

Návrh materiálu palivového systému

Bc.Petr Holub

Diplomová práce
2011/2012

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr HOLUB**
Osobní číslo: **T10751**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Návrh materiálu části palivového systému**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část**
- 3. Provedení experimentu**
- 4. Vyhodnocení naměřených výsledků**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. David Maňas, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno:

Obor:

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⁾ 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 nevydělečně 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 nahlížení 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 vzdělávacímu 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

Diplomová práce se zabývá nalezením vhodné materiálové alternativy pro díl palivového systému, který se vyrábí z termoplastů pomocí technologie vstřikování. Jako případová studie byla vybrána problematika výroby dílu na bázi polyfenylsulfidu, kde vlivem velkého obsahu plniva v materiálu dochází k nadměrnému opotřebení vstřikovacích forem a plastifikačních komor vstřikovacích strojů, které v konečném důsledku vedou ke značné nestabilitě výrobního procesu. Řešením stávající situace je nalezení vhodné materiálové alternativy, která umožní zachování všech požadovaných mechanických vlastností dílu vyráběného z původní suroviny a zároveň nabídne lepší zpracovatelnost v rámci technologie vstřikování.

Klíčová slova: vstřikování, Polyfenylsulfid, PA , síťování

ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is to find suitable material alternative for a fuel system component which is made of thermoplastics, using the injection moulding technology. For the case study I selected the problems faced during the production of the component based on polyphenylene sulphide, where the big content of the filling agent results in an excessive wear of injection moulds and plastification chambers of injection moulding machines, which in the end leads to a very instable production process. The solution of the existing problem is to find suitable material alternative, which will enable to retain all the required mechanical properties of the component made from the original raw material and at the same time it will enable better processibility in the injection moulding technology.

Key words: injection, polyphenylene sulphide PA, radiation

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Davidu Maňasovi Ph.D. za pomoc a cenné rady při vypracování mé práce. Mé zvláštní poděkování patří Ing. Michaelovi Staňkovi Ph.D za pomoc při vstřikování zkušebních tělísek. Také bych chtěl poděkovat Ing. Michalovi Daňkovi za připomínky a poskytnutí studijních materiálů. Dále mé poděkování patří firmě PTS Plastic Technologie Servis za vzorky zkušebních materiálů a firmě BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG za provedení ozáření těchto materiálů.

Prohlašuji, že jsem na vypracování této diplomové práce pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne 5.5.2012

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POPIS VÝROBKU	12
1.1 MOTIVACE PRO VÝVOJ VÝROBKU	13
1.2 TECHNICKÉ PARAMETRY VÝROBKU	14
1.3 FUNKČNÍ SCHÉMA VÝROBKU	15
1.3.1 Funkce výrobku v režimu Bypass	16
1.3.2 Funkce výrobku v chladícím režimu	17
1.4 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	18
1.4.1 Výchozí materiály pro mechanické zpracování plastů.....	18
1.4.2 Vstřikovací stroje.....	19
1.4.2.1 Vstřikovací jednotka	20
1.4.2.2 Uzavírací jednotka	27
1.4.2.3 Rám stroje	31
1.4.2.4 Vstřikovací formy	31
1.4.3 Vstřikovací proces	40
1.5 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU VÝROBKU	44
1.5.1 Vlastnosti a složení PPS	44
1.5.2 Materiálový list	45
1.6 OZAŘOVÁNÍ MATERIÁLU	47
1.6.1 Sítování.....	48
1.6.2 Rozdíly mezi elektronovým beta zářením a zářením gama.....	49
1.6.3 Měrné jednotky používané u ionizačního záření.....	52
1.6.4 Radiačně sítovatelné polymery	53
1.6.5 Zlepšení vlastností plastů.....	54
1.6.6 Ovlivnění přilnavosti matrice k vláknům pomocí ozáření.....	57
1.6.7 Použití ionizačního záření v praxi	59
II PRAKTICKÁ ČÁST	60
2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	61
2.1 ALTERNATIVNÍ MATERIÁLY	62
2.2 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES PRO PROVEDENÍ MATERIÁLOVÝCH ZKOUŠEK	67
2.2.1 Vstřikovací data / parametry vstřikovacího procesu.....	68
2.3 RADIAČNÍ ZESÍŤOVÁNÍ	70
2.4 ZKOUŠKA PEVNOSTI V TAHU	72
2.4.1 Statistické vyhodnocení naměřených dat.....	73
2.4.2 Výsledky a vyhodnocení zkoušek pevnosti v tahu.....	74
2.5 ZKOUŠKA VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	85
2.5.1 Výsledky a vyhodnocení zkoušek vrubové houževnatosti	86

2.6	VOLBA ALTERNATIVNÍHO MATERIÁLU NA ZÁKLADĚ PROVEDENÝCH ZKOUŠEK.....	93
2.7	POPIS VÝROBNÍ LINKY	98
2.8	ANALÝZA VÝROBNÍHO PROCESU S NASAZENÍM MATERIÁLU PPS	99
2.9	NÁVRH OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU	102
2.10	ÚPRAVA VNITROPODNIKOVÉ LOGISTIKY PRO VÝROBU S NASAZENÍM PA.....	102
ZÁVĚR		106
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		107
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		109
SEZNAM OBRÁZKŮ		110
SEZNAM TABULEK		113

ÚVOD

Od počátku devadesátých let minulého století náleží podstatné místo ve vývoji výrobků v automobilovém průmyslu termoplastům, které výborně splňují požadavky z hlediska nízké pořizovací ceny a zároveň dobré zpracovatelnosti během výroby koncového produktu. Především díky velkým možnostem ve výběru polymerních materiálů lze nalézt vždy takový druh materiálu, který bude mít pro danou aplikaci nejvhodnější vlastnosti. Mnohé v minulosti často používané kovové sestavy exteriéru a interiéru vozů jsou postupně nahrazeny výrobky z plastů, pro jejichž výrobu se používá tradičních tvářecích technologií.

Jednou z nich je vstřikování plastů, díky kterému vzniká velmi široké a rozmanité spektrum vyráběných komponentů. Trendem posledního desetiletí je nasazení polymerních materiálů v sestavách motorových jednotek, kde v minulosti hrály prvořadou roli kovy. Příkladem tradičních kovových motorových elementů jsou např. napínací kladky rozvodových řemenů, oběžná kola vodních pump, olejové vany a části palivových systémů.

Provedeme-li srovnání užitečných vlastností kovů a plastů, tak často dojdeme k závěru, že rozvoj plastikářské technologie umožňuje pokroková konstrukční řešení, která výrazně snižují hmotnost a zároveň velmi zvyšují nabízený komfort pro koncového uživatele automobilů. V neposlední řadě hraje samozřejmě výraznou roli i cena, protože výroba z plastů není energeticky a zpracovatelsky tak náročná, jako hutní prvovýroba a následná konvenční výroba kovových komponent.

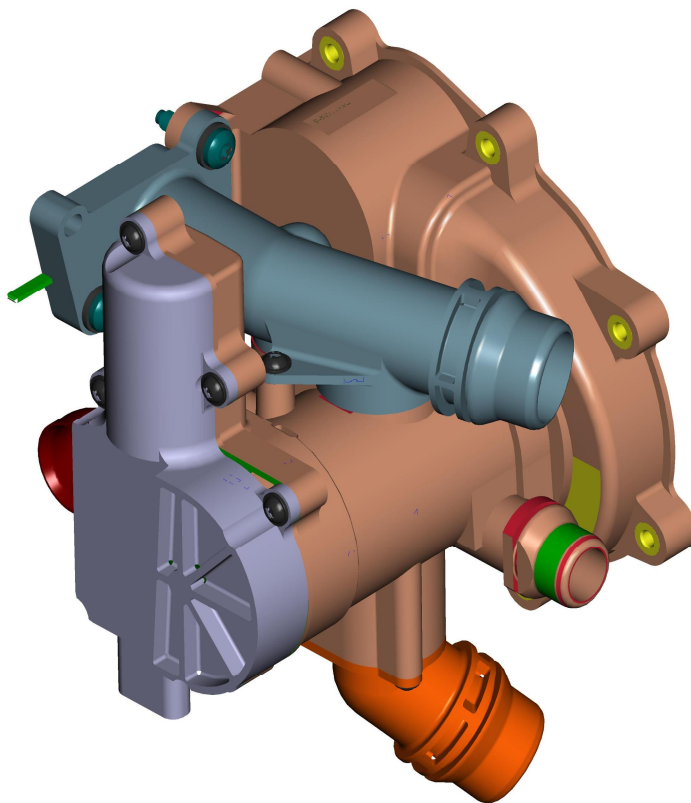
Z výše uvedeného vyplývá, že tradiční polymerní materiály budou podrobovány stále vyšším nárokům na jejich mechanickou a chemickou odolnost. Jednou z cest, jak povýšit tuto skupinu plastů do oblasti konstrukčních polymerů je ozařování, které způsobí vytvoření chemických vazeb v materiálu tzv. sítěvání.

V následujícím textu bude podrobně popsán proces vstřikování plastů včetně vlastností zpracovávaných materiálů. Závěrem bude popsáno řešení vzniklého problému a vyčíslení případných dosažených úspor vyplývajících ze stanovené optimalizace procesu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POPIS VÝROBKU

ThermoManagement = účinné řízení proudu látek a tepla vznikajícího v motoru automobilu podle aktuálního provozního stavu.(závislé na výkonu)

