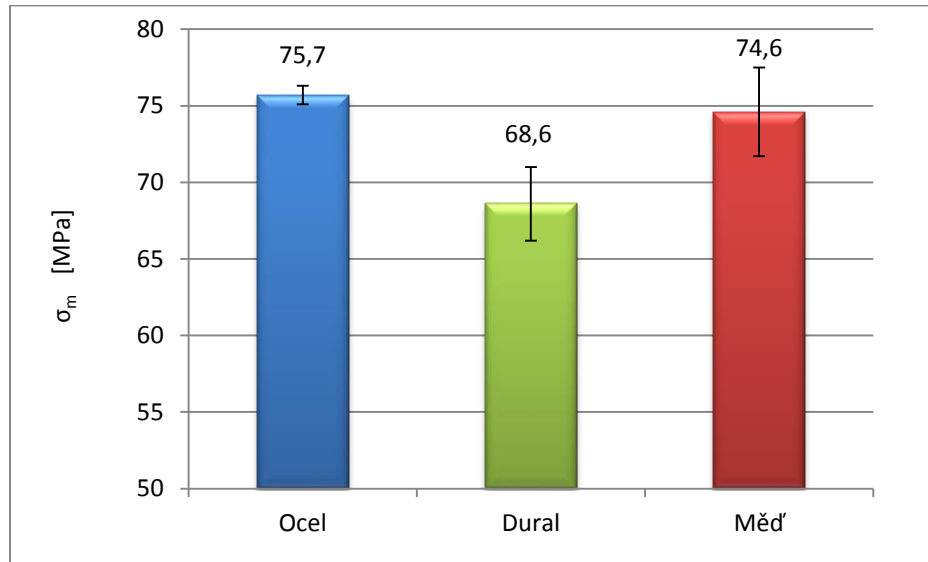
Obr. 39. Tahové křivky PP/SV při různých materiálech forem



Obr. 40. Porovnání E_t pro PP/SV při různých materiálech forem

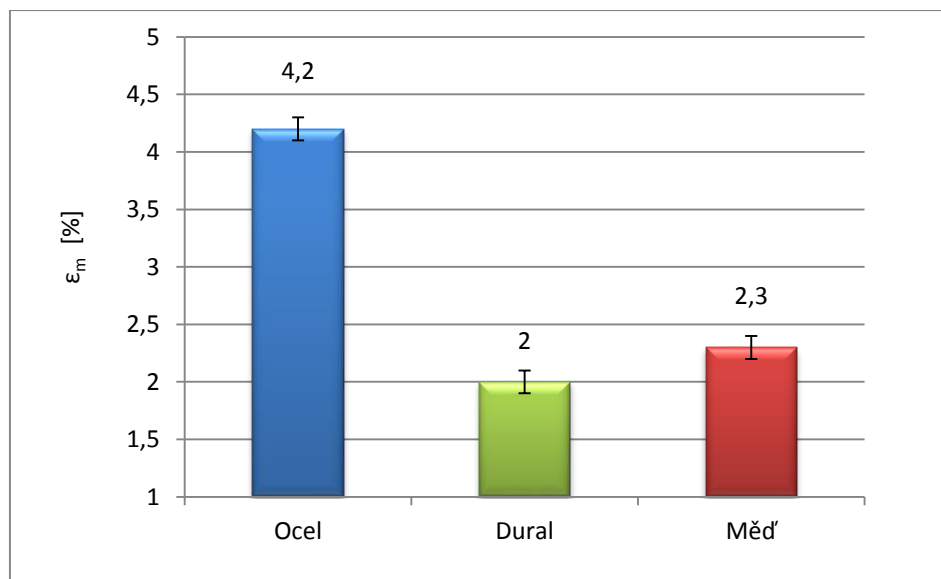
Nejvyšší hodnotu Youngova modulu vykazoval polypropylen plněný skelnými vlákny vstřikovaný do duralové formy (4930 MPa) s malou odchylkou od materiálu vstřikovaného do měděné formy (4810 MPa). U polymeru vstřikovaného do ocelové formy byla zjištěna nejnižší hodnota Youngova modulu (3220 MPa). Z Obr. 40. lze pozorovat, že polymerní

výrobky vstříkované do ocelové formy se budou vyznačovat vyšší pružností, naopak výrobky vstříkované do duralové a měděné formy budou mít vyšší tuhost.



Obr. 41. Porovnání σ_m pro PP/SV při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnota meze pevnosti byla zjištěna u PP/SV vstříkovaného do ocelové formy (75,7 MPa), nejnižší pak u PP/SV vstříkovaného do duralové formy (68,6 MPa). Z Obr. 41. nelze určit výrazný vliv pevnosti polymerních výrobku v závislosti na použitém materiálu vstříkovací formy.



Obr. 42. Porovnání ϵ_m pro PP/SV při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnotu poměrného prodloužení vykazoval PP/SV vstříkovaný do ocelové formy (4,2 %). Nejnižší hodnota poměrného prodloužení byla zjištěna u PP/SV vstříkovaného do duralové formy (2 %) s malou odchylkou od polymeru vstříkovaného do měděné formy. Z Obr. 42. lze odečítat vyšší deformace při napětí na mezi pevnosti u výrobků vstříkovaných do formy ocelové, než u výrobků vstříkovaných do formy duralové a měděné.

10 ZKOUŠKA RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI

10.1 Zkušební zařízení pro měření rázové houževnatosti



Obr. 43. Zkušební zařízení pro měření rázové houževnatosti

Resil Impactor Junior slouží k rázovým zkouškám metodou Izod a Charpy, lze na něm také provádět rázové zkoušky pod napětím. Zařízení funguje na principu kyvadla, a je navrženo pro testy v rozmezí 1-25 J. Díky širokému rozsahu vyměnitelných kladiv a ostatního příslušenství lze na zařízení provádět instrumentované i neinstrumentované zkoušky dle několika norem včetně ČSN 179-1 a ČSN 179-2. Pro nastavení parametrů zkoušky a záznam naměřených hodnot je zařízení vybaveno počítačem se softwarem CEAST DAS8WIN.

10.2 Postup měření rázové houževnatosti

Rázové kyvadlo bylo zvednuto do předepsané výšky a zajištěno. Zkušební těleso bylo umístěno na podpěry stroje tak, aby břit rázové kyvadla dopadl do středu zkušebního tělesa. Těleso bylo umístěno tak, aby ráz břitu působil na užší stranu zkušebního tělesa (Obr. 26. a.). Následně byl odstartován záznam hodnot a rázové kyvadlo uvolněno. Při rázu došlo k zaznamenání průběhu síly a energie potřebné k přeražení zkušebního tělesa. Zkouška probíhala dle normy ČSN 179-1/1eU.

10.3 Výsledky měření

Každá měřená série obsahovala 30 zkušebních těles. Vyhodnocovány byly tyto parametry:

F_m [N] Maximální rázová síla

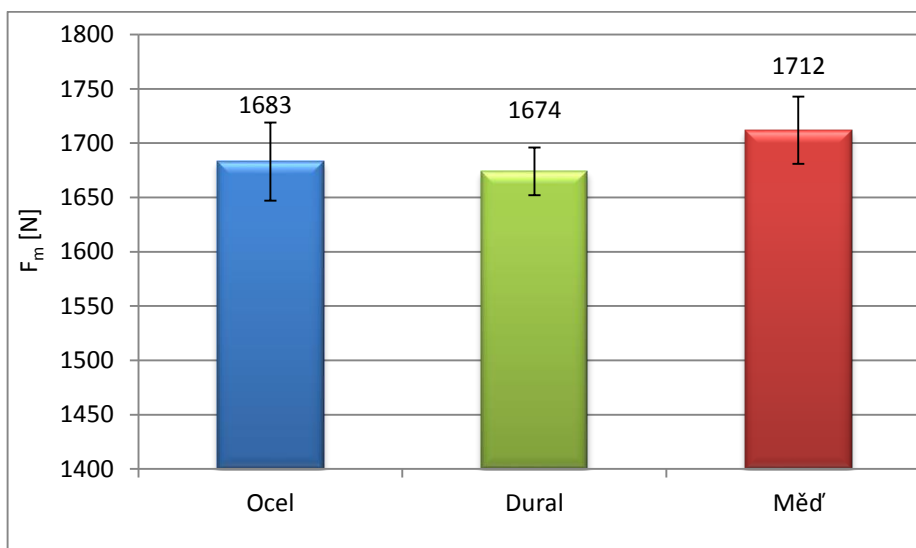
A_{CU} [kJ.m⁻²] Rázová houževnatost

Rázová houževnatost byla na základě naměřené rázové energie a rozměru zkušebního tělesa vypočítána dle vzorce 6.

10.3.1 Naměřené hodnoty zkoušky rázové houževnatosti materiálu ABS

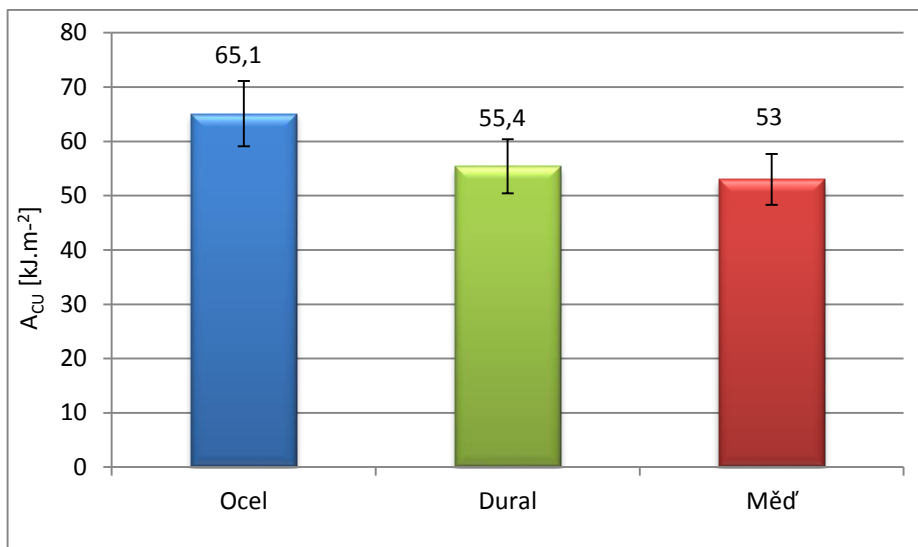
Tab. 23. Výsledky zkoušky rázové houževnatosti materiálu ABS

Materiál formy	Ocel	Dural	Měď
F_m [N]	1683 ± 36	1674 ± 22	1712 ± 31
\bar{u}_A	6,5	4,13	5,7
A_{CU} [kJ.m ⁻²]	65,1 ± 6	55,4 ± 5	53 ± 4,7
\bar{u}_A	1,104	0,915	0,849



Obr. 44. Porovnání F_m pro ABS při různých materiálech forem

Nejnižší hodnota maximální rázové síly byla zjištěna u materiálu vstřikovaného do duralové formy (1674 N). Nejvyšší pak u materiálu vstřikovaného do měděné formy (1712 N). Z Obr. 44. lze konstatovat, že materiál formy nemá výrazný vliv na výslednou maximální rázovou sílu potřebnou k přeražení polymerního výrobku.



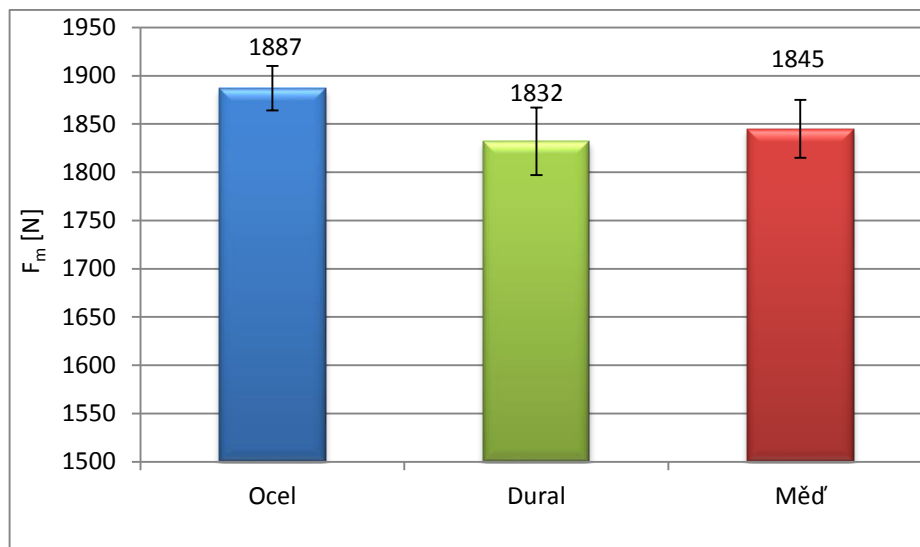
Obr. 45. Porovnaní A_{cu} pro ABS při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnota rázové houževnatosti byla naměřena u ABS do ocelové formy (65,1 kJ.m⁻²). Nejnižší hodnotu rázové houževnatosti vykazoval ABS vstříkovaný do měděné formy (53 kJ.m⁻²), s malou odchylkou od materiálu vstříkovaného do duralové formy. Z Obr. 45. je možno pozorovat, že při použití měděné a ocelové formy se mírně snížily mechanické vlastnosti výrobků při dynamickém zatížení.