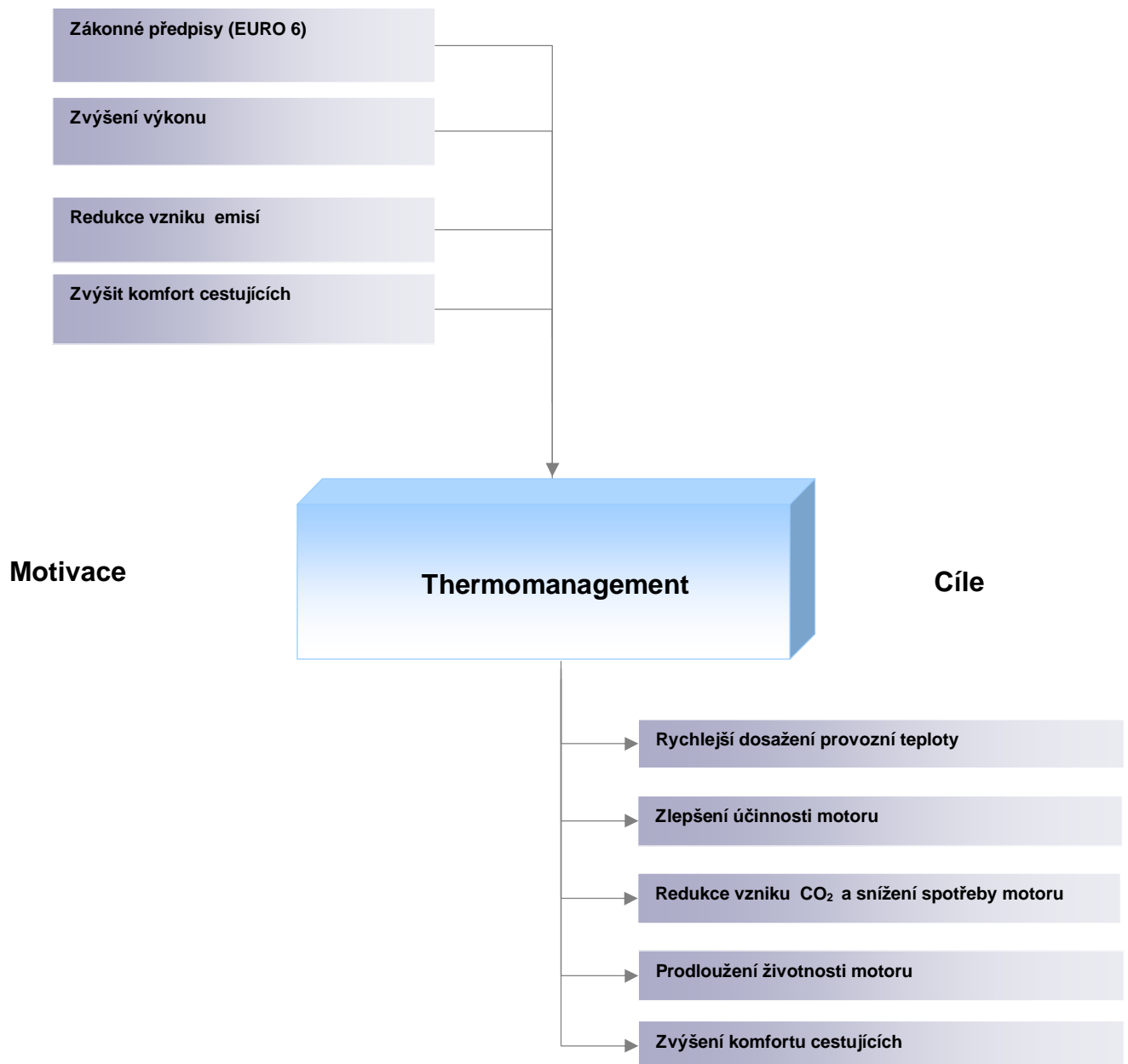


Obrázek 1:Thermomanagement Modul [1]

Tento výrobek zabezpečuje účinný odvod tepla z motoru a zároveň jeho následné využití pro vyšší komfort cestujících v automobilu. Zvláštní výhodou je rychlejší ohřev motoru ve „studeném“ pracovním režimu, kdy dosáhneme výrazně kratší doby pro ohřev oleje na potřebnou provozní teplotu. V opačném případě, kdy se výkon motoru blíží maximálních hodnot, dosáhneme pomocí tohoto zařízení výrazného zvýšení chladícího výkonu, který v konečném důsledku vede k výrazné úspoře paliva.

1.1 Motivace pro vývoj výrobku

Tabulka 1: Motivace pro vývoj výrobku [1]



1.2 Technické parametry výrobku

Nasazení výrobku

- ▶ Motory 1.8 + 2.0L Turbo FSI

Funkce

- ▶ Regulace průtoku
- ▶ Rozdělení objemového proudu

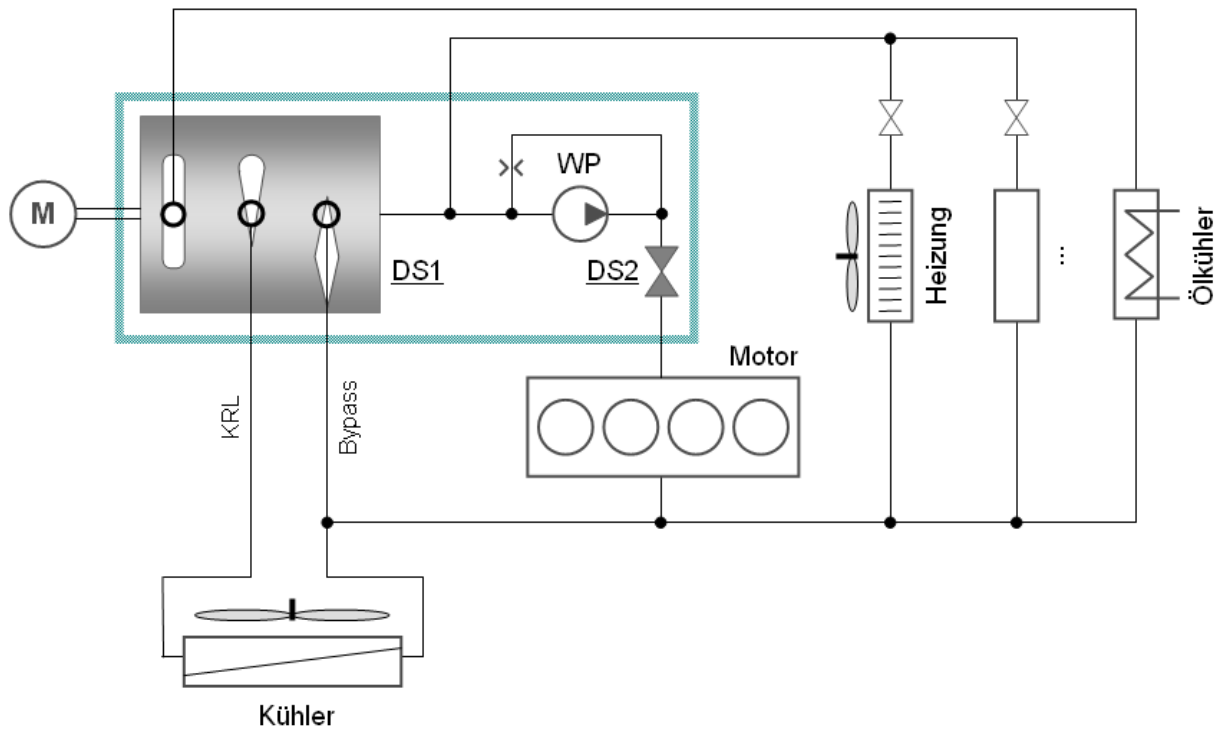
Provozní podmínky

- ▶ Místo zabudování Motor, "studená" strana
- ▶ Pracovní médium Směs voda - nemrznoucí směs
- ▶ Provozní teplota -40 do 135°C
- ▶ Pracovní tlak 0,01 do 4,6bar abs.
- ▶ Regulační pásmo 0 do 180 Ltr./min

Obecné informace

- ▶ Úspora CO₂ ca. 3,5%

1.3 Funkční schéma výrobku

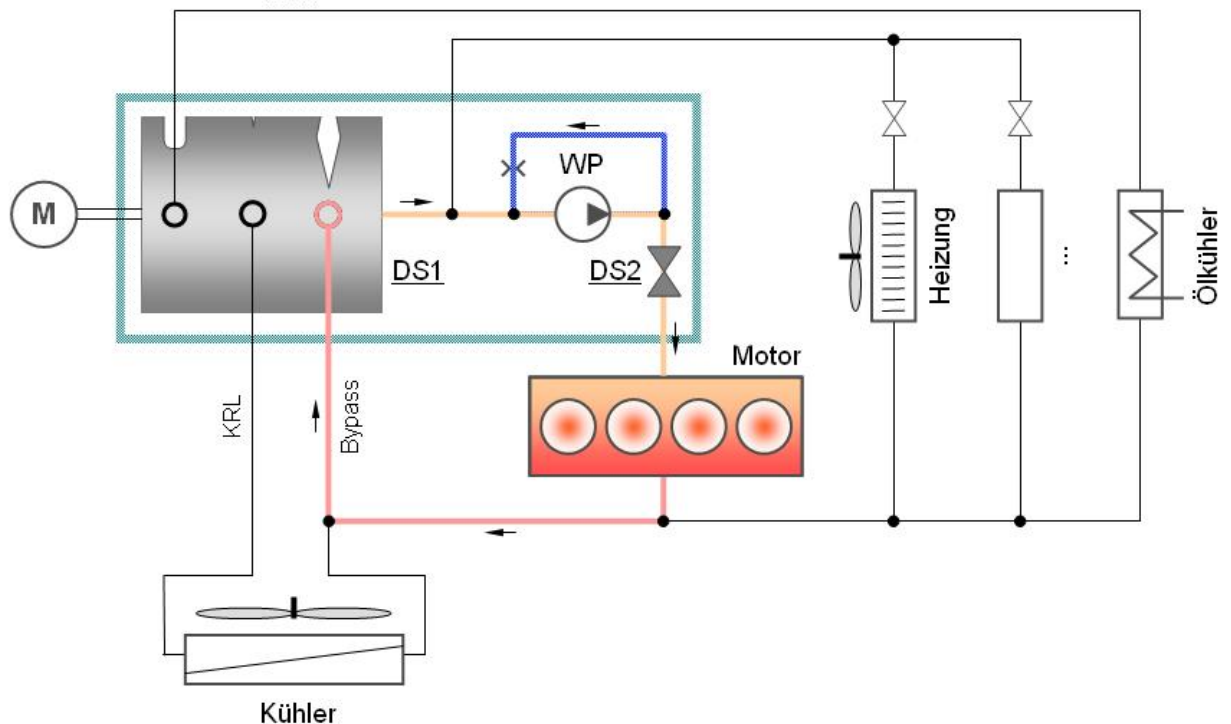


Obrázek 2:Obecné schéma výrobku [1]

Funkční schéma znázorňuje celý chladicí systém automobilu, který se skládá z bloku motoru , topení, chladiče oleje a náporového chladiče pro odvod přebytečného tepla z automobilu. Výrobek se skládá z pláště, ve kterém jsou namontovány dva uzavírací ventily DS1 a DS 2.

Pomocí ventilu DS 2 dosahujeme plynulé regulace průtoku chladícího média v rozsahu 0-180l/min. Funkce DS1 spočívá v zapojení režimu „Bypass“ a po dosažení předepsané teploty aktivaci „velkého“ chladícího okruhu. Celé zařízení má vlastní motorovou jednotku pro natáčení uzavíracích ventilů DS1 a DS 2 v rozsahu 0-270°

1.3.1 Funkce výrobku v režimu Bypass

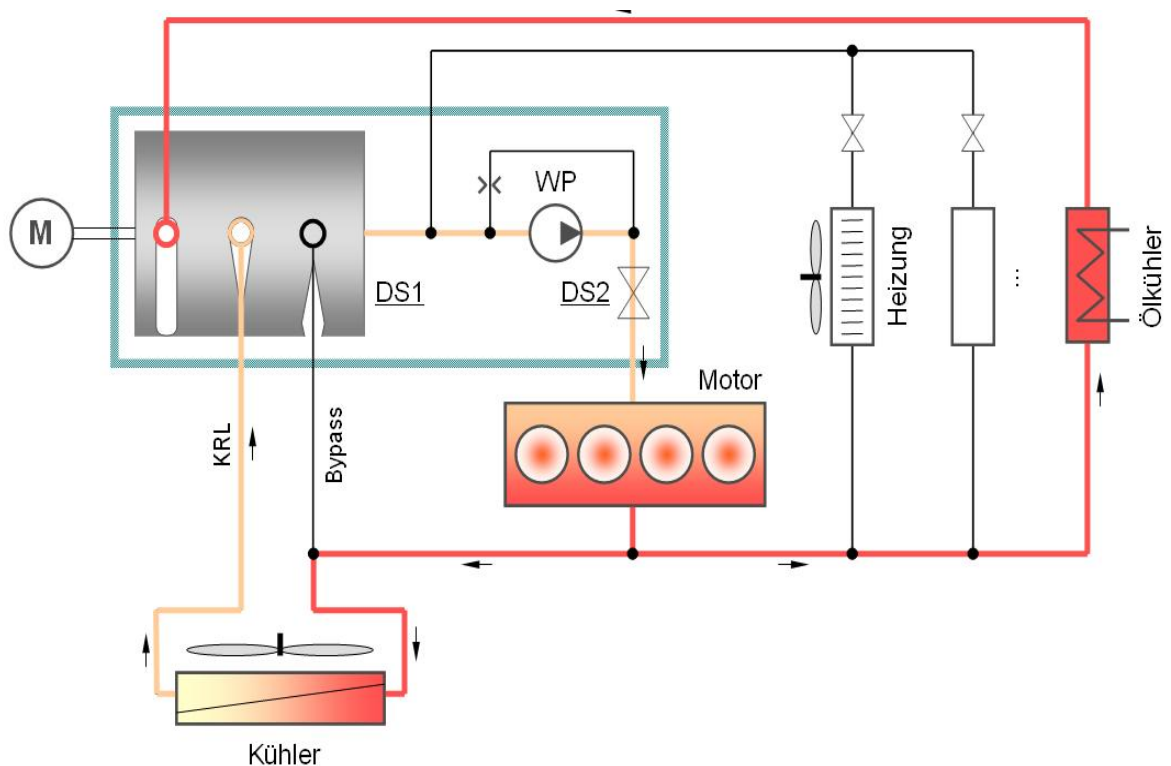


Obrázek 3: Funkce Bypass [1]

Pomocí režimu Bypass dosáhneme oddělení chlazení motorové jednotky od zbytku chladícího okruhu. Tím dosáhneme rychleji provozní teplotu motoru, která v konečném důsledku vede k výraznému snížení spotřeby paliva. V zásadě jde o rychlejší dosažení předepsané viskozity oleje, která zabezpečí výrazné snížení tření ve všech uloženíh motoru a tím dojde ke snížení spotřeby energie, která je potřebná pro pohyb automobilu.

Druhým pozitivním efektem této funkce je zvýšení životnosti motoru, protože dosáhneme výrazně kratší doby, po kterou motor běží ve „studeném“ provozním stavu a dochází tedy ke zvýšenému opotřebení ve všech otočných uloženíh spalovacího prostoru motoru.

1.3.2 Funkce výrobku v chladícím režimu



Obrázek 4: Funkce výrobku v chladícím režimu [1]

Pomocí uzavíracího ventilu DS 1 se uzavře průtok vody v Bypassu a zároveň se aktivuje maximální průtok vody pomocí DS 2 ve velkém chladícím okruhu. Zásadní rozdíl mezi běžnou konstrukcí chlazení s využitím termostatu spočívá v tom, že pomocí kulového uzavíracího ventilu DS 2 dosáhneme výrazně vyššího průtoku chladícího média a tím intenzivnější odvod tepla z bloku motoru.

V absolutních hodnotách se sníží provozní teplota motoru při maximálním výkonu na úroveň 90 °C, která zabezpečí nemožnost degradace oleje vlivem vysoké teploty bloku motoru a tím dosáhneme zvýšení životnosti motoru.

1.4 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nejčastěji používaná technologie k výrobě plastových výrobků v plně automatickém režimu. Využívá se při masové výrobě výrobků a zároveň pro výrobu náročných technických prvků. S využitím technologie vstřikování plastů mohou být vyráběny malé díly jako jsou např. ozubená kola do hodinek, ale také velkoobjemové výrobky např. popelnice nebo nárazníky automobilů. Ve většině případů není nutná následné opracování výrobku .

Vstřikování zahrnuje plastifikaci práškových nebo granulovaných materiálů, které se za velké rychlosti a tlaku vpraví do dutiny formy, kde dojde ke zchlazení taveniny a následnému odformování výrobku. Všechny potřebné kroky pro výrobu jednoho dílu se periodicky opakují a tvoří opakující se cyklus s pevným vstřikovacím časem.

1.4.1 Výchozí materiály pro mechanické zpracování plastů

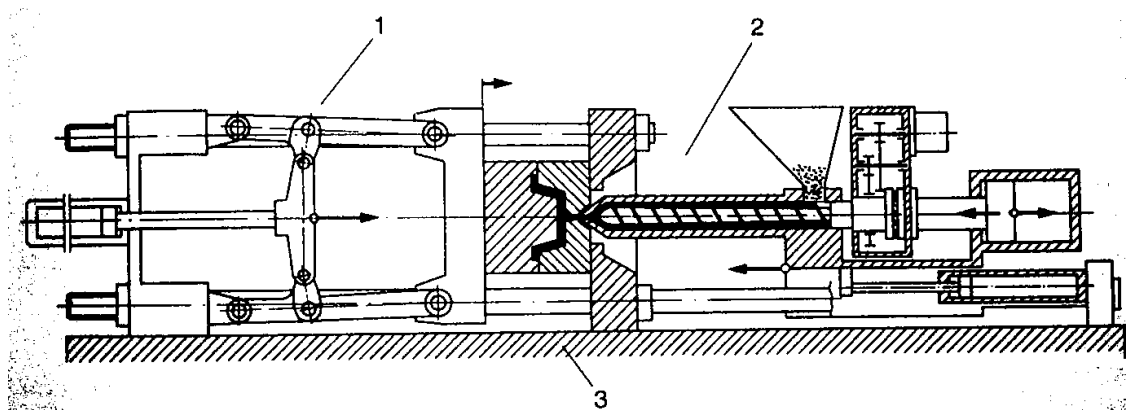
vstřikováním zpracováváme materiály práškového a granulovaného charakteru. Pomocí odpovídající výbavy strojů lze vstřikovat :

- a) **Termoplasty**
- b) **Duroplasty**
- c) **Elastomery**

Termoplasty se za zvýšené teploty stávají plastickými a mohou být opakovaně zpracovávány. Obvykle se vyrábí a dodávají v surovém stavu, obarvené, zesílené příměsí plniv nebo jinými přísadami.

Duroplasty a elastomery pomocí působení tepla zesílují a jsou opakovaně netavitelné. [2]

1.4.2 Vstřikovací stroje



Obrázek 5: Stavební díly vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroje jsou zařízení, pomocí kterých vyrábíme z plastických hmot diskontinuálně vstřikované výrobky. Materiál se bezprostředně po plastifikaci vpraví pomocí vtokového systému do dutiny formy, kde se zchladí a rozměrově stabilizuje. [4]

Základní stavební díly vstřikovacího stroje (obr.5) :

- 1) Uzavírací jednotka
- 2) Vstřikovací jednotka
- 3) Rám stroje

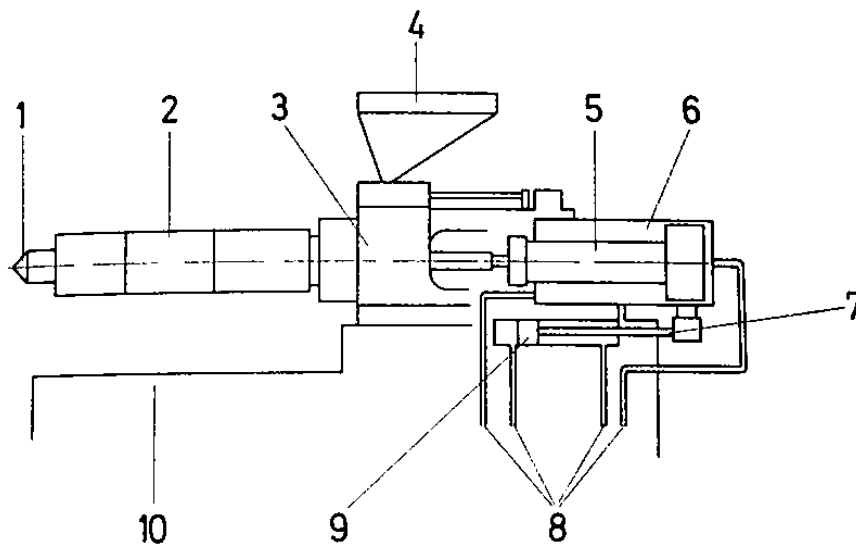
1.4.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka se v podstatě skládá z vytápěného plastifikačního válce, rotujícího šneku, který působí ve směru trysky jako píst ke vstřikování hmoty a zároveň při následném rotačním pohybu plastifikuje další hmotu a pomocí zpětného tlaku taveniny před čelem šneku se pohybuje do výchozí pozice.

Jako pohonné jednotky pro otáčení šneku se používají elektro nebo hydromotory. Axiální pohyb šneku zajišťuje píst hydraulického systému. [2]

Úkoly vstřikovací jednotky jsou :

- navést materiál do válce pomocí otáčení šneku přes násypku materiálu
 - dopravovat materiál pomocí otáčení šneku ve směru vstřikovací trysky
 - plastifikovat materiál frikčním teplem a přívodem tepla pomocí otopných pásů
 - dávkovat potřebné množství materiálu. Z důvodu vzniku tlaku před plastifikačním šnekem je šnek tlačěn zpět ve směru násypky materiálu. Po dosažení potřebné dráhy šneku (objemu materiálu) se zastaví rotace šneku.
 - vstříknout hmotu do dutiny formy. Během vstřiku působí šnek jako hydraulický píst.
- [2]



Obrázek 6:Plastifikační jednotka vstřikovacího stroje

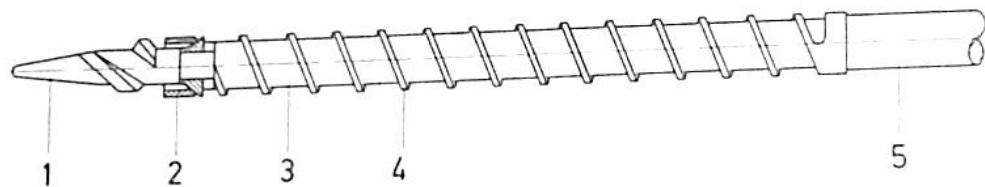
- 1) Tryska
- 2) plastifikační válec
- 3) převodovka
- 4) násypka
- 5) hydraulický válec pro pohyb šneku v axiálním směru
- 6) hydraulický válec
- 7) hydraulický válec pro pohyb trysky
- 8) přívody hydraulického oleje
- 9) hydraulický válec pro pohyb trysky
- 10) rám stroje

Násypka obsahuje zpracovávaný materiál, který musí být v sypkém stavu. Pro materiály, které musí být před zpracováním sušeny (např. PC, PMMA, ABS) , se může použít vytápěná násypka materiálu. Při zpracovávání elastomerů je násypka ještě dodatečně vybavena

ucpávkou. Násypka bývá zpravidla opatřena průzorem, aby obslužný personál měl přehled o množství materiálu v násypce.