10.3.2 Naměřené hodnoty zkoušky rázové houževnatosti materiálu PC

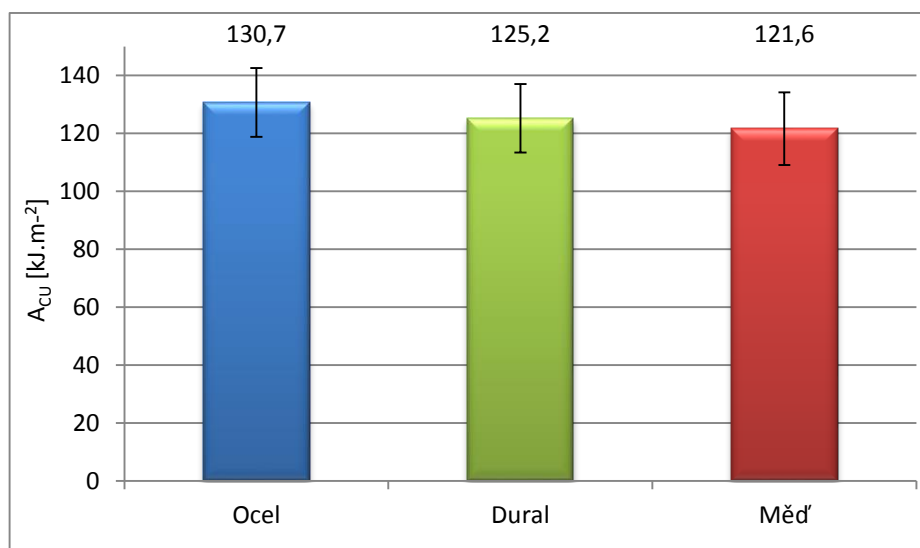
Tab. 24. Výsledky zkoušky rázové houževnatosti materiálu PC

Materiál formy	Ocel	Dural	Měď
F_m [N]	1887 ± 23	1832 ± 35	1845 ± 30
\bar{u}_A	4,21	6,39	5,51
A_{CU} [kJ.m ⁻²]	130,7 ± 11,9	125,2 ± 11,8	121,6
\bar{u}_A	2,18	2,16	2,29



Obr. 46. Porovnání F_m pro PC při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnota maximální rázové síly byla naměřena u polykarbonátu vstříkovaného do ocelové formy (1887 N). Nejnižší hodnotu maximální rázové síly vykazoval polykarbonát vstříkovaný do duralové formy (1832 N). Z Obr. 46. vyplývá, že materiál formy nemá výrazný vliv na výslednou maximální rázovou sílu potřebnou k přeražení polymerního výrobku.



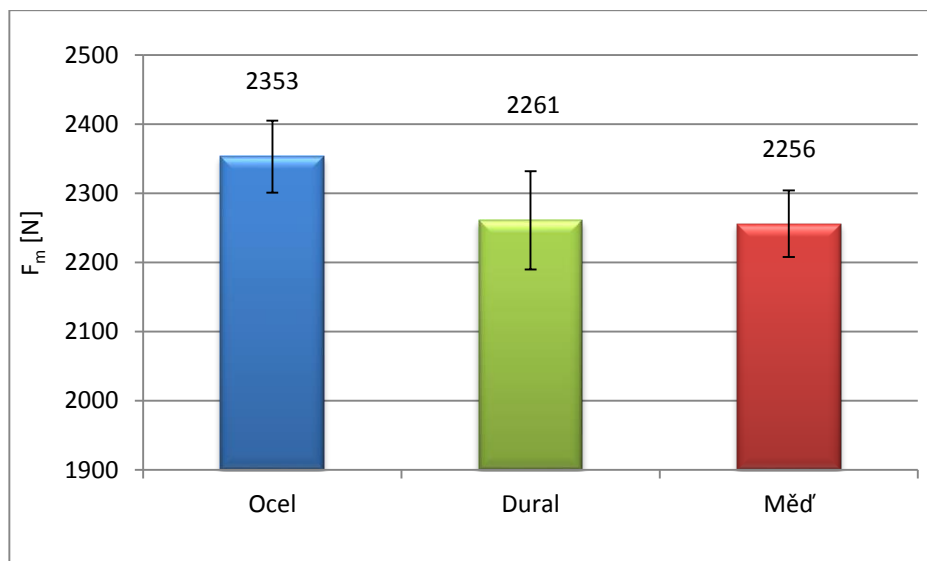
Obr. 47. Porovnání A_{cu} pro PC při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnotu rázové houževnatosti vykazoval polykarbonát vstříkovaný do ocelové formy (130,7 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$). Nejnižší hodnota rázové houževnatosti byla zjištěna u polykarbonátu vstříkovaného do měděné formy (121,6 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$). Z Obr. 47. lze odečítat mírné zhoršení odolnosti proti dynamickému zatížení při použití duralové či měděné formy.

10.3.3 Naměřené hodnoty zkoušky rázové houževnatosti materiálu PP/SV

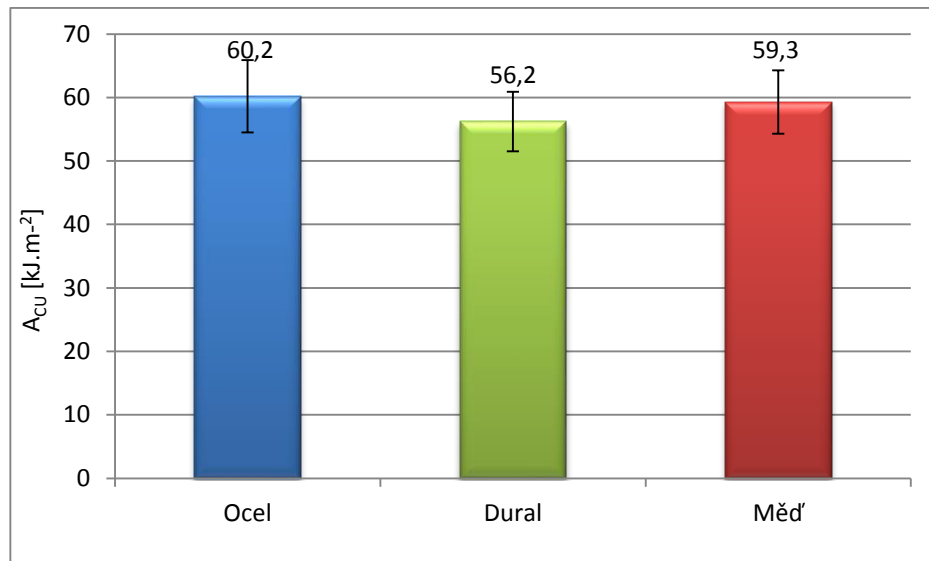
Tab. 25. Výsledky zkoušky rázové houževnatosti materiálu PP/SV

Materiál formy	Ocel	Dural	Měď
F_m [MPa]	2353 ± 52	2261 ± 71	2256 ± 48
\bar{u}_A	9,54	13	8,77
A_{CU} [kJ.m ⁻²]	$60,2 \pm 5,7$	$56,2 \pm 4,7$	$59,3 \pm 5$
\bar{u}_A	1,043	0,851	0,907



Obr. 48. Porovnání F_m pro PP/SV při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnotu maximální rázové síly vykazoval PP/SV vstříkovaný do ocelové formy (2353 N). Pro PP/SV vstříkovaný do duralové a měděné formy byla zjištěna téměř stejná hodnota maximální rázové síly. Z Obr. 48. nelze pozorovat výrazný vliv materiálu formy na maximální sílu potřebnou k přeražení polymerního výrobku.



Obr. 49. Porovnaní A_{Cu} pro PP/SV při různých materiálech forem

Pro PP/SV vstříkovaného do ocelové a měděné formy byly zjištěny téměř stejné hodnoty rázové houževnatosti. U duralové formy byla zjištěna nižší hodnota rázové energie ($56,2 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$). Z Obr. 49. lze určit pouze minimální vliv materiálu formy na výslednou odolnost proti dynamickému zatížení což potvrzuje také vyhodnocení maximální síly potřebné k přeražení polymerního výrobku (Obr. 48.)

11 ZKOUŠKA TVRDOSTI SHORED

11.1 Zkušební zařízení pro zkoušku tvrdosti

Pro měření tvrdosti dle Shoreho byl použit tvrdoměr OMAG AFFRI ART 13, disponující digitálním výstup měřených hodnot. Na přístroji je možno provádět zkoušky tvrdosti metodou Shore A, D, 0, 00.



Obr. 50. Zkušební zařízení pro měření zkoušky tvrdosti dle Shoreho OMAG AFFRI RT 13

11.1.1 Postup měření ShoreD zkoušky tvrdosti

Zkušební těleso bylo položeno pod zkušební hrot tak, aby špička hrotu byla vzdálena od okraje zkušebního tělesa nejméně 9 mm. Pomocí páky bylo rychle, ale bez nárazu zatlačeno zkušební těleso na hrot. Po určité době, zobrazované na displeji byla odečítána hodnota

tvrdosti ShoreD. Mezi jednotlivými místy měření byla ponechána mezera nejméně 5 mm. Měření probíhalo dle normy ČSN EN ISO 868. [22]

11.2 Výsledky měření

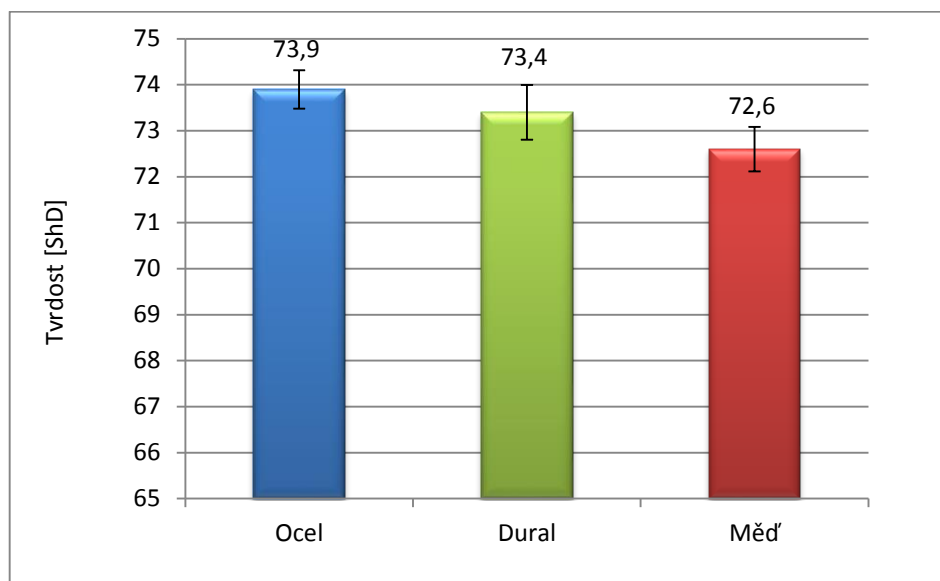
Na každém zkušebním tělese bylo provedeno 30 měření. Vyhodnocována byla:

Tvrdość [ShD] Tvrdość Shore metodou D

11.2.1 Naměřené hodnoty tvrdosti ShoreD materiálu ABS

Tab. 26. Výsledky zkoušky tvrdosti ShoreD materiálu ABS

Materiál formy	Ocel	Dural	Měď
Tvrdość [ShD]	$73,9 \pm 0,4$	$73,4 \pm 0,6$	$72,6 \pm 0,5$
u_A	0,076	0,109	0,088



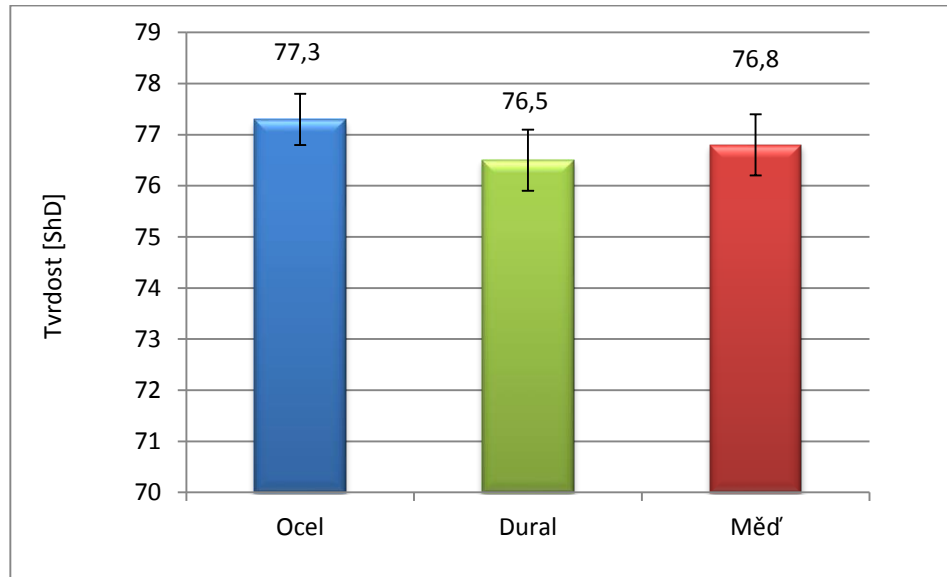
Obr. 51. Porovnání Tvrdości pro ABS při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnota tvrdosti byla zjištěna u akrylnitril-butadien-styrenu vstřikovaného do ocelové formy (73,9 ShD). Nejnižší hodnotu tvrdosti vykazoval ABS vstřikovaný do měděné formy (72,6 ShD). Dle Obr. 51. je možno konstatovat, že materiál formy nemá výrazný vliv na tvrdost polymerního výrobku z ABS.

11.2.2 Naměřené hodnoty tvrdosti ShoreD materiálu PC

Tab. 27. Výsledky zkoušky tvrdosti ShoreD materiálu PC

Materiál formy	Ocel	Dural	Měď
Tvrdość [ShD]	77,3 ± 0,5	76,5 ± 0,6	76,8 ± 0,6
u_A	0,1	0,112	0,114



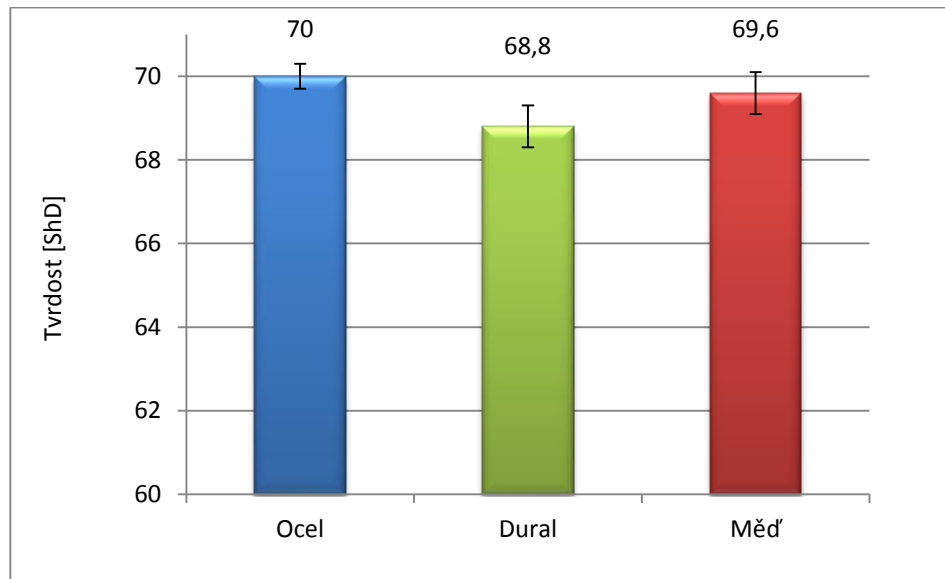
Obr. 52. Porovnání tvrdosti pro PC při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnota tvrdosti byla naměřena u polykarbonátu vstřikovaného do ocelové formy (77,3 ShD), nejmenší pak u polykarbonátu vstřikovaného do duralové formy (76,5 ShD). Z Obr 52. nelze určit výrazný vliv použitého materiálu vstřikovací formy na tvrdost polymerního výrobku z PC.

11.2.3 Naměřené hodnoty tvrdosti ShoreD materiálu PP/SV

Tab. 28. Výsledky zkoušky tvrdosti ShoreD materiálu PP/SV

Materiál formy	Ocel	Dural	Měď
Tvrdość [ShD]	$70 \pm 0,3$	$68,8 \pm 0,5$	$69,6 \pm 0,5$
u_A	0,06	0,094	0,09



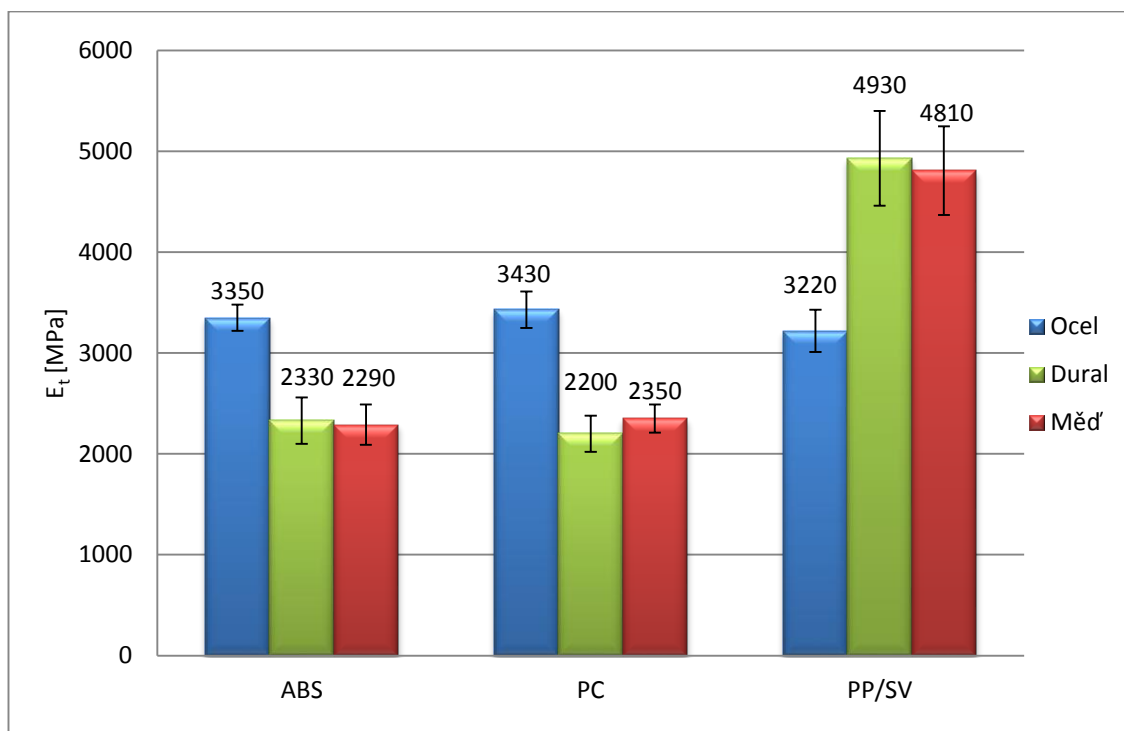
Obr. 53. Porovnání tvrdosti pro PP/SV při různých materiálech forem

Nejvyšší tvrdost vykazoval PP/SV vstřikovaný do ocelové formy (70 ShD) s malou odchylkou od PP/SV vstřikovaného do měděné formy. Nejmenší tvrdost vykazoval PP/SV vstřikovaný do duralové formy (68,8 ShD). Z Obr. 53. je zřejmé, že materiál formy nemá výrazný vliv na tvrdost polymerního výrobku. Na povrchu výrobku bude zřejmě převažovat amorfni struktura, vzhledem k vysoké rychlosti ochlazování výrobku ve formě.

12 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V praktické části diplomové práce jsou porovnávány mechanické vlastnosti vybraných polymerů (ABS, PC, PP/SV) v závislosti na materiálu tvarových desek vstříkovací formy. Jako materiál tvarových desek byly použity ocel, dural a měď.

12.1 Vyhodnocení na základě tahové zkoušky



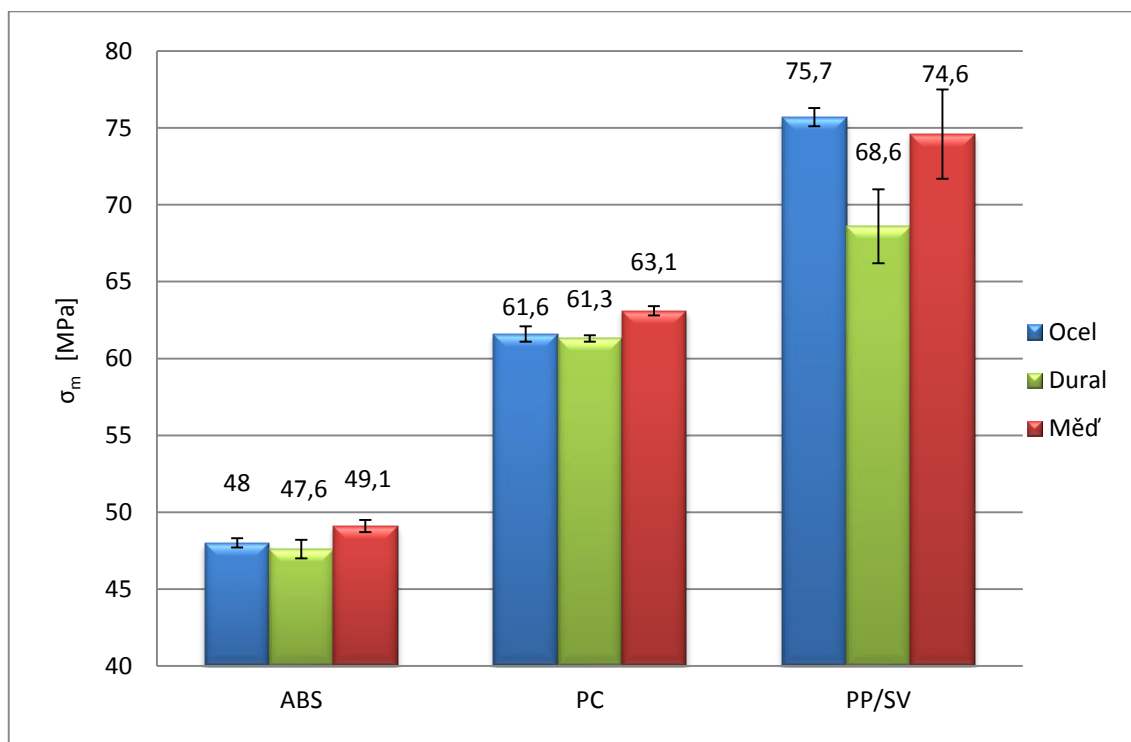
Obr. 54. Porovnání E_t pro vybrané vstříkované při různých materiálech forem

U polymerů akronitril-butadien-styrenu a polykarbonátu byly zjištěny nejvyšší hodnoty Youngova modulu u materiálů vstříkovaných do ocelové formy. U ABS vstříkovaného do duralové formy byl pozorován pokles Youngova modulu oproti vstříkování do formy ocelové 30,4 %, při vstříkování do měděné formy byl tento pokles o 31,6 %. Obdobné výsledky byly zaznamenány při vstříkování polykarbonátu, kde pokles Youngova modulu při vstříkování do formy duralové činil 35,9 % a měděné 31,5 % oproti vstříkování do formy ocelové.