Plastifikační šnek má za úkol zpracovávaný materiál dopravovat, plastifikovat a homogenizovat. Univerzální plastifikační šnek ke zpracování běžných materiálů je tzv. třízonový šnek, rozdělený na vstupní, kompresní a tlakovou část. Moderní univerzální šneky mají délku rovnající se 20-ti násobku průměru šneku. Stoupající nároky na plastifikované množství a homogenitu taveniny a zároveň vysokou odolnost proti mechanickému opotřebení jsou trendem dnešní doby. Tyto šneky jsou použitelné pro všechny druhy termoplastů mimo PVC. Delší univerzální šneky uchrání materiál před poškozením vlivem příliš dlouhých časů setrvání ve válci a před termickým a mechanickým zatížením.

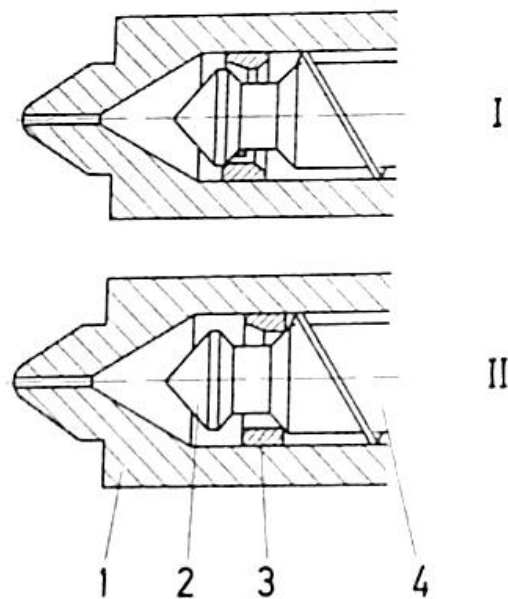
20-D šneky poskytují zároveň téměř ve všech případech dostatečný plastifikační výkon. V případě potřeby, kdy musí být tavenina obzvláště intenzivně homogenizována, nasazujeme šneky s míchací částí (např. při barvení materiálu přímo na stroji). Šneky s míchacím dílem nasazujeme v první řadě pro zpracování polyolefinů. [2]



Obrázek 7: Univerzální plastifikační šnek

- 1) špiče šneku
- 2) uzavírací kroužek
- 3) jádro šneku
- 4) stěna šneku
- 5) unášecí část šneku

Uzavírací kroužek zamezí při vstřiku taveniny zpětnému toku taveniny do šroubovice šneku. Zpětný kroužek zlepšuje působení pístu při vstřikování. Většina termoplastických vstřikovacích strojů je vybavena v první linii kruhovým uzavíracím kroužkem. [2]



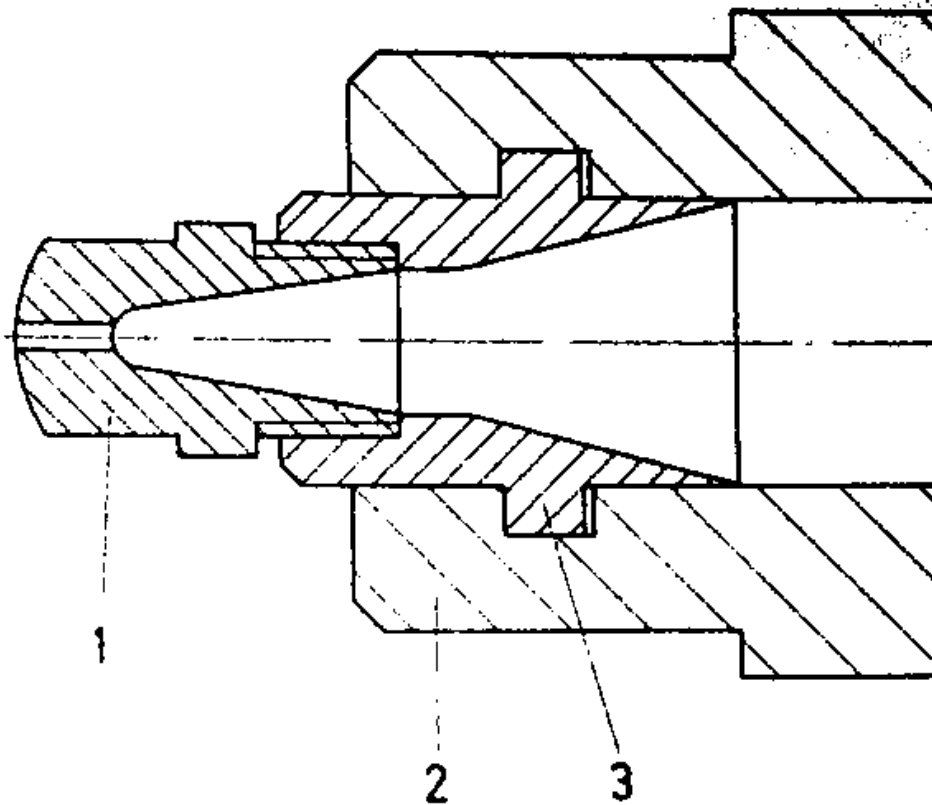
Obrázek 8: Uzavírací kroužek šneku

- I. Pozice kroužku během plastikace
- II. Pozice kroužku během vstřikování a dotlaku

- 1) Plastifikační válec
- 2) špice šneku
- 3) Uzavírací kroužek
- 4) šnek

Tryska tvoří při vstřikování spojení mezi formou a vstřikovací jednotkou. Tryska se na plastifikační válec upevňuje pomocí závitů v tělese trysky popř. pomocí rychloupínacího systému. Tokový kanál trysky má být konstruován tak, že v trysce nevznikne nežádoucí turbulentní proudění. Uzavírací tryška musí během vstřikovacího cyklu velmi dobře lícovat s vtokovou vložkou formy, aby nemohlo docházet k nežádoucímu úniku taveniny. Při konstrukci trysky si musíme dát v zásadě pozor, aby rádius trysky byl menší, než rádius vtokové vložky a zároveň průměr vrtání trysky musí být menší, než je průměr kanálu vtokové vložky.

Podle zpracovávaného materiálu používáme rozdílné druhy konstrukce vstřikovacích trysek. Trysky rozdělujeme na **otevřené** a **uzavíratelné**. [2]

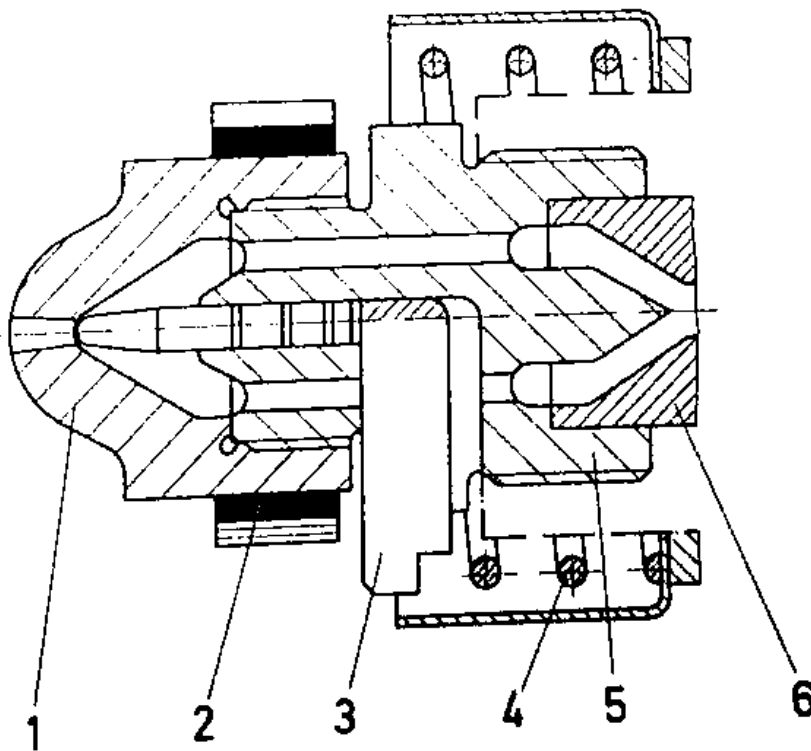


Obrázek 9: Otevřená vstřikovací tryška

- 1) Otevřená tryška
- 2) Plastifikační válec
- 3) Rychloupínací závěr

Otevřené trysky se nasazují tehdy, pokud zpracováváme materiál s vysokou viskozitou a nedochází při nabírání hmoty k výronu taveniny z trysky. Prostřednictvím možnosti dekomprese můžeme ve velké většině aplikací použít reologicky výhodnou otevřenou trysku. Při zpracovávání některých plastických hmot musí být použita otevřená tryska, aby uvolňující se plyny mohly volně unikat. (např. PVC nebo POM)

Uzavíratelné trysky je nutné použít tehdy, pokud zpracováváme nízko viskózní materiál. Typickým případem uzavíratelné trysky je její jehlová verze. [2]

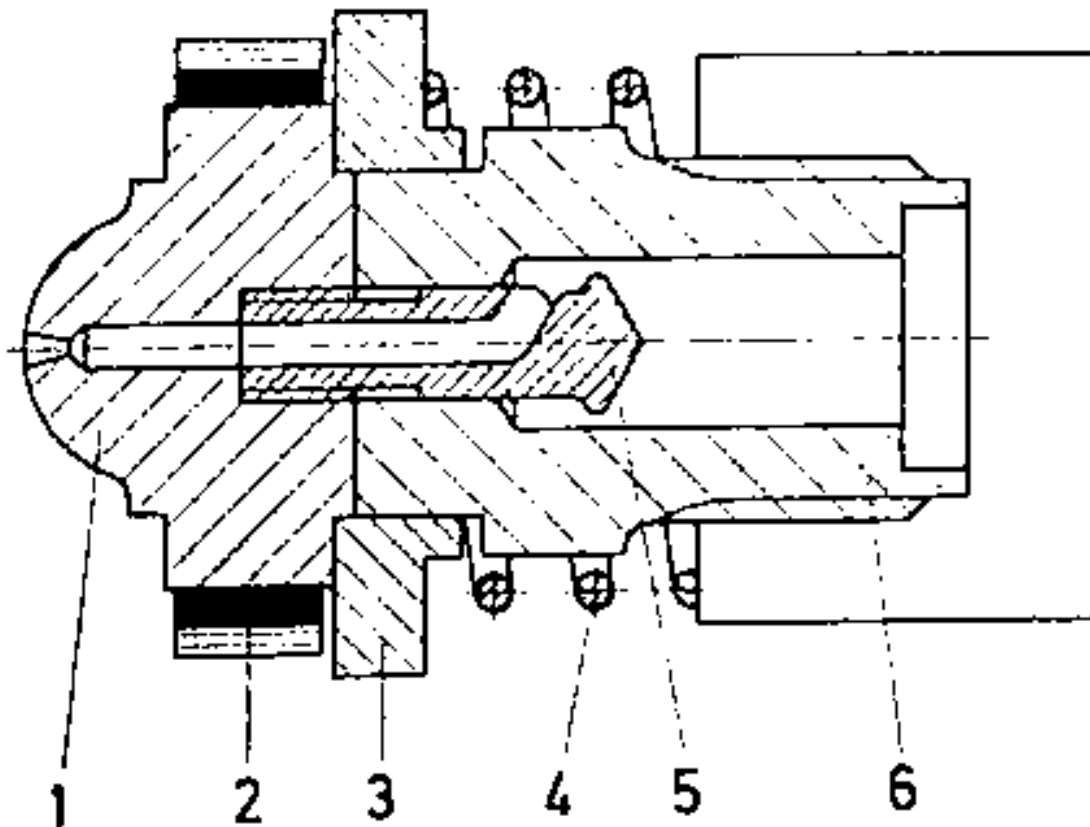


Obrázek 10:Jehlová uzavírací tryska

- 1) Tryska
- 2) Topení
- 3) Pružinový můstek
- 4) tlaková pružina
- 5) Plášť ventilu s jehlou
- 6) Přejížděvací kus