Dle Obr. 54. je možno konstatovat, že výrobky z polymerů ABS a PC se budou vyznačovat vyšší tuhostí při použití ocelové formy. Při použití duralové a měděné formy budou výrobky více houževnaté. Při stejném zatížení se budou více deformovat, což dokazují také výsledky poměrného prodloužení na mezi pevnosti (Obr. 55).

U PP/SV byly zjištěny rozdílné výsledky oproti ABS PC, nejvyšší hodnoty Youngova modulu bylo dosaženo při vstřikování do formy duralové. Pokles Youngova modulu PP/SV při vstřikování do měděné formy v porovnání s použitím formy duralové činí 2,4 %, avšak při použití formy ocelové je tento pokles dokonce 34,7 %. Vyšší tuhost tedy PP/SV vykazuje při použití duralu a mědi jako materiálu formy. Nárůst tuhosti mohl být zapříčiněn rychlejším odvodem tepla z polymerního výrobku při použití materiálů forem s vysokou teplotní vodivostí, což mohlo vést k většímu nárůstu krystalické fáze.

Rozdíly naměřených hodnot tuhosti různých polymerů vstřikovaných do forem z různých materiálů mohou být způsobeny odlišnou nadmolekulární strukturou daných polymerů. Akronitril-butadien-styren a polykarbonát jsou polymery amorfní, naopak polypropylen je polymer semikrystalický. Youngův modul u semikrystalických polymerů je výrazně závislý na podílu vytvořené amorfní a krystalické fáze. Vytvořená nadmolekulární struktura je dána především průběhem ochlazování polymeru ve formě. Průběh ochlazování je ovlivněn použitým materiálem formy především z důvodu vysokého rozdílu teplotních vodivostí jednotlivých materiálů. (Obr. 54.)

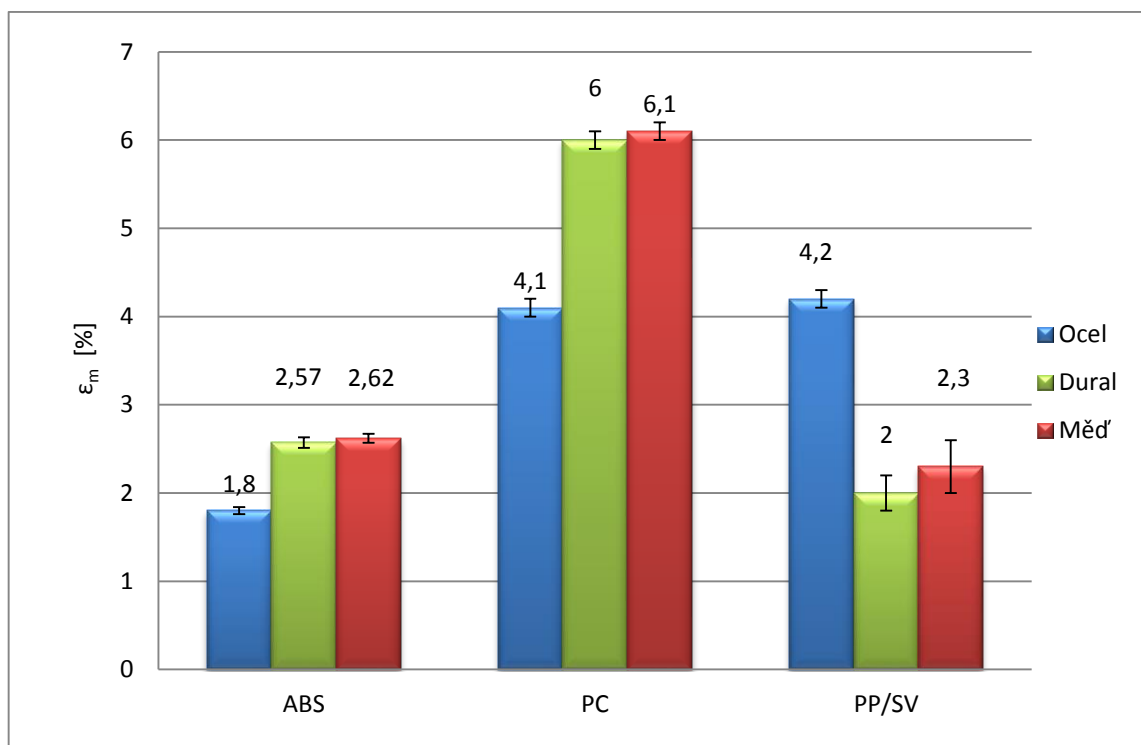


Obr. 55. Porovnání σ_m pro vybrané vstřikované při různých materiálech forem

Z Obr. 55. je možno usoudit, že pro polymery ABS a PC je z hlediska výsledné pevnosti nejvhodnější použití měděné formy. U ABS vstřikovaného do ocelové formy byl pozorován pokles pevnosti oproti vstřikování do formy měděné 2,24 %, při vstřikování do duralové formy byl tento pokles o 3,1 %. Obdobné výsledky byly zaznamenány při vstřikování PC, kde pokles tuhosti při vstřikování do formy ocelové činil 2,4 % a duralové 2,9 % oproti vstřikování do formy měděné.

U polypropylenu plněného skelnými vlákny je z hlediska pevnosti nejvýhodnější použití ocelové formy. Při vstřikování PP/SV do měděné formy byl zjištěn pokles pevnosti 1,5 %, do duralové pak 9,4% oproti použití formy ocelové.

Dle výsledků tahové zkoušky nelze určit výrazné ovlivnění výsledné pevnosti polymerních výrobků materiálem vstřikovací formy. To umožňuje použití duralu a mědi jako chladicích materiálu v kombinaci s ocelí tak, aby nedocházelo k velkým změnám pevnosti v různých místech polymerního výrobku.



Obr. 56. Porovnání ϵ_m pro vybrané vstřikované při různých materiálech forem

Nejnižších hodnot poměrného prodloužení na mezi pevnosti bylo pro polymery ABS a PC dosaženo při vstřikování do ocelové formy. U ABS vstřikovaného do duralové formy byl pozorován nárůst poměrného prodloužení na mezi pevnosti oproti vstřikování do formy

ocelové 42,8 %, při vstřikování do měděné formy byl tento nárůst o 45,6 %. Obdobné výsledky byly zaznamenány při vstřikování PC, kde nárůst poměrného prodloužení na mezi pevnosti při vstřikování do formy duralové činil 46,3 % a měděné 48,8 % oproti vstřikování do formy ocelové.

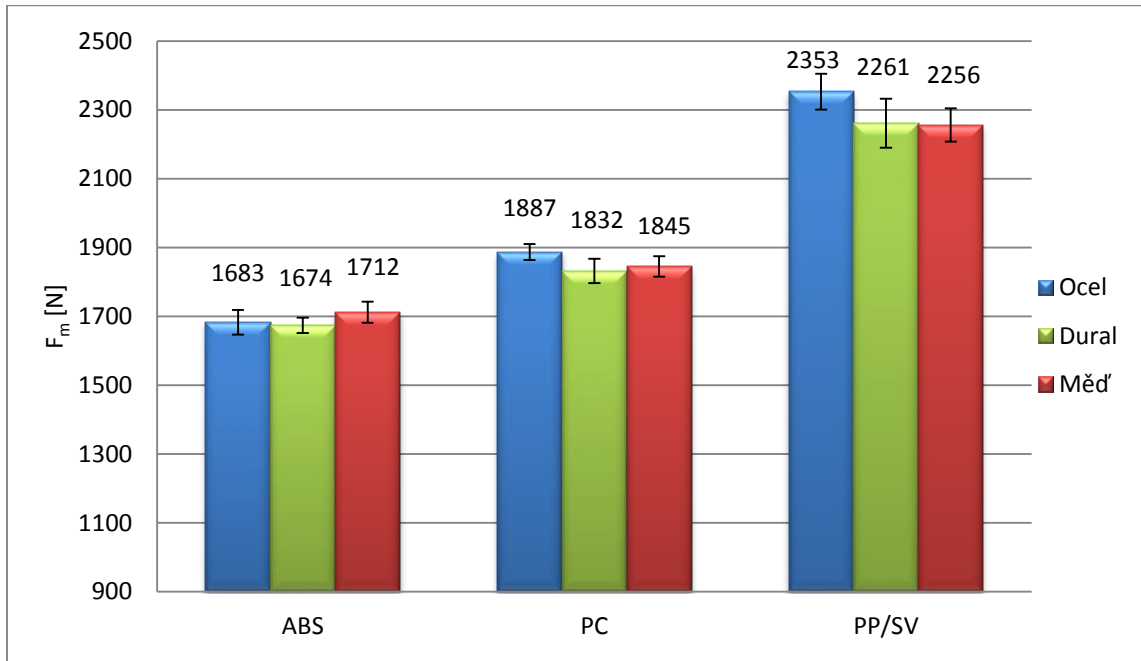
Rozdílné výsledky z hlediska poměrného prodloužení na mezi pevnosti byly zjištěny u polypropylenu plněného skelnými vlákny. Tento polymer vykazoval nejnižší hodnoty ε_m při vstřikování do duralové formy. Nárůst poměrného prodloužení na mezi pevnosti při vstřikování do měděné formy činil 15%, při vstřikování do formy ocelové pak 110% než při vstřikování do formy duralové.

Poměrné prodloužení je spjato s Youngovým modulem Hookovým zákonem (vzorec 4), tudíž lze pozorovat souvislost vyhodnocení poměrného prodloužení na mezi pevnosti (Obr. 56.) s vyhodnocením tuhosti (Obr. 54.). Nejde však o přesnou empirii, jelikož Hookeuv zákon platí pouze do meze úměrnosti materiálu.

Z provedené tahové zkoušky lze u polypropylenu plněného skelnými vlákny pozorovat vyšší rozdíly naměřených hodnot (vyšší směrodatná odchylka) než u ABS či PC. To může být zapříčiněno kolísáním zpracovatelských podmínek, především teploty formy. Teplota formy má zásadní vliv na mechanické vlastnosti výrobků především u polymerů se semikrystalickou nadmolekulární strukturou. Velikost směrodatné odchylky mohla být také způsobena nestejnou orientací vláken plněného polymeru při vstřikování, což se projevilo především při použití duralu a mědi, tedy materiálů rychle odvádějících teplo z polymerního výrobku.

Z tahové zkoušky vyplynulo, že výrobky z ABS a PC vyrobené vstřikováním do duralové a měděné formy mají srovnatelnou pevnost jako při použití formy ocelové, avšak při snížení tuhosti a zvýšení deformace. Výrobky z PP/SV vyrobené vstřikováním do duralové a měděné formy mají také srovnatelnou pevnost jako při použití formy ocelové, na rozdíl od ABS a PC se však zvýší tuhost a sníží deformace.

12.2 Vyhodnocení na základě zkoušky rázové houževnatosti

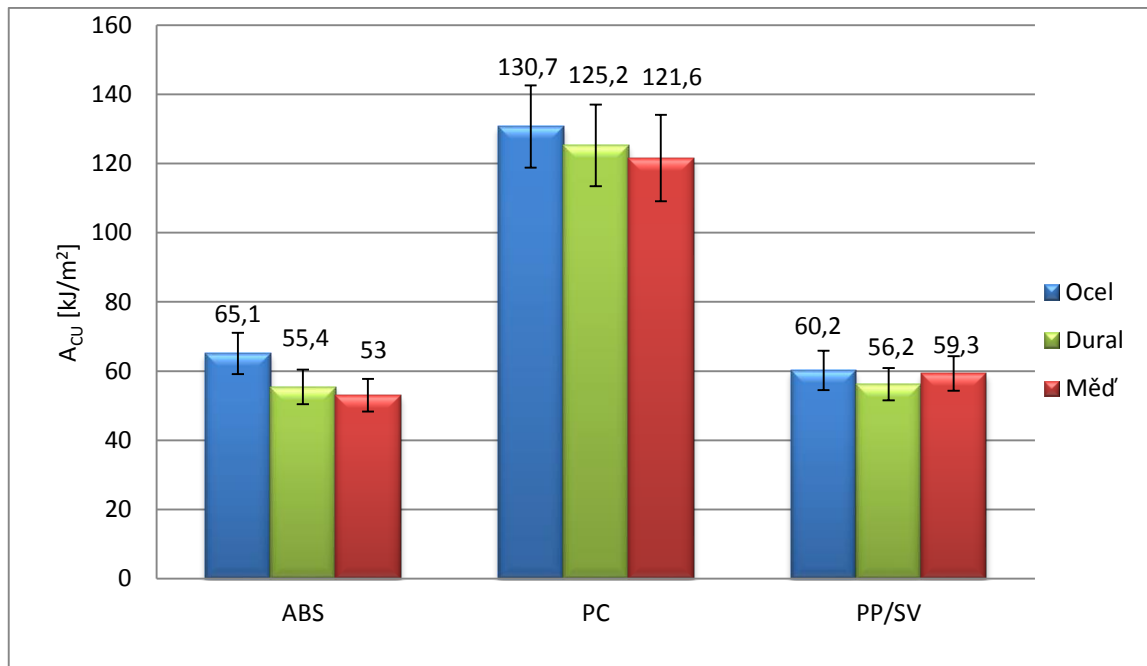


Obr. 57. Porovnání F_m pro vybrané vstřikované při různých materiálech forem

Nejvyšších hodnot maximální rázové síly pro polymery PC a PP/SV bylo dosaženo při vstřikování těchto polymerů do ocelové formy. Pro materiál ABS je z hlediska maximální rázové síly nejvýhodnější použití měděné formy.

Pro materiály ABS a polykarbonát byl zjištěn minimální vliv materiálu formy. U polypropylenu plněného skelnými vlákny byl pokles hodnoty maximální rázové síly při vstřikování do duralové formy 3,9 % a měděné formy 4,1 % než při vstřikování do formy ocelové.

Z Obr. 57. lze zjistit pouze minimální vliv materiálu formy na maximální rázovou sílu potřebnou k přeražení polymerních výrobků, což koresponduje s vyhodnocením rázové houževnatosti výrobků. (Obr. 58)



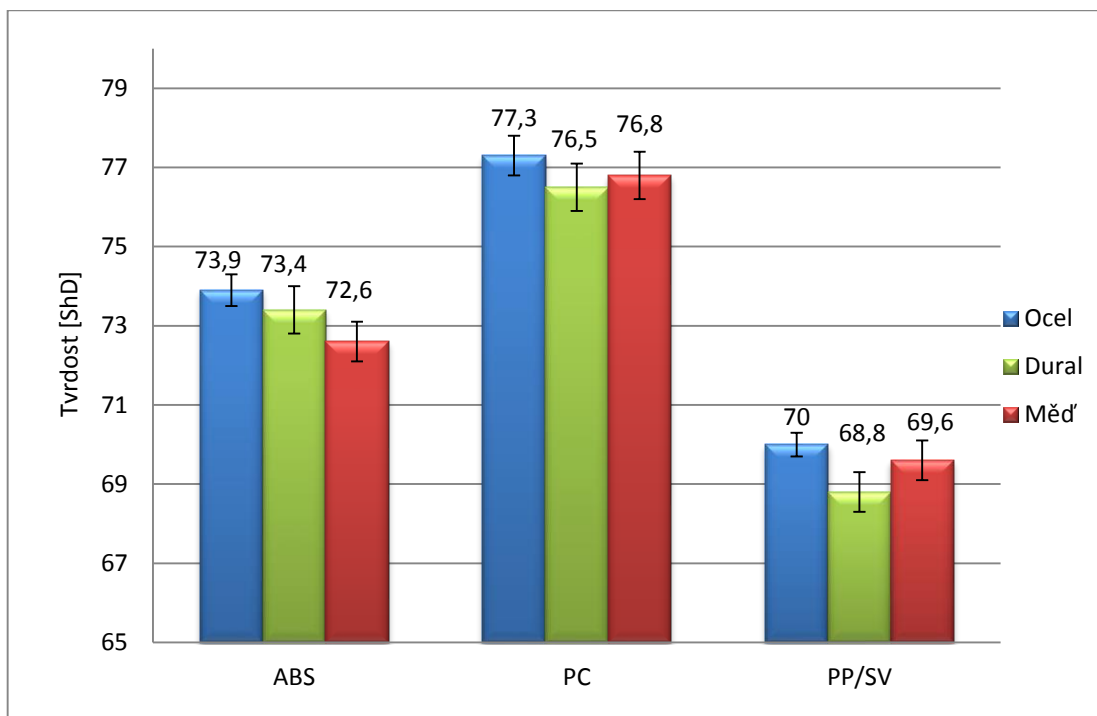
Obr. 58. Porovnání A_{CU} pro vybrané vstříkované při různých materiálech forem

Z Obr. 58. je zřejmé, že nejvyšších hodnot rázové houževnatosti u materiálů ABS a PC bylo dosaženo při vstříkování do ocelové formy. U ABS vstříkovaného do duralové formy byl pozorován pokles rázové houževnatosti oproti vstříkování do formy ocelové 14,9 %, při vstříkování do měděné formy byl tento pokles o 18,6 %. Obdobné výsledky byly zaznamenány při vstříkování PC, kde pokles rázové houževnatosti při vstříkování do formy duralové činil 4,2 % a měděné 7 % oproti vstříkování do formy ocelové.

U polypropylenu plněného skelnými vlákny vykazoval nejvyšší hodnotu rázové houževnatosti materiál vstříkovaný do ocelové formy. Pokles rázové houževnatosti při vstříkování do měděné formy činí 1,5 % oproti vstříkování do formy ocelové, při vstříkování do duralové formy je tento pokles 6,6 %.

Mechanické vlastnosti při dynamickém zatížení se u polymerních výrobků při použití měděných a hliníkových forem mírně zhoršily. Zhoršení však není velmi výrazné. Je tedy možné použít dural a měď jako chladících materiálů v kombinaci s ocelí tak, aby nedocházelo k velkým rozdílům v mechanických vlastnostech při dynamickém zatížení v různých místech výrobku. Nelze však tyto výrobky doporučit k takovým aplikacím, kde by docházelo k velkému dynamickému namáhání.

12.3 Vyhodnocení na základě zkoušky tvrdosti



Obr. 59. Porovnání tvrdosti pro polymery vstříkované při různých materiálech forem

Nejvyšší hodnota tvrdosti byla pro všechny vyhodnocované polymery zjištěna při vstříkovaní do ocelové formy.

U ABS vstříkovaného do duralové formy byl pozorován pokles tvrdosti ShoreD oproti vstříkovaní do formy ocelové pouze 0,7 %, při vstříkovaní do měděné formy byl tento pokles o 1,8%. Při vstříkovaní PC byl zjištěn pokles tvrdosti ShoreD do formy měděné pouze 0,6 % a duralové 1 % oproti vstříkovaní do formy ocelové.) Z obrázku 59. je zřejmé, že materiál formy nemá výrazný vliv na tvrdost polymerního výrobku.

Při vstříkovaní PP/SV byl zjištěn pokles tvrdosti pro materiál vstříkovaný do měděné formy pouze 0,6 % a duralové 1,7 % oproti formě ocelové. Z Obr. 59. nelze zjistit výrazný vliv materiálu formy na tvrdost polymerního výrobku.

Z výsledku zkoušky (Obr. 59.) tvrdosti bylo zjištěno, že výsledná tvrdost polymerního výrobku není výrazně závislá na použitém materiálu vstříkovací formy. U semikrystalického PP/SV to mohlo být zapříčiněno vytvořenou amorfni strukturou na povrchu výrobku, vzniklou při vysoké rychlosti ochlazování.

13 ZÁVĚR

V diplomové práci byl řešen vliv materiálu formy na mechanické vlastnosti polymerních výrobků. Jako materiály pro tvarové desky byly voleny Ocel 19 552, Měď ČSN 42 3001 a Dural EN 7075. Výzkum byl proveden pro tři druhy polymerních materiálů a to akronitril-butadien-styren ABS HG-0760, polykarbonát Anjacom PC R100X a polypropylen plněný skelnými vlákny PP SYNTEGUM 1020 AFV/HMFL.

Z výsledku tahové zkoušky je pozorován největší vliv materiálu formy na tuhost a poměrné prodloužení na mezi pevnosti. Při použití měděné a duralové formy se výrobky z akronitril-butadien-styrenu a polykarbonátu vyznačují asi o třetinu nižší tuhostí, budou se tedy více deformovat při stejné působící zatěžující síle. Větší deformace je také zřejmá z výsledného poměrného prodloužení na mezi pevnosti, jehož hodnota je o třetinu vyšší než při použití ocelové formy. Pevnost výrobku však zůstane skoro nezměněna.

Při vstřikování polypropylenu plněného skelnými vlákny do měděné a duralové formy se výrobky vyznačují zhruba o třetinu vyšší tuhostí, pro stejnou deformaci tedy bude nutno vynaložit vyšší zatěžující sílu. Menší deformace je také patrná z výsledného poměrného prodloužení na mezi pevnosti, jehož hodnota je asi o třetinu nižší než při použití ocelové formy. Pevnost výrobku se však změní jen minimálně.

Rozdíly naměřených pevnosti všech vybraných polymerů vstřikovaných do všech tří materiálů forem byly do 5%. Z toho plyne, že použití nejlevnějšího materiálu - duralu, nemá zásadní vliv na pevnost polymerních výrobků z daných materiálů.

Ze zkoušky rázem metodou Charpy bylo zjištěno, že z hlediska rázové houževnatosti je nejvhodnější použití ocelových forem pro všechny vyhodnocované polymery. Při použití měděné a duralové formy se mírně zhoršily mechanické vlastnosti polymerních výrobků při dynamickém zatížení.

Ze Shoreho zkoušky tvrdosti metodou D vyplývá, že z hlediska tvrdosti polymerních výrobků je nejvhodnější použití ocelové formy. Zásadní vliv materiálu formy na výslednou tvrdost však zjištěn nebyl, jelikož pokles tvrdosti při vstřikování do ostatních materiálů činil méně než 2 %. Při dalším výzkumu vlivu materiálu formy na tvrdost polymerních výrobků by bylo vhodné provést také zkoušku mikrotvrdosti pro zjištění vlivu materiálu formy na tvrdost povrchové vrstvy výrobků.

Ze všech provedených zkoušek mechanických vlastností materiálů byla pozorována podobnost výsledků akronitril-butadien-styrenu s výsledky polykarbonátu. Rozdílné výsledky pak vykazoval polypropylen plněný skelnými vlákny. To mohlo být zapříčiněno různou nadmolekulární strukturou daných polymerů, proto by bylo přínosné provedení výzkumu vlivu materiálu formy při vstřikování dalších semikrystalických polymerů. Rozdílných výsledků mohlo být také dosaženo vlivem přítomnosti plniva v polymeru. Skelná vlákna se při použití materiálu forem s různou teplotní vodivostí mohly různě orientovat. Zjištění vlivu obsahu plniva při použití forem z různých materiálů by mohlo být tématem dalšího výzkumu.