Jehla trysky uzavírá pomocí tlakové pružiny sedlo v tělese trysky, takže nemůže unikat žádná tavenina z trysky. Vystavením vstřikovacího tlaku na kuželovou plochu trysky dosáhneme pohybu proti tlaku pružiny a tryska se otevře. [2]

Další alternativou uzavíratelné trysky je **šoupátková uzavírací tryska**



Obrázek 11: Šoupátková uzavírací tryska

- 1) Tryska
- 2) Topení
- 3) Tlakový kroužek
- 4) Tlaková pružina
- 5) Těleso ventilu
- 6) Uzavírací hlava

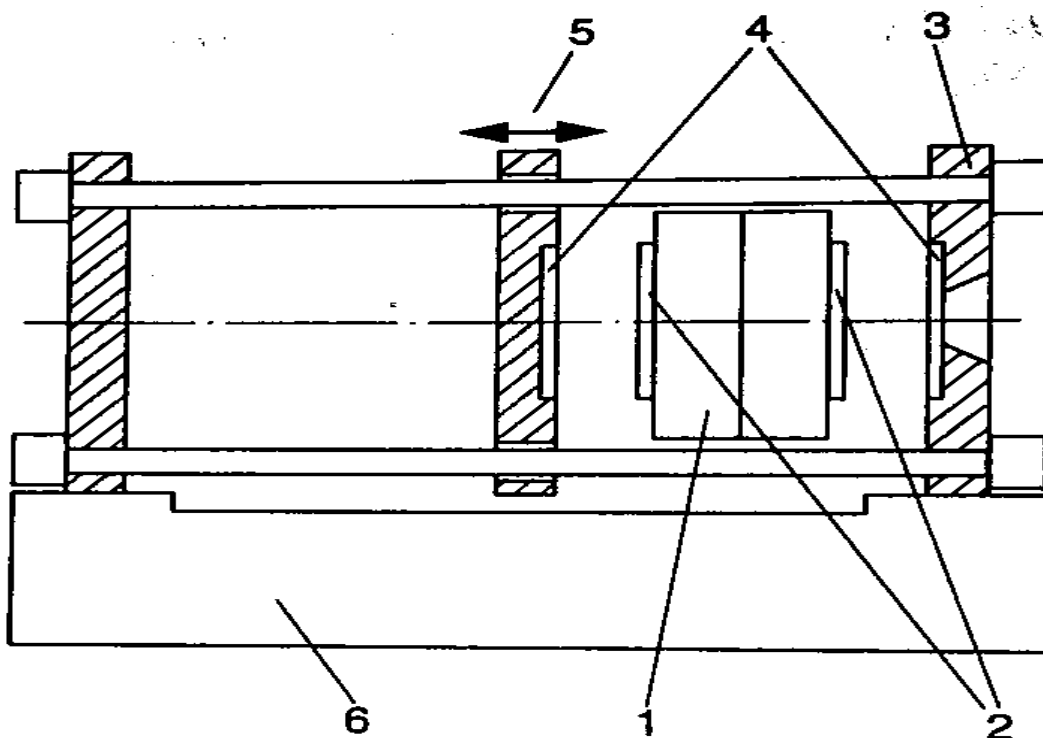
Při najetí vstřikovací jednotky na vtokovou vložku nástroje je šoupátko pomocí pružiny zatlačeno do zadní pozice. V této pozici může tavenina z trysky vytékat. Šoupátkové uzavíratelné trysky se z bezpečnostních důvodů používají jen zřídka.

1.4.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací síla může vznikat mechanicky pomocí pákového mechanismu nebo hydraulicky pomocí hydraulického systému. [2]

Úkolem uzavírací jednotky jsou :

- upnout formu ve vstřikovacím stroji
- zajistit otevření a uzavření formy
- vytvořit potřebnou uzavírací sílu
- odformovat výrobek z formy

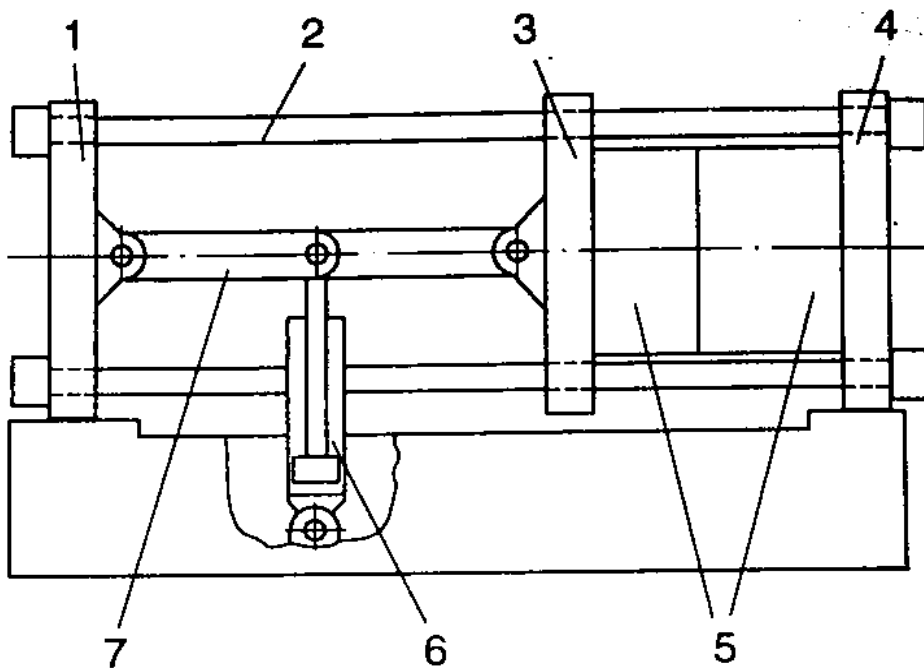


Obrázek 12: Schéma uzavírací jednotky

- 1) Forma
- 2) Centrovací kroužky

- 3) Pevná upínací deska
- 4) Centrovací otvory
- 5) Pohyblivá deska
- 6) Rám stroje

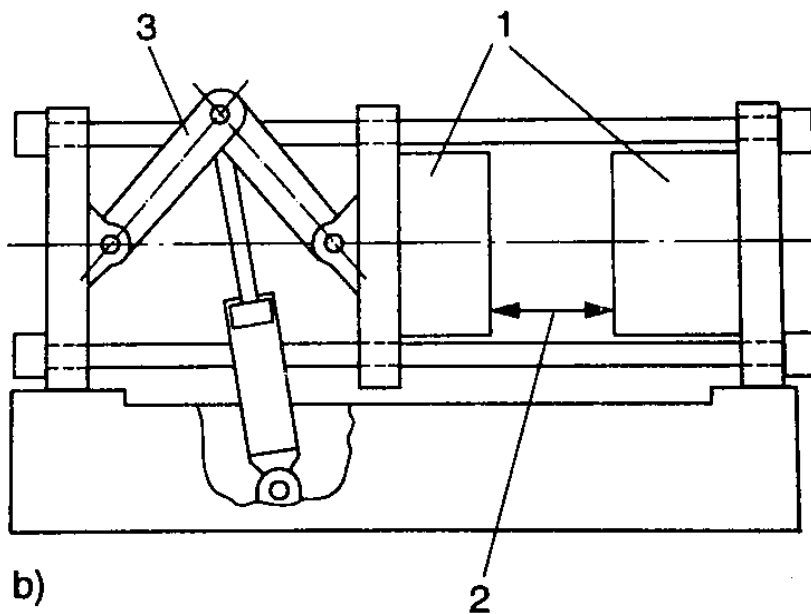
Upínací desky jsou opatřeny středovým otvorem, který slouží k vycentrování vstřikovací formy ve vstřikovacím stroji. Tímto je zajištěna stálá poloha obou polovin formy při jejich vzájemném pohybu, tedy při otevírání a zavírání formy. Přivrácená upínací deska od vstřikovací jednotky je pevná, druhá deska je pohyblivá. Tato deska provádí uzavírací a otevírací pohyb poloviny formy. Kromě již uvedených pohybů vstřikovací formy má uzavírací jednotka za úkol zajistit dostatečnou uzavírací sílu při vstřikování hmoty do nástroje. Uzavírací jednotky dělíme podle konstrukce na mechanické a hydraulické. [2]



Obrázek 13:Mechanická uzavírací jednotka v uzavřeném stavu

- 1) Nastavitelná deska
- 2) Vodící sloupky
- 3) Posuvná deska

- 4) Pevná deska
- 5) Forma
- 6) Hydraulický válec
- 7) Pákový mechanismus



Obrázek 14:Mechanická uzavírací jednotka v otevřeném stavu

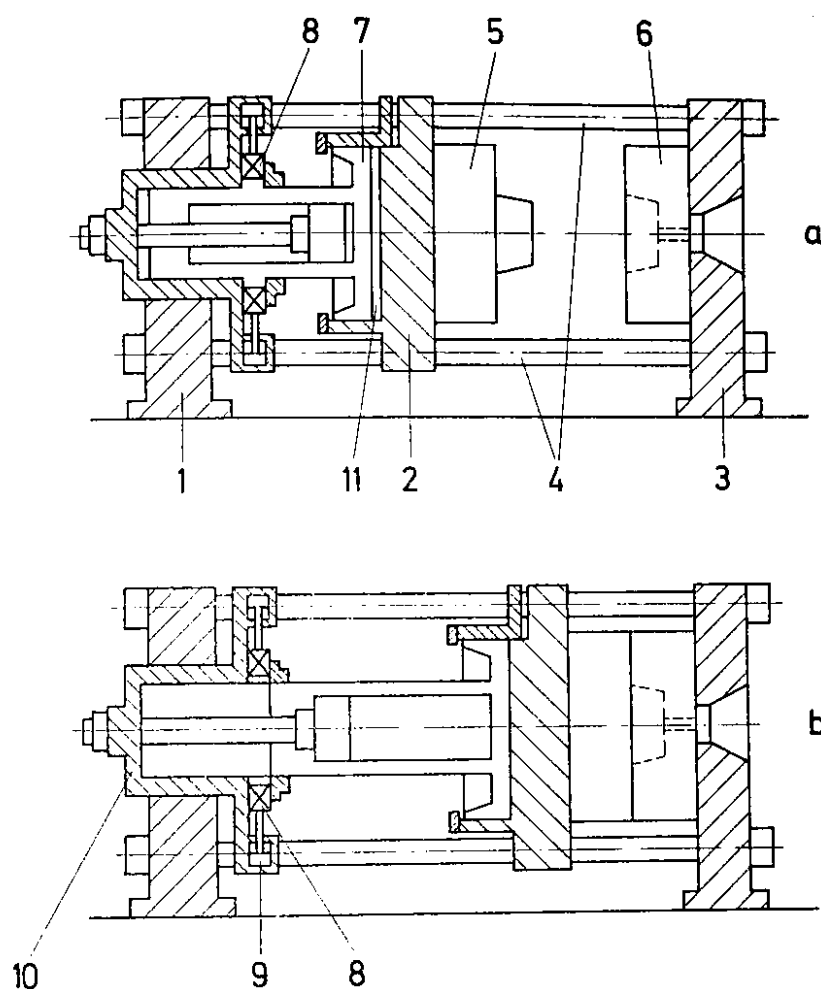
- 1) Forma
- 2) Dráha otevírání formy
- 3) Pákový mechanismus

Mechanický uzavírací systém využívá principu pákového mechanismu, který uvádí v činnost hydraulický válec. V zasunutém stavu je nástroj uzavřen. (viz.obr 13)

Hydraulický uzavírací systém uzavírá formu ve vstřikovacím stroji pomocí hydraulického válce, který má velkou plochu. Vedle zajištění zavírání a otevírání nástroje musí uzavírací jednotka uzavřít formu takovou silou, aby při vstřiku taveniny do dutiny formy nemohlo dojít k otevření formy. Pokud by právě uzavírací síla byla menší, než vyvine tlak vstřikované taveniny, forma by se otevřela a v dělicí rovině by došlo k tvorbě přetoku hmoty. Aby se

tomuto jevu bezpečně předešlo, musí se v rámci výběru vstříkovacího stroje pro danou aplikaci potřebná přidržovací síla početně stanovit.

Přidržovací síla vstříkovacího stroje by měla být využita maximálně z 80-ti procent a musí být vždy vyšší, než vztaková síla vstříkovacího nástroje ! [2]



Obrázek 15:Hydraulická uzavírací jednotka

- a) Hydraulický systém v otevřeném stavu
 - b) Hydraulický systém v uzavřeném stavu
- 1) Pevná deska
 - 2) Pohyblivá deska

- 3) Pevná deska
- 4) Vodící sloupky
- 5) Pohyblivá polovina formy
- 6) Pevná polovina formy
- 7) Píst
- 8) Uzávěr
- 9) Uzavírací deska
- 10) Závitové pouzdro
- 11) Přítlačná poduška

1.4.2.3 Rám stroje

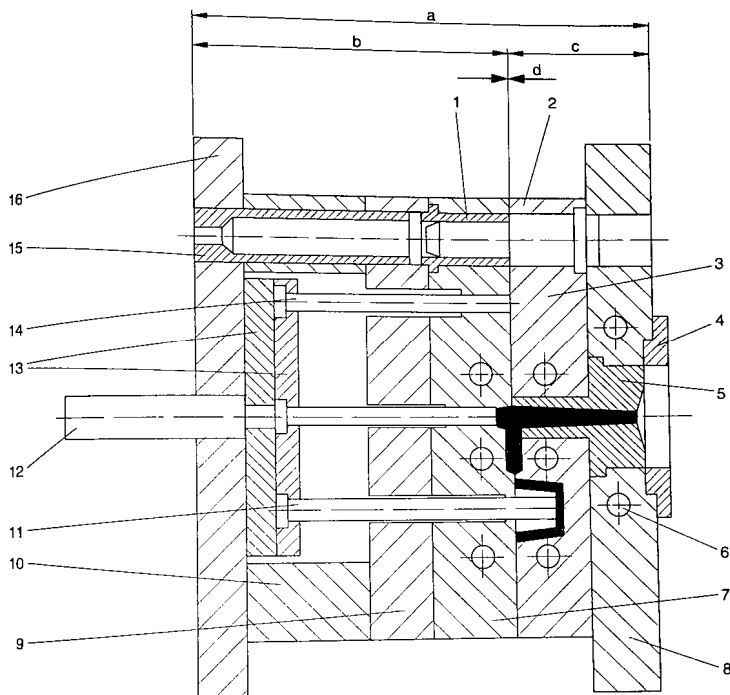
Na rám stroje jsou umístěny všechny stavební prvky stroje a zároveň zajišťuje jejich mechanickou stabilitu. Řízení funkcí stroje je realizováno pomocí spínacích hodin nebo elektronických časových spínačů. Pomocí dodatečných měřicích prvků sledujeme průběh fáze vstřikování a dotlaku hmoty závislé na úrovni tlaku ve vstřikovací formě. K vytápění vstřikovací jednotky se používají otopné pásy. Teplotu válce řídíme elektronickými regulátory.

1.4.2.4 Vstřikovací formy

Vstřikovací nástroj se v podstatě skládá z pevné a pohyblivé poloviny formy, jader, vtokového systému, vyhazovacího mechanismu a chladicího systému.

Vstřikovací nástroj má následující hlavní úkoly:

- vést a směřovat vstřikovanou hmotu
- formovat vstřikovanou hmotu
- chladit vstřikovanou hmotu
- odformovat hotový výstřik



Obrázek 16: Řez vstřikovací formou

- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| a) Výška formy | 1) Vodící pouzdro |
| b) Pohyblivá polovina formy | 2) Vodící kolík |
| c) Pevná strana formy | 3) Formovací deska pevná |
| d) Dělicí rovina | 4) Středící kroužek |
| | 5) Vtoková vložka |
| | 6) Chladicí kanál |
| | 7) Formovací deska pohyblivá |
| | 8) Upínací deska pevná |
| | 9) Mezi deska |
| | 10) Rozpěrná deska |
| | 11) Vyhazovač |

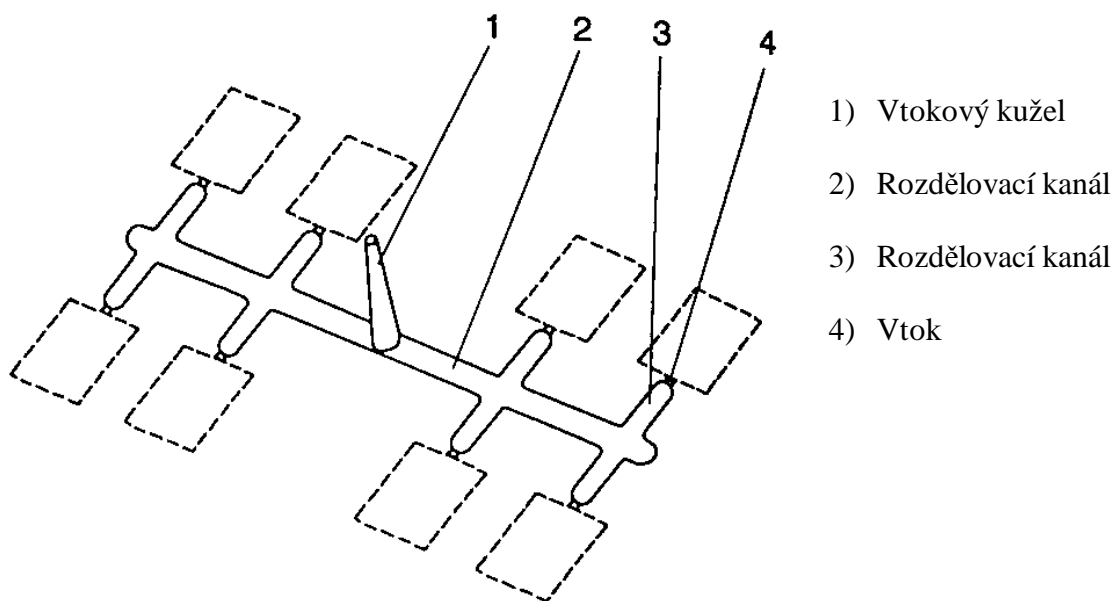
Vtokové soustavy slouží k rozvodu taveniny, která přichází ze vstřikovací jednotky. Vtoková soustava se skládá z vtokového kuželu, rozdělovacího kanálu a vtoku. Konstrukce vtoku má být provedena tak, že při fázi dotlaku můžeme dostatečně dlouho působit na hmotou vyplněnou dutinu formy.

Transport hmoty k jednotlivým dutinám formy má pokud možno probíhat šetrně. Hlavními atributy jsou:

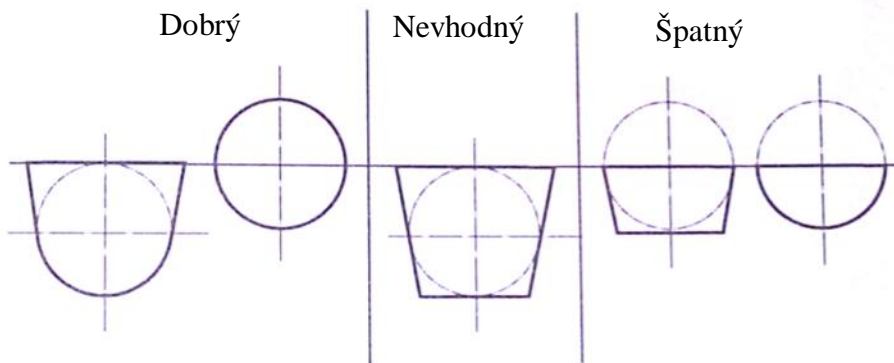
- nízké smykové namáhání hmoty
- nízký nárůst teploty ve vtoku
- nízká ztráta tlaku

Z hlediska výrobce se vždy snažíme o splnění následujících požadavků na vtokovou soustavu:

- nízká hmotnost vtokové soustavy
- krátký vstřikovací cyklus
- pokud možno automatické oddělení vtoku
- široké zpracovatelské okno
- bezporuchový provoz