V této práci nebyl řešen vliv technologických podmínek a vstřikování probíhalo do netemperovaných forem. Temperací a změnou zpracovatelských podmínek by mohlo být dosaženo jiných mechanických vlastností polymerních výrobků. Z tohoto důvodu by v další práci bylo vhodné provést optimalizaci zpracovatelských podmínek při vstřikování do různých materiálů forem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KREBS, J. *Teorie zpracování nekovových materiálů* 2. vyd. Technická univerzita v Liberci. 2001. 250s. ISBN 80-7083-449-8
- [2] MENGES, G.MICHAELI, W., MOHREN, P. *How to Make Injection Molds* 3. vyd. HANSER, Munich. 2007. 612s. ISBN 1-56990-282-8
- [3] VOJTĚCH, D. *Materiály a jejich mezní stavy* 1. vyd. VŠCHT Praha. 2010. 212s. ISBN 978-80-7080-471-5
- [4] BOBČÍK a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů, I-DÍL – Vstřikování termoplast. 2. vyd. BRNO: Uniplast, 1999. 134s*
- [5] DUCHÁČEK, V. *Polymery výroba, vlastnosti, zpracování, použití* 2. vyd. VŠCHT Praha. 2006. 280s. ISBN 80-7080-617-6
- [6] MEISSNER, B. ZILVAR, V. *Fyzika polymerů*. 1. vyd. SNTL Praha 1987, 308s.
- [7] BOBČÍK a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů II- DÍL– Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. BRNO: Uniplast, 1999. 214s.
- [8] Polymery „stručně“ [online]. [cit.2013-12-12]. Dostupný z WWW:
<http://www.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
- [9] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 2. vyd. ALBRA Úvaly, 2005. 907 s. ISBN 80-7361-011-6
- [10] Značení ocelí [online]. [cit.2013-12-12]. Dostupný z WWW:
<<http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/znaceni-oceli-ciselné-oznacovani-a-rozdeleni-oceli>>
- [11] Značení neželezných kovů [online]. [cit.2013-12-12]. Dostupný z WWW:
<http://www.ferona.cz/cze/katalog/nezelezne_kovy.php>
- [12] Reologie taveniny termoplastů v průmyslové praxi [online]. [cit.2013-12-12]. Dostupný z WWW:
<<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Reologie.pdf>>
- [13] Training in Injection Molding - A Text- and Workbook (2nd Edition). [online]. [cit.2013-12-1]. Dostupný z WWW:
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpTIMATWE5/training-in-injection>

- [14] Vstřikování plastů [online].[cit.2013-12-1]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>
- [15] Arburg, hydraulické stroje [online].[cit.2013-12-1]. Dostupný z WWW: <<http://www.arburg.com/cs/cz/reseni/injection-moulding-machines/hydraulic-machines/>>
- [16] JARUŠEK, Jaroslav. *Metody zkoumání polymerů*. 2. vyd. VŠCHT Pardubice. 1989. 105s. ISBN 80-85113-01-5
- [17] RAGAN, E., RUŽBARSKÝ, J., MAŇAS, M. *Vstrekovanie a spracovanie plastických hmot*. FVT Prešov. 2008. 548s. ISBN 978-80-553-0002-0
- [18] Vlastnosti materiálů – pružnost, pevnost [online].[cit.2013-1-12]. Dostupný z WWW: <http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik1/06a_pruznost_pevnost.php>
- [19] Převodní tabulka ocelí [online].[cit.2013-1-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.tumlikovo.cz/prevodni-tabulky-oceli/>>
- [20] ČSN EN ISO 527-2. *Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 2. zkušební podmínky pro tvářené plasty*. Praha: Český normalizační institut. 1998. 16s.
- [21] ČSN EN ISO 527-1. *Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 1. Obecné principy*. Praha: Český normalizační institut. 2012. 28s.
- [22] ČSN EN ISO 868 *Stanovení tvrdosti vlačováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore)*. Praha: Český normalizační institut. 2003. 12s.
- [23] ČSN EN ISO 179-1 *Stanovení rázové houževnatosti metodou charpy – Část 1. Neinstrumentovaná rázová zkouška*. Praha: Český normalizační institut. 2010. 24s.
- [24] Materiálový list oceli X37CrMoV5-1[online].[cit.2014-2-5]. Dostupný z WWW: <<http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/nastrojove-oceli/nastrojove-oceli-pro-praci-za-tepla/materialove-listy/materialovy-list-oceli-x37crmov5-1>>
- [25] Alucad Bohemia, technické údaje [online].[cit.2014-2-5]. Dostupný z WWW: <http://www.alucad.cz/public/var/files/file_109.pdf>
- [26] Copper, Brass, Bronze, CW004A- C10 [online].[cit.2014-2-5]. Dostupný z WWW: www.durbinmetals.co.uk/datasheets/Durbin-Metal-IndustriesLtd_Copper%7eBrass%7eBronze_CW004A-C101_32.pdf.aspx

- [27] CW004A [online]. [cit.2014-2-5]. Dostupný z WWW:
<<http://www.pxprecimet.ch/data/documents/fiches-techniques/EN/Cu-ETP.pdf>>
- [28] SAMSUNG *Data sheet STAREX High Gloss ABS HG-0760*. 2006. 1s.
- [29] ALMMAK INTERNATIONAL *Data sheet Anjacom PC R100X*. 2012. 1s.
- [30] LAMPLAST *Data sheet Syntegum 1020 AFV 00/HMFL*. 1s.
- [31] Přístroje UVI [online]. [cit.2014-3-3]. Dostupný z WWW:
<<http://www.utb.cz/file/40095/>>
- [32] ALLROUNDER 470 H [online]. [cit.2014-2-5]. Dostupný z WWW:
<http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Bilder/Presse_300dpi/ARBURG_26594_ALLROUNDER_470H.jpg>
- [33] ALLROUNDER 470 H [online]. [cit.2014-2-5]. Dostupný z WWW:
<http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_470H_TD_680311_en_GB.pdf>
- [34] ŠVEHLÍK, Jan. *Vliv procesních parametrů na výsledné mechanické vlastnosti neplněných polymerů* – Bakalářská práce, Zlín: UTB – FT. 2012. 72s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Počáteční průřez tělesa
ABS	Akronitril-butadien-styren
a_{cU}	Rázová houževnatost
Al	Hliník
ASTM	Americká společnost pro zkoušení a materiály
C	Uhlík
CA	Acetát celulózy
C_p	Měrná tepelná kapacita
Cr	Chrom
Cu	Měď
ČSN	Česká státní norma
E_c	korigovaná energie spotřebovaná při přeražení zkušebního tělesa
EN	Evropská norma
E_t	Mez pružnosti (tuhost), Youngův modul
F	Síla
F_p	Uzavírací síla
F_u	Síla uzamknutí
HCl	Kyselina chlorovodíková
ISO	Mezinárodní norma, Mezinárodní organizace pro standartizaci
Mg	Magnesium
Mn	Mangan
Mo	Molybden
n	Počet výběrových hodnot (počet měření)
Ni	Nikl

P	Fosfor
PC	Polykarbonát
PP	Polypropylen
PP/SV	Polypropylen plněný skelnými vlákny
PS	Polystyren
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinilchlorid
Ra	Parametr drsnosti povrchu, střední aritmetická odchylka
S	Průřez tělesa
Si	Křemík
t_{ch}	Doba chladnutí
Ti	Titan
t_m	Manipulační čas
t_p	Doba plastikace
t_{s1}, t_{s2}	Strojní časy
V	Vanad
W	Wolfram
x_i	I-tá hodnota měřené veličiny
Zn	Zinek
ε	Poměrné prodloužení
ε_m	Poměrné prodloužení na mezi pevnosti
λ	Tepelná vodivost
ρ	Hustota
σ	Napětí působící při tahové zkoušce
σ_m	Mez pevnosti v tahu
σ_u	Napětí na mezi úměrnosti materiálu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Struktury makromolekul, termoplasty (lineární nebo rozvětvené makromolekuly), reaktoplasty (hustě zesíťovaná struktura), elastomery (slabě zesíťovaná struktura) [3].....	13
Obr. 2. Amorfní a semikrystalická nadmolekulární struktura polymerů [3].....	14
Obr. 3. Schéma číselného značení ocelí dle ČSN EN 10020 [9].....	24
Obr. 4. Schéma číselného značení ocelí dle ČSN EN 10027-1[9].....	26
Obr. 5. Schéma číselného značení ocelí dle ČSN EN 10027-2 [9].....	27
Obr. 6. Schéma číselného značení neželezných kovů [9]	31
Obr. 7. Číselné značení mědi dle ČSN EN 1412: ¹⁾ písmeno W = materiály ve formě tvářených výrobků, ²⁾ druh mědi specifikovaný v evropské normě, ³⁾ druh mědi, který není specifikovaný v evropské normě, ale v Evropě se vyrábí [11]	32
Obr. 8. Číselné značení hliníku a slitin hliníku dle ČSN EN 573-1 [11].....	34
Obr. 9: Činnost vstřikovacího stroje [1].....	35
Obr. 10: Průběh tlaku v dutině formy během vstřikovacího cyklu [1]	36
Obr. 11. Spirála pro zkoušku zabíhavosti [12].....	38
Obr. 12. Schéma vstřikovacího stroje [13].....	40
Obr. 13. Vstřikovací jednotka [15].....	41
Obr. 14. Diferenciální šnek vstřikovacího stroje [14].....	42
Obr. 15. Zpětný uzávěr vstřikovací jednotky [13]	42
Obr. 16. Schéma vstřikovací jednotky [13]	43
Obr. 17. Uzavírací jednotka [15]	43
Obr. 18. Detail vtokového ústí [14]	46
Obr. 19. Zkušební těleso pro tahovou zkoušku [20].....	49
Obr. 20. Zkušební těleso pro zkoušku rázové houževnatosti [23]	50
Obr. 21. Schématické znázornění trhacího stroje: 1 - hnací jednotka, 2 – stojany s vedením, 3 – silový mechanismus, 4 – pevná čelist, 5 – pohyblivá čelist, 6 – pohybový šroub, 7 – zkušební vzorek, 8 – ovládání, 9 – výstupní zařízení [17]	51
Obr. 22. Pracovní diagram tahové zkoušky [18].....	52
Obr. 23. Zkušební hrot tvrdoměru typu D, 1- opěrná patka, 2- zkušební hrot, a- kóta maximálního vysunutí [22].....	54
Obr. 24. Břit a boky podpěr Charpyho kladiva v okamžiku rázu, 1- směr rázu, 2- Tyč rázového kyvadla, 3- zkušební těleso, 4- Podpěra [23]	56

<i>Obr. 25. Měděný a duralový polotovar pro výrobu tvarových desek</i>	61
<i>Obr. 26. Tvarové desky z materiálu Dural</i>	62
<i>Obr. 27. Tvarové desky z materiálu Měď'</i>	62
<i>Obr. 28. Sušárna Thermolift 100-2.....</i>	65
<i>Obr. 29. Vstřikovací stroj Arburg 470 H [32]</i>	66
<i>Obr. 30. Zkušební stroj ZWICK 1456 [31]</i>	69
<i>Obr. 31. Tahové křivky ABS při různých materiálech forem.....</i>	71
<i>Obr. 32. Porovnání E_t pro ABS při různých materiálech forem.....</i>	71
<i>Obr. 33. Porovnání σ_m pro ABS při různých materiálech forem</i>	72
<i>Obr. 34. Porovnání ϵ_m pro ABS při různých materiálech forem</i>	72
<i>Obr. 35. Tahové křivky PC při různých materiálech forem.....</i>	73
<i>Obr. 36. Porovnání E_t pro PC při různých materiálech forem</i>	74
<i>Obr. 37. Porovnání σ_m pro PC při různých materiálech forem.....</i>	74
<i>Obr. 38. Porovnání ϵ_m pro PC při různých materiálech forem</i>	75
<i>Obr. 39. Tahové křivky PP/SV při různých materiálech forem</i>	76
<i>Obr. 40. Porovnání E_t pro PP/SV při různých materiálech forem</i>	76
<i>Obr. 41. Porovnání σ_m pro PP/SV při různých materiálech forem.....</i>	77
<i>Obr. 42. Porovnání ϵ_m pro PP/SV při různých materiálech forem.....</i>	77
<i>Obr. 43. Zkušební zařízení pro měření rázové houževnatosti.....</i>	79
<i>Obr. 44. Porovnání F_m pro ABS při různých materiálech forem</i>	80
<i>Obr. 45. Porovnání A_{CU} pro ABS při různých materiálech forem</i>	81
<i>Obr. 46. Porovnání F_m pro PC při různých materiálech forem.....</i>	82
<i>Obr. 47. Porovnání A_{CU} pro PC při různých materiálech forem.....</i>	82
<i>Obr. 48. Porovnání F_m pro PP/SV při různých materiálech forem</i>	83
<i>Obr. 49. Porovnání A_{CU} pro PP/SV při různých materiálech forem</i>	84
<i>Obr. 50. Zkušební zařízení pro měření zkoušky tvrdosti dle Shoreho OMAG AFRR1 RT 13</i>	85
<i>Obr. 51. Porovnání Tvrdosti pro ABS při různých materiálech forem.....</i>	86
<i>Obr. 52. Porovnání tvrdosti pro PC při různých materiálech forem</i>	87
<i>Obr. 53. Porovnání tvrdosti pro PP/SV při různých materiálech forem</i>	88
<i>Obr. 54. Porovnání E_t pro vybrané vstřikované při různých materiálech forem</i>	89
<i>Obr. 55. Porovnání σ_m pro vybrané vstřikované při různých materiálech forem</i>	90
<i>Obr. 56. Porovnání ϵ_m pro vybrané vstřikované při různých materiálech forem.....</i>	91

<i>Obr. 57. Porovnání F_m pro vybrané vstříkované při různých materiálech forem</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 58. Porovnání A_{CU} pro vybrané vstříkované při různých materiálech forem</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 59. Porovnání tvrdosti pro polymery vstříkované při různých materiálech forem</i>	<i>95</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Rozdělení ocelí do tříd dle ČSN EN 10200 [9]</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 2. Význam čísla skupiny oceli dle EN 10027-2[10].....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3. Význam 4. a 5. Číslice Značení dle ČSN 42 0055 [9]</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 4. Význam písmen označujících skupinu materiálu dle ČSN EN 1412 [11].....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 5. Význam číslic v označení tvářeného hliníku a jeho slitin [11].....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 6. Rozměry zkušebního tělesa pro tahovou zkoušku [20].....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 7. Rozměry tělesa pro zkoušku rázové houževnatosti [23].....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 8. Chemické složení oceli ČSN 19 552 [24]</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 9. Fyzikální vlastnosti oceli ČSN 19 552 [24].....</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 10. Chemické složení Duralu EN 7075 [25].....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 11. Fyzikální vlastnosti duralu EN 7075 [25]</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 12. Fyzikální vlastnosti mědi ČSN 42 3001 [27]</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 13. Vlastnosti ABS HG-0760 použitého při vstřikování [28]</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 14. Vlastnosti PC R100X použitého při vstřikování [29]</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 15. Vlastnosti PP SYNTEGUM 1020 AFV/HMFL [30]</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 16. Podmínky sušení jednotlivých polymerů.....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 17. Vybrané parametry stroje Arburg 470 H [33]</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 18. Zpracovatelské podmínky při vstřikování [28, 29, 30].....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 19. Parametry testovacího stroje ZWICK ROELL 1456 [31]</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 20. Výsledky měření tahové zkoušky polymeru ABS.....</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 21. Výsledky měření tahové zkoušky polymeru PC.....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 22. Výsledky měření tahové zkoušky materiálu PP/SV.....</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 23. Výsledky zkoušky rázové houževnatosti materiálu ABS</i>	<i>80</i>
<i>Tab. 24. Výsledky zkoušky rázové houževnatosti materiálu PC</i>	<i>81</i>
<i>Tab. 25. Výsledky zkoušky rázové houževnatosti materiálu PP/SV</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 26. Výsledky zkoušky tvrdosti ShoreD materiálu ABS.....</i>	<i>86</i>
<i>Tab. 27. Výsledky zkoušky tvrdosti ShoreD materiálu PC</i>	<i>87</i>
<i>Tab. 28. Výsledky zkoušky tvrdosti ShoreD materiálu PP/SV</i>	<i>88</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- PI: Naměřené hodnoty tah ABS
- PII: Naměřené hodnoty tah PC
- PI III: Naměřené hodnoty tah PP/SV
- PI IV: Naměřené hodnoty Charpy ABS
- PI V: Naměřené hodnoty Charpy PC
- PI VI: Naměřené hodnoty Charpy PP/SV

PI I: Naměřené hodnoty tah ABS

Ocelová forma					Duralová forma					Měděná forma				
E _t [MPa]	R _m [MPa]	ε _m [%]	ΔL [mm]	R _b [MPa]	E _t [MPa]	R _m [MPa]	ε _m [%]	ΔL [mm]	R _b [MPa]	E _t [MPa]	R _m [MPa]	ε _m [%]	ΔL [mm]	R _b [MPa]
3180	48	1,8	4,6	39,1	2550	48	2,5	4,9	39,7	2410	49,1	2,6	4,9	42,7
3160	48	1,9	4,5	44,8	2080	48	2,7	4,7	39	2330	49	2,6	5	44,3
3210	48,1	1,9	4,5	42,7	2260	48,3	2,6	4,7	39,1	2070	48,3	2,6	5,2	41,1
3250	48	1,8	4,5	41,5	2250	48,4	2,6	4,7	40	2110	49,8	2,7	5,1	37,4
3320	47,9	1,8	4,5	40,3	2550	48,2	2,6	4,8	37,8	2230	49,1	2,6	5	43,9
3380	47,7	1,7	4,5	44	2110	48,1	2,6	4,9	40	2330	49,3	2,6	5,2	41,6
3350	48,3	1,8	4,6	43	2500	47,8	2,6	4,9	38,5	2390	49,3	2,6	5,2	41,3
3470	48,5	1,8	4,5	40,5	2100	47,7	2,7	5	39,7	2120	49,5	2,7	5	42,8
3460	47,5	1,8	4,5	36,6	2450	47,7	2,5	4,9	42,6	2190	49,5	2,6	5	40,8
3410	48	1,8	4,4	43,3	2700	48,6	2,6	4,7	40,7	2010	49,4	2,6	5	42,7
3140	48	1,8	4,5	43,4	2550	48	2,5	4,9	43,9	2420	49,3	2,6	5,1	44,7
3380	47,8	1,8	4,6	42,3	2420	47,9	2,5	4,8	41,9	2300	49,2	2,6	5,1	44,6
3230	47,6	1,8	4,5	44,2	2190	47,1	2,6	5	42,8	2090	48,8	2,6	5,2	46
3400	48	1,8	4,4	42,8	2460	48,5	2,6	4,8	42,1	2430	48,7	2,6	5,2	40,8
3280	48	1,8	4,5	45	2020	47,6	2,6	4,8	43,3	2060	49,3	2,6	4,9	41,7
3240	47,2	1,8	4,6	45	2100	47,6	2,6	5,1	40	2550	49,6	2,6	5,1	40,1
3400	47,7	1,8	4,6	41,9	2170	47,9	2,6	5	39,7	2110	49,3	2,7	5,2	39,9
3260	47,6	1,8	4,5	42	2160	47,4	2,7	5	38,3	2460	49,4	2,6	5	40,5
3270	48,1	1,8	4,5	42,9	2530	47,1	2,5	5,2	41,6	2160	49,5	2,6	4,9	45,3
3260	47,7	1,8	4,6	41,7	2670	46,5	2,5	5	40,4	1820	49,1	2,7	5,2	44,5
3530	48,7	1,8	4,5	41,5	2070	47,4	2,6	5,1	42,6	2030	49,3	2,7	5,1	40,9
3260	47,8	1,8	4,6	41,5	2320	47,7	2,5	4,8	42,5	2560	49,1	2,6	5,3	39
3410	48,4	1,8	4,5	42,4	2020	47,6	2,6	4,9	44,3	2560	49	2,6	5	41,1
3370	47,8	1,8	4,6	40,4	2040	47,1	2,6	4,9	43,6	2530	48,4	2,6	5,2	44,8
3260	47,8	1,8	4,5	44,2	2510	46,7	2,5	5,1	43,8	2550	48,3	2,5	5,2	44,4
3580	48,2	1,8	4,5	38,9	2530	47,7	2,6	4,7	41,9	2550	49,3	2,6	4,9	40,7
3390	47,9	1,8	4,6	37,1	2130	47,7	2,6	4,9	42,4	2480	48,4	2,6	5,1	45,1
3560	47,7	1,8	4,6	41,3	2870	46,3	2,5	5,2	44,9	2050	48,6	2,6	5,1	44,8
3530	48,3	1,8	4,6	40	2530	46,9	2,5	5	44,2	2350	50	2,7	5,1	41,9
3640	48,1	1,7	4,5	47,3	2100	47,4	2,5	5	44	2320	49,2	2,6	5,1	40,9

PI II: Naměřené hodnoty tah PC

Ocelová forma					Duralová forma					Měděná forma				
E _t [MPa]	R _m [MPa]	ε _m [%]	ΔL [mm]	R _b [MPa]	E _t [MPa]	R _m [MPa]	ε _m [%]	ΔL [mm]	R _b [MPa]	E _t [MPa]	R _m [MPa]	ε _m [%]	ΔL [mm]	R _b [MPa]
3780	61,2	4,2	8,2	46,5	2050	62,5	6,1	8,5	49,8	2220	63,2	6,1	8,2	49,1
3330	62	4,2	7,9	47,1	2080	62,4	6	8,2	48,6	2460	63,4	6,2	8,3	48,5
3590	62	4,2	7,9	50,7	2090	62,3	6,1	8,4	46,7	2270	63,1	6,2	8,2	48,1
3280	62,1	4,2	7,8	47,6	2260	62	5,7	7,9	48,4	2540	63,2	6,1	8,4	49,8
3220	62,2	4,3	8	46,4	2310	62,4	6	8,3	48,7	2210	62,6	5,9	8,2	50,2
3370	61,7	4,2	7,8	45,7	2750	62,5	6	8,2	49,1	2040	63	6,2	8,4	48,2
3890	62,2	4,1	7,8	49	2290	62,3	6,1	8,1	48,2	2280	63	6	8,3	47,2
3640	62,3	4,1	7,8	49,3	2250	62,4	6,1	8,1	46,3	2340	63,1	6	8,2	48,8
3230	61,9	4,2	7,9	46,9	2200	62,2	6	8	45,9	2270	63,3	6,2	8,4	50
3360	61	4,1	7,6	52,7	1980	62,5	6	8,2	49,5	2410	63,2	6,1	8,1	50,2
3430	62	4,2	7,9	55,9	2350	62,4	6,1	8,3	49,2	2270	62,4	6,1	8,3	47,3
3320	60,4	4,2	7,8	46,5	2200	62,3	6	8,3	48,5	2540	62,6	6,2	8,3	47,7
3480	61,7	4,1	7,8	45,4	2370	62,5	6,1	8,1	47,1	2190	63,2	6,1	8,1	49,4
3580	60,9	4,1	7,8	48	2470	62,6	6	8,3	48,1	2520	63,4	6	8,4	49,9
3570	62,3	4,1	8,1	47,2	2160	62,3	6	8,1	46,5	2290	63,2	6,1	8,4	48,5
3570	61	4,1	8,2	47,3	2190	62,3	6,1	8,4	49,5	2100	63,1	6	8,2	49,3
3680	61,5	4,1	7,8	46,8	2090	63	6,1	8,1	47,9	2440	63,1	5,9	8,4	50,6
3100	62,3	4,1	7,8	51,2	2140	62,3	6	8,1	49,3	2290	63,3	6	8,4	50,2
3410	61,4	4,1	7,8	47,5	2460	62,3	6	8,4	49,7	2320	63,1	6	8,4	50,1
3550	62,1	4	7,9	48,6	2210	62,2	6	8,3	48	2240	63,2	6,1	8,3	50,1
3590	60,6	4,1	7,9	45,7	2030	62,3	6	8,1	48,3	2710	62,7	6	8,4	49,5
3480	62,4	4,1	8,3	49,6	2190	62,4	6	8,2	47,9	2510	63,4	6,1	8,4	50,4
3430	61,2	4,1	7,8	46,7	2110	62,2	6	8,1	49,6	2240	63,2	6	8,4	48,9
3120	60,7	4,1	7,7	50,3	2300	62,5	6	8,1	46,1	2320	62,8	6	8,4	48,3
3460	61,2	4,1	7,8	46,9	1960	62,3	6,1	8,1	46,1	2520	63,1	6,1	8,1	49,1
3200	61,7	4,1	7,8	47,7	2030	62,2	6,1	8,1	49	2360	63	6	8,2	49,5
3400	61,4	4,1	7,8	48,5	1910	62,1	6	8,1	47,7	2270	63,2	6,1	8,4	46,4
3370	62	4,1	7,8	49	2140	62,1	6,1	8,1	47,3	2420	63,2	6,1	8,3	49,4
3200	61,6	4,1	7,7	47,8	2480	62,2	6	8,2	48,5	2440	63,2	6,2	8,3	50,1
3270	61,8	4,2	7,9	47,6	1990	62,2	6,1	8,1	47,5	2360	62,5	6,1	8,2	49,1