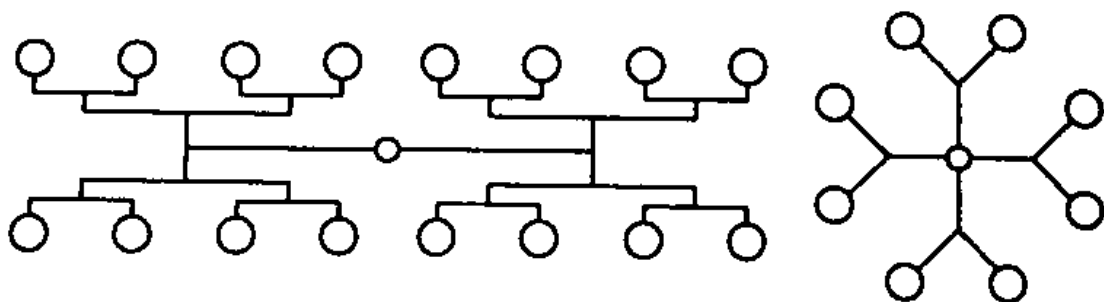
Obrázek 17: Studený vtokový systém



Obrázek 18:Průřezy rozdělovacích kanálů

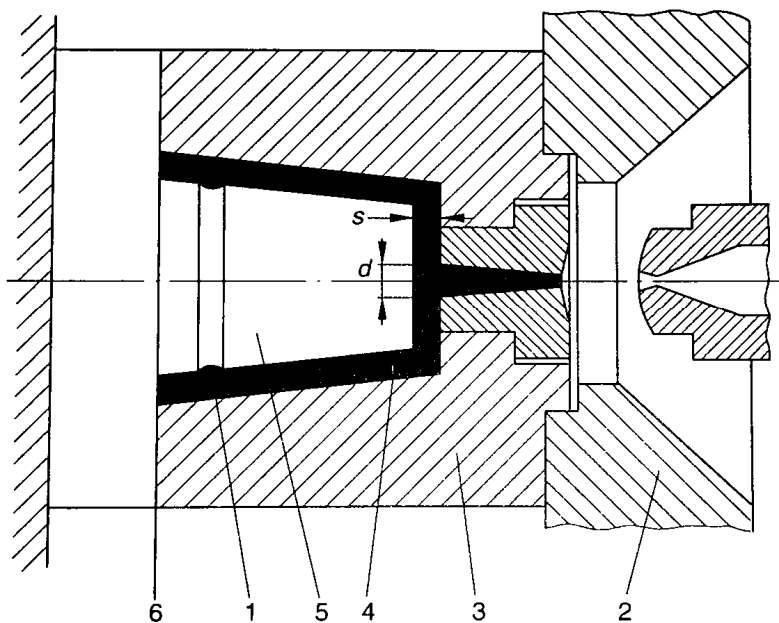
Rozdělovací kanál rozvádí taveninu k jednotlivým dutinám formy. V případě vícenásobných forem mohou být rozváděcí kanály rozdílně navrhnuty. Částečně se lze setkat s nástroji, při kterých se tavenina přivádí k jednotlivým dutinám různě dlouhými rozváděcími kanály. Zde musí tavenina překonat rozdílný odpor proti toku, než se jí zdaří doputovat k dutinám formy. Při stejných rozměrech vtokových ústí a rozdělovacích kanálech se budou jednotlivá hnízda plnit pod jiným tlakem a jinak dlouhou dobu. Jednotlivá hnízda mohou být přeplněna, některá budou naopak nevyplněna.

Rozdílné průtokové odpory proto musí být vyrovnány pomocí změny průřezu rozvodových kanálů. Tato úprava však vyžaduje reologický propočít. Jednou z možností, jak reologický propočít obejít spočívá v tom, že všechny rozvodové kanály budou mít stejnou délku. Nevýhodou tohoto přirozeného vybalancování vtokové soustavy je zvýšený podíl materiálu ve vtoku.



Obrázek 19:Přirozeně vybalancovaný vícenásobný vtokový systém

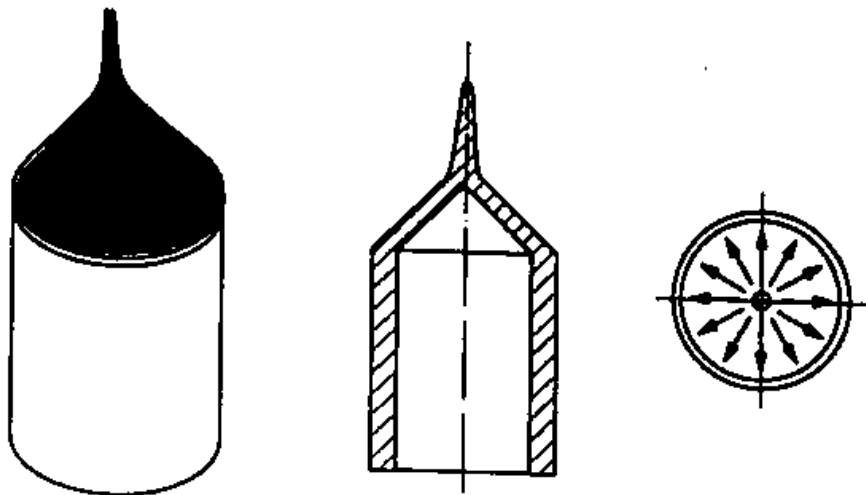
Kuželový vtok je nejjednodušší formou vtoku. Zde ústí vtokový kanál v místě jeho největšího průměru přímo do dutiny formy. Ze všech vtokových ústí nabízí tento vtok nejmenší odpor proti toku. Z tohoto důvodu se nasazuje převážně tam, kdy se dutina formy velmi těžko plní a rovněž tehdy, když se zpracovávají vysoce viskózní nebo teplotně citlivé materiály. Nevýhodou tohoto vtoku je, že po odformování dílu musí být mechanicky odstraněn a zároveň zanechá viditelnou pohledovou stopu.



Obrázek 20: Kuželový vtokový systém

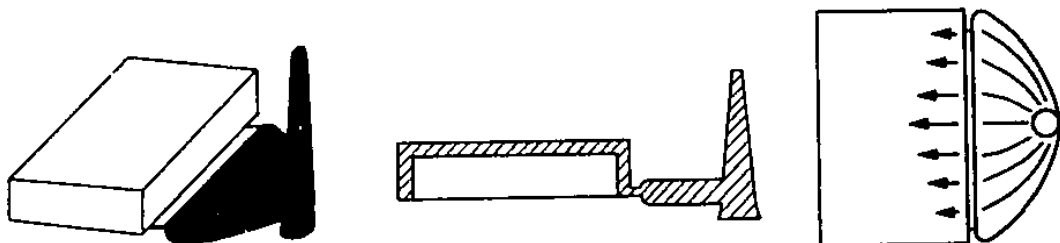
- 1) Přidržovací drážka
- 2) Upínací deska
- 3) Pohyblivá polovina formy
- 4) Výstřik
- 5) Pevná polovina formy
- 6) Dělicí rovina

Deštníkový vtok používáme pro plnění přesných rotačních dílů a výrobků tvaru pouzder. Tvar podobný „deštníku“ navazuje na kuželovou část vtoku, takže proud taveniny může celý průřez rotačního dílu stejnoměrně plnit. Nevýhodou tohoto systému je drahé dodatečné mechanické opracování výrobku pro odstranění vtoku.



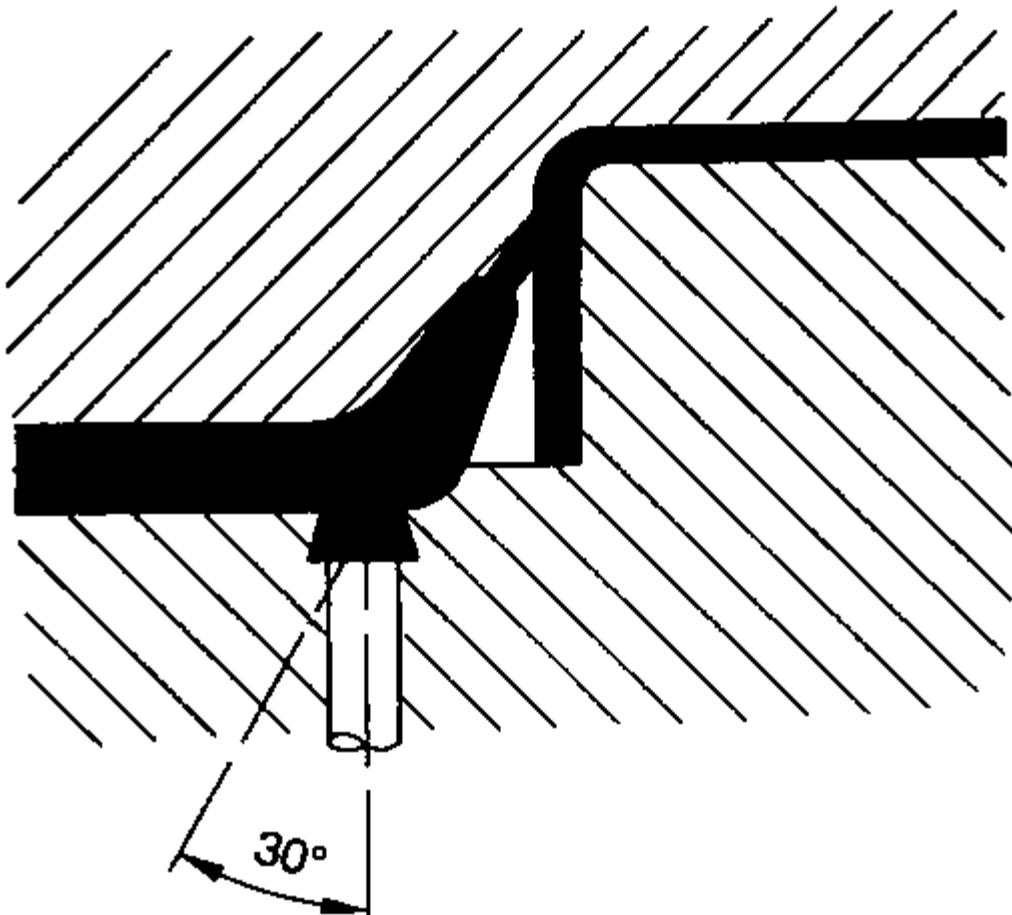
Obrázek 21:Deštníkový vtok

Filmový vtok můžeme považovat za jistou formu kruhového vtoku, který je rozšířen do jedné roviny. Na dutinu formy navazující široký rozvodný kanál s navazujícím zúžením zajistí to, že tavenina vstupuje pravidelně v celé délce vtoku do dutiny formy. Tento vtokový systém se používá pro plnění velkoobjemových výrobků plošného charakteru.



Obrázek 22:Filmový vtok

Tunelový vtok plní díl z boku a při odformování se automaticky oddělí od výrobku. Rozvodový kanál nevede přímo do dutiny formy, nýbrž je krátce vyveden kónickým tunelem skrz pevnou polovinu formy do dutiny formy. Pokud pohyblivá strana formy odjede, musí vtok a výrobek zůstat na této polovině formy. Při tomto pohybu je vtok pomocí střížné hrany čistě oddělen. Následně je výrobek včetně vtoku pomocí vyhazovačů odformován. Jelikož v tunelovém vtoku dochází k velkým tlakovým ztrátám, tak jej většinou využíváme v případě výroby maloobjemových dílů, které jsou plněny z boku ve vícenásobných formách. Obzvlášť velkou výhodou tunelového vtoku je jeho automatické oddělení během otevření formy. Jako nevýhodu můžeme vidět vysoké tlakové ztráty a taktéž boční napojení na vstříkované díly.