PI III: Naměřené hodnoty tah PP/SV

Ocelová forma					Duralová forma					Měděná forma				
E _t [MPa]	R _m [MPa]	ε _m [%]	ΔL [mm]	R _b [MPa]	E _t [MPa]	R _m [MPa]	ε _m [%]	ΔL [mm]	R _b [MPa]	E _t [MPa]	R _m [MPa]	ε _m [%]	ΔL [mm]	R _b [MPa]
3390	75,2	4,1	5,6	74,1	4620	76,7	2,8	5,8	76,4	4610	79,1	2,6	6	79,1
3240	76,8	4	5,7	76,5	4310	70,8	2,3	5,2	70,8	4920	77,1	2,5	6	73,9
3070	76,3	4,1	5,6	75,8	4800	72,5	2,3	5,4	72,5	5100	77,9	2,5	5,7	77,9
3270	76	4,2	5,6	75,8	5150	69,3	1,9	5	69,3	5190	71,9	2	5,3	71,9
3100	75,9	4,2	5,7	75,7	4880	67,5	2	5	67,5	4750	73,3	2,2	5,4	73,3
3510	75,9	4,2	5,7	75,7	5290	69,2	2	5,1	66,4	4540	75,9	2,4	6	75,9
3500	77,7	4,1	5,7	77,1	5070	69,5	2,3	5,4	67,6	5070	78,4	2,8	6	77,7
3120	75,6	4,1	5,6	75,6	5490	68,2	1,9	5,1	68,2	4740	76,2	2,7	5,8	76,2
3220	75,8	4,3	5,7	75,5	4720	68,3	2	5	68,3	4970	76,5	2,5	6,1	74,5
3200	75,1	4,3	5,7	74,7	4080	65,2	1,8	4,8	63	4750	77,5	2,8	6	77,1
2980	75,8	4,2	5,8	75,4	5270	65	1,7	4,8	65	5160	71,3	2	5,1	71,3
2910	76,1	4,2	5,7	75	5280	69,4	2	5	69,4	5380	76,8	2,4	5,5	76,6
3080	76,3	4	5,7	75,7	3870	67	1,9	4,9	67	5140	78,1	2,8	5,6	77,8
3610	75,4	4,2	5,7	75,2	4770	67,6	2	5,1	64,3	4420	73,2	2,1	5,3	73,2
3510	75,6	4,1	5,8	75,6	4250	68,1	2,2	5,2	68,1	5230	77,3	2,5	5,6	77,3
3040	75,5	4,1	5,8	75,3	4580	65,8	1,9	4,9	64,7	3980	76,9	2,4	5,9	76,9
3160	75,8	4,1	5,7	75,7	5190	70,9	2,1	5,3	70,9	5400	77,5	2,6	5,6	76,4
3190	75,4	4,1	5,7	75,1	5110	68,5	2	5	65,9	4620	77,5	2,6	5,7	75,2
3380	75,2	4,2	5,7	74,9	4300	67,9	2	5,2	67,9	5300	73,3	2,2	5,4	73,3
3130	75,6	4,2	5,7	75,5	5370	68,7	2	5,1	68,7	4850	70,5	1,9	5,2	67,9
3020	75,5	4,2	5,9	74,5	5120	66,5	1,9	4,9	66,3	3840	73,7	2,3	5,6	70,7
3430	74,6	4,2	5,7	74,4	5150	67,2	1,9	4,8	67,2	5050	70,2	2	5,3	70,2
2900	75	4,2	5,7	74,8	5020	71	2,2	5,1	71	4110	73,1	2,3	5,5	73,1
3080	76,2	4,2	5,8	75,7	5050	70,2	2,2	5,2	70,2	3910	74,4	2,4	5,8	74,4
2950	74,9	4,2	5,8	73,9	5500	68,6	2	5	66,7	5510	71,8	2,1	5,1	71,2
3060	75,7	4,2	5,9	75,2	4820	64,3	1,7	4,8	64,3	4950	70,8	2	5,1	70,8
3720	75,8	4,2	5,7	75,3	4050	65,8	2,1	5	65,8	4920	72,2	2,2	5,4	72,2
3140	75,3	4,3	5,7	74,8	5540	70,9	2,2	5,4	70,9	4440	72,9	2,3	5,5	72,9
3310	75,3	4,3	5,8	75	5750	69,9	2,2	5,3	69,9	4180	75,3	2,5	5,8	75,3
3440	75,6	4,3	5,9	71,7	5440	66,7	1,9	5	66,7	5120	66,9	1,8	5	66,9

PI IV: Naměřené hodnoty Charpy ABS

Ocel		Dural		Měď	
Fm[N]	A _{CU} [kJ.m ⁻²]	Fm[N]	A _{CU} [kJ.m ⁻²]	Fm[N]	A _{CU} [kJ.m ⁻²]
1674	58,98	1601	50,40	1694	50,31
1705	66,88	1610	47,45	1698	51,21
1652	78,13	1650	58,08	1727	51,44
1724	59,90	1712	66,66	1720	51,39
1738	78,42	1686	56,94	1682	51,16
1659	55,30	1691	48,80	1738	51,85
1656	61,99	1669	52,73	1739	51,66
1725	57,09	1683	54,21	1717	51,22
1617	56,30	1679	58,69	1744	55,93
1674	57,21	1673	48,18	1685	50,93
1634	63,20	1677	54,00	1662	50,70
1651	70,49	1671	57,66	1679	57,99
1646	62,80	1669	54,40	1674	50,30
1634	62,76	1676	62,12	1662	50,26
1651	62,94	1679	55,30	1679	50,44
1673	64,01	1684	58,78	1701	51,51
1754	69,32	1667	66,35	1782	68,07
1659	62,62	1679	52,50	1687	50,12
1672	63,70	1659	53,15	1700	51,20
1708	66,42	1683	48,38	1736	48,92
1693	64,18	1669	54,53	1721	51,68
1663	64,63	1672	53,57	1691	52,13
1712	71,56	1696	62,10	1740	59,06
1718	71,63	1696	62,15	1746	59,13
1700	61,50	1671	53,48	1728	44,00
1685	64,57	1676	54,24	1713	52,07
1698	76,56	1710	53,23	1726	59,06
1655	63,69	1694	60,01	1683	51,19
1754	73,07	1682	49,14	1782	63,07
1711	64,16	1667	53,95	1739	51,66

PI V: Naměřené hodnoty Charpy PC

Ocel		Dural		Měď	
Fm[N]	A _{CU} [kJ.m ⁻²]	Fm[N]	A _{CU} [kJ.m ⁻²]	Fm[N]	A _{CU} [kJ.m ⁻²]
1884	137,66	1824	124,99	1815	131,33
1920	123,95	1771	111,65	1838	115,23
1861	143,41	1770	95,62	1765	102,67
1894	123,01	1796	113,89	1869	114,63
1905	122,16	1805	124,42	1835	134,12
1882	125,19	1816	135,60	1844	129,33
1866	118,39	1830	114,61	1922	121,80
1916	124,98	1773	111,97	1876	114,73
1906	124,84	1778	147,22	1866	114,59
1920	126,33	1832	115,13	1880	116,08
1867	142,58	1788	133,15	1827	132,33
1932	126,88	1817	125,43	1892	116,63
1916	113,07	1847	115,88	1876	102,82
1847	130,95	1834	126,43	1807	120,70
1905	94,71	1884	117,93	1865	84,46
1881	133,04	1834	115,33	1840	122,79
1860	128,79	1821	128,13	1820	118,54
1871	141,38	1838	131,45	1831	131,13
1868	143,58	1870	134,06	1828	137,33
1859	122,19	1890	117,15	1819	111,94
1852	121,26	1855	151,34	1812	109,26
1889	145,78	1865	118,09	1848	137,78
1885	138,60	1847	131,21	1844	128,35
1912	144,68	1888	140,68	1871	134,43
1890	142,91	1831	125,91	1850	132,66
1859	122,19	1876	129,37	1819	111,94
1895	147,24	1835	126,97	1855	138,99
1883	143,42	1863	144,91	1843	133,17
1917	144,83	1876	130,43	1877	134,58
1879	123,07	1808	116,35	1839	112,82

PI VI: Naměřené hodnoty Charpy PP/SV

Ocel		Dural		Měď	
Fm[N]	Acu[kJ.m ⁻²]	Fm[N]	Acu[kJ.m ⁻²]	Fm[N]	Acu[kJ.m ⁻²]
2353	54,12	2200	50,81	2176	55,22
2365	52,67	2265	56,24	2290	66,42
2371	55,06	2300	55,39	2272	66,00
2365	54,31	2273	56,81	2207	58,87
2471	66,00	2294	62,52	2233	53,66
2284	65,08	2269	62,58	2273	62,18
2359	53,12	2280	56,75	2263	63,70
2325	55,68	2277	51,93	2218	59,26
2371	64,47	2253	55,90	2252	52,14
2365	63,66	2099	51,23	2231	61,57
2437	54,75	2260	61,39	2116	46,77
2241	52,14	2284	63,06	2253	49,58
2436	65,43	2294	56,55	2263	56,18
2345	53,30	2263	58,93	2249	62,78
2351	54,66	2279	53,01	2230	53,61
2390	54,85	2272	54,15	2303	65,63
2284	58,13	2367	52,23	2231	62,03
2270	63,18	2299	53,86	2196	60,68
2240	52,32	2223	53,73	2198	56,07
2351	54,97	2292	53,06	2340	64,10
2323	66,02	2345	61,83	2249	58,52
2385	67,58	2304	61,85	2311	60,08
2373	64,46	2332	58,42	2299	61,96
2330	61,77	2204	55,19	2256	54,27
2380	64,34	2286	57,67	2306	66,84
2397	67,29	2344	57,77	2323	59,79
2377	66,46	2267	53,84	2303	58,96
2342	67,24	2283	65,17	2268	64,74
2397	67,09	2100	52,51	2323	59,59
2326	64,91	2035	42,37	2252	57,41

PI VII: Naměřené hodnoty tvrdosti

ABS			PC			PP/SV		
Ocel	Dural	Měď	Ocel	Dural	Měď	Ocel	Dural	Měď
Tvrđost [ShD]	Tvrđost [ShD]	Tvrđost [ShD]	Tvrđost [ShD]	Tvrđost [ShD]	Tvrđost [ShD]	Tvrđost [ShD]	Tvrđost [ShD]	Tvrđost [ShD]
73,2	72,8	73	76,4	76,2	76	70,2	69	70,3
73,2	73,4	72,9	76,9	75,7	75,8	70,3	68,5	70
73,6	73,1	73,2	77,3	76,3	76,7	70,1	68,3	70,4
74,1	74,2	72,7	76,6	75,7	76,1	70	69,1	70,3
74	74,9	73,4	77	76,8	78,2	70,5	67,7	70,2
74	73,2	72,1	77,5	75,7	76,5	70	68,5	69,3
74	74	72	76,8	75,6	78,3	70,1	69	69,4
74	73,3	72,6	77	76,3	76,7	70	68,6	69,8
74,2	72,8	72,2	77,1	75,7	77,2	69,8	68,3	69,9
73,9	72,9	72,4	77	76	77	70,2	69	69,7
75	73,2	71,9	76,5	76,7	77,3	69,9	69,9	68,9
73,5	73,5	71,8	77,1	76,6	76,5	70,5	68,8	69
74	73,6	73,6	77,3	77,1	77,1	70,2	69,1	69,2
73,9	73,7	72,2	78,3	77	76,4	69,7	68,9	68,9
73,7	73,8	72,3	76,8	76,5	76,9	69,9	69,2	70,3
73,8	74,1	72,9	78	76,6	78	69,7	69,7	68,9
74,6	73,3	71,9	77,9	77,2	77,1	70	68,9	69
73,2	73,6	72,8	78,2	77,3	77,1	70,1	69,2	69,5
73,9	74,1	72,1	78,3	75,8	76,5	69,7	69,5	69
73,7	72,7	72,3	78,2	78,1	77,2	69,2	68,7	69,5
73,8	72,6	72,8	78,2	76,5	76,8	69,7	67,9	69,8
74,6	72,3	73,2	77,7	76,7	77,5	70,6	69,1	69,9
73,2	72,9	72,3	77,3	76,9	76,3	70,3	69	70,1
73,9	73,2	72,6	77,9	77,2	75,9	70,4	68,4	69,1
74,3	74	73,1	77,1	76,2	76,1	69,8	67,9	69,2
74,1	73,9	72,5	77,5	76,4	76,3	70	68,5	70,3
74,3	72,6	72,8	77,1	76,6	76,2	70,4	67,9	69,9
73,9	73,7	73,4	77,2	75,8	76,8	69,8	68,3	69,8
73,4	72,3	72,9	77,3	75,6	77,1	69,2	68,7	69,3
74,2	73,2	72,5	77	77,3	77,2	70,2	69,2	70,2