Obrázek 23: Tunelový vtok

Formy s horkým rozvodem materiálu se používají tehdy, pokud vstříkujeme velkoobjemové výrobky nebo pokud se při vícenásobných formách potřebujeme vyhnout odstříknutí a

odformování vtokového systému. Ačkoli je pořízení horkého rozvodového kanálu finančně náročnější, přesto nabízí následující výhody:

- úspory energie potřebné k roztavení vtokového systému
- čas chlazení je nezávislý na zchlazení vtokového systému
- realizovatelnost dlouhých tokových drah
- žádné přerušování provozu formy kvůli zachycení vtoku v dělicí rovině formy
- odpadá podíl odpadu na vtok

Ve formách s horkým rozvodem materiálu zůstává materiál tekutý od vstupu do formy po jednotlivé dutiny formy. Na horký rozvod materiálu klademe následující požadavky:

- optimální zpracovatelské podmínky pro vstřikovanou hmotu a žádné její termické poškození
- vstřikovací cyklus nemá být horkým rozvodem materiálu narušován
- nájezd nástroje má být lehce proveditelný a jeho provoz bezporuchový
- změny barvy a materiálu má být jednoduše a rychle realizovatelné

Odvzdušnění dutiny formy musí být z jedné strany provedeno tak, aby v dělicí rovině nevznikaly přetoky hmoty a zároveň musí vzduch z dutiny formy uniknout dostatečnou rychlostí. Pokud nenecháme vzduch dostatečně uniknout, dojde k jeho uzavření ve formě a nedosáhneme plnohodnotného vyplnění dutiny formy. Mimo to může vysoký vstřikovací tlak ve formě přítomný vzduch natolik zahřát, že dojde ke vzniku spálenin tzv. dieselefektu. Dobré odvzdušnění formy přispívá k tomu, že snížíme hmotnost a zároveň dosáhneme snížení vnitřního pnutí ve vyrobeném díle. [2]

Chlazení formy má obecně podstatný vliv na dosažitelný čas cyklu a na vlastnosti vyrobeného dílu. Ačkoli jsou tyto základní poznatky známy, přesto se často setkáváme se vši přesností vyrobenými formovacími díly, vtokovým systémem a důležitý chladicí systém je pouze pocitově navržen. Neexistuje obecně platná metoda, jak vypočítat pozici a rozměry tempe-

račních kanálů. Mimo to jsme nuceni vždy dělat kompromisy, protože tvarové vložky, vyhazovače a šrouby musí být také vhodně ve formě umístěny. Obecně musíme dbát na to, abychom dosáhli rovnoměrné teploty povrchu formy. Preferujeme uzavřený chladicí systém před otevřeným, protože vznikající koroze může velmi rychle ovlivnit výkon chlazení.

Efektivita chlazení se dá charakterizovat prostřednictvím následujících bodů :

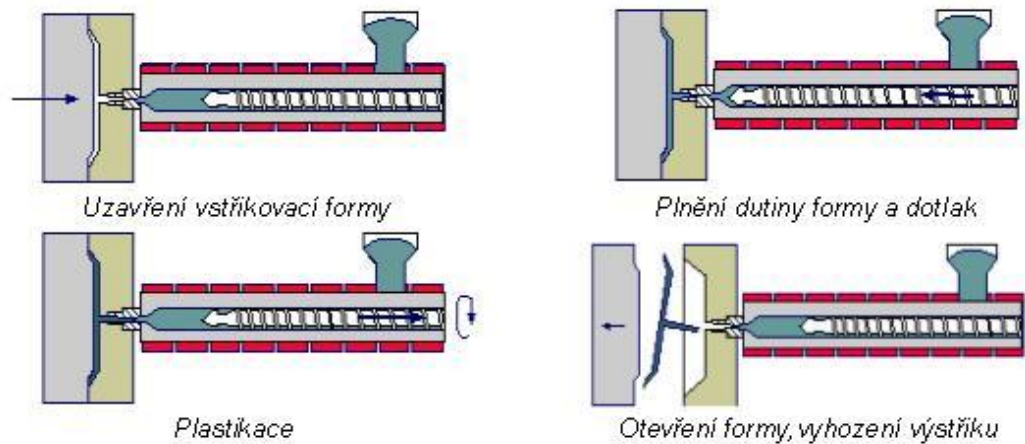
- chlazení popř. teploty vstřikovacího nástroje ovlivňuje kvalitu a výrobní čas vstřikovaného výrobku
- chladicí systém navrhujeme tak, aby teplo z taveniny rychle a pravidelně odcházelo celou plochou vstřikovaného dílu
- chladicí kanály umísťujeme v závislosti na přípustném zatížení materiálu formovacích dílů co nejbližší k formovacím plochám
- chladicí kanály umísťujeme v těsné blízkosti vedle sebe
- vrtání chladicích kanálů by nemělo být menší, než 8 mm
- v případě výrobků náchylných na smrštění nebo výrobků s místními shluky materiálu je potřebné rozdělit chladicí systém do více okruhů s jinou intenzitou chlazení
- délka chladicích kanálů musí být navržena tak, aby rozdíl teplot chladicího média na vstupu a výstupu z formy nepřesáhl 3-5°C.
- chladicí okruhy s rozdílným průtočným odporem se pokud možno nezapojují paralelně
- při sériovém zapojení více chladicích okruhů s velkým průtočným odporem je třeba vyzkoušet, zda tlak v okruhu je dostatečný pro zajištění předepsaného průtočného množství chladicího popř. temperačního média [2]

1.4.3 Vstřikovací proces

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstřikování jsou krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou, ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem.

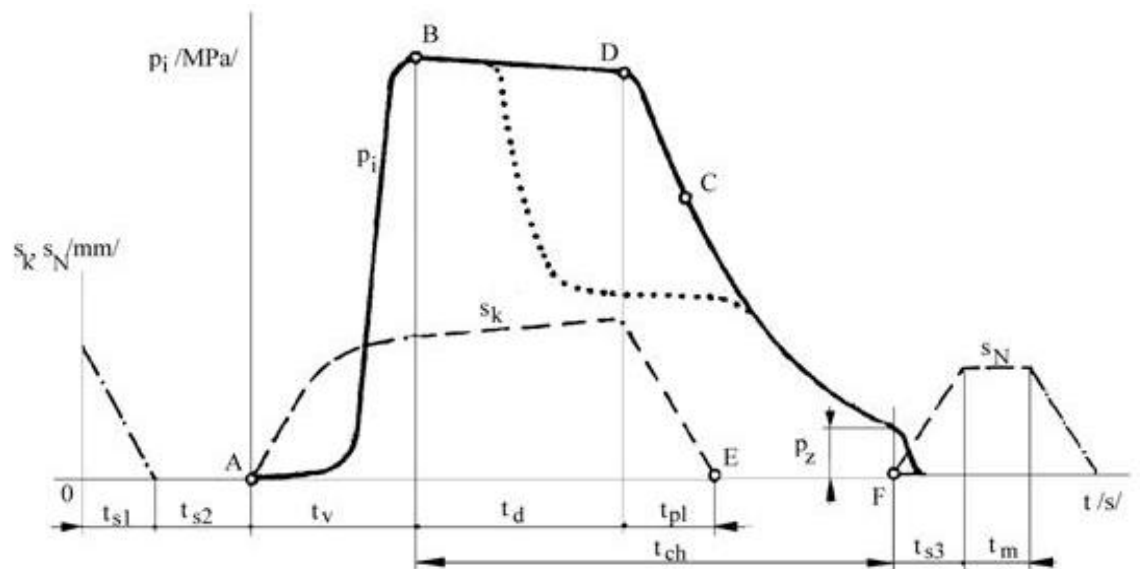
Postup vstřikování je následující: materiál v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení materiál taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje dotlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Tavenina materiálu předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje.

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož materiál prochází teplotním cyklem. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy. [4,5]



Obrázek 24 : Vstříkovací cyklus

Vstříkovací cyklus však můžeme posuzovat i z hlediska zpracovávaného materiálu a s výhodou jej vyjádřit jako závislost tlaku v dutině formy na čase. Tento tlak se nazývá vnitřní tlak a značí se p_i . Kromě vnitřního tlaku existuje i vnější tlak, označovaný p , kterým se myslí tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku. [5]



Obrázek 25: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstříkování

s_k – pohyb šneku, s_n – pohyb nástroje

Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu, pohyblivá část formy se přisune k pevné, forma se zavře a uzamkne. Tyto činnosti je nutné odlišit, protože na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisuvná síla F_p , zatímco na uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu F_u (až třikrát vyšší), neboť musí být zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování neotevře. Následuje pohyb šneku v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a vlastně plní funkci pístu. Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak dosáhne maximální hodnoty.

Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a na dobu chlazení při klesajícím tlaku. Doba chlazení je závislá na teplotě formy T_F a tloušťce stěny výrobku. Během chladnutí se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem, a aby se na výstřiku netvořily propadliny a staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy – dotlakem. Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak nebo se může po několika sekundách snížit a další chladnutí probíhá při sníženém tlaku. Dotlak se proto rozděluje na izobarický a izochorický. Abychom mohli dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu - polštář, na který bude šnek působit svým čelem. Tento objem nesmí být moc velký (obvykle kolem 10 až 15 %, méně než jednonásobek průměru šneku D), aby nedocházelo k tepelné degradaci hmoty.

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky materiálu. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastifikuje ji a vlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak neboli zpětný tlak. Výška protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl způsobit až degradaci materiálu. Ohřev materiálu během plastikace se děje jednak převodem tepla ze stěn válce, jednak frikčním teplem, které vzniká třením materiálu o stěny komory a o povrch šneku a dále přeměnou hnětací práce šneku v teplo. Jestliže je tavicí komora opatřena samouzavíratelnou tryskou, může plastikace probíhat i při otevřené formě. Dále může a nebo nemusí následovat odsunutí tavicí komory od formy. Během pokračujícího chlazení tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z .

což je tlak, pod nímž se hmota nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Příliš vysoký zbytkový tlak je příčinou vysokých vnitřních pnutí ve výstřicích, které u křehkých hmot mohou způsobovat až samovolné praskání výstřiku. Zbytkový tlak lze snížit buď zkrácením doby dotlaku anebo programovaným průběhem tlaku během dotlaku. Po dokonalém zchlazení výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí z formy. [5]

1.5 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU VÝROBKU

Polyfenylsulfid je částečně krystalický vysoce výkonný materiál, který díky svým zvláštním vlastnostem otevírá širokou oblast použitelnosti. Stoupající požadavky na zatížitelné materiály se především v minulosti postaraly o to, že tyto zvláštní vlastnosti přicházely společně s vývojem nových produktů.

1.5.1 Vlastnosti a složení PPS

PPS je materiál s částečně krystalickým podílem, který má chemické složení $(\text{SC}_6\text{H}_4)_n$

Díky spojení aromatických monomerních jednotek prostřednictvím atomů síry vznikají obzvláště odolné polymery. Jejich velmi dobré mechanické vlastnosti zůstávají zachovány i při teplotách přes 200°C a umožňují trvalé nasazení v teplotním poli do 240°C. Krátkodobě lze tento materiál zatížit i při teplotě do 270°C. Benzol-síra-polymer je tavitelný při 288°C a zpracovává se při 320°C.

K výčtu specifických vlastností tohoto materiálu patří:

- PPS je samozhášivý, není tedy třeba přidávat dodatečné příměsi proti hoření
- chemicky odolný proti skoro všem rozpouštědlům, mnoha kyselinám a louhům a podmíněčně i proti vzdušnému kyslíku za zvýšených teplot
- velmi málo nasákavý vodou
- velmi dobrá tvrdost, tuhost a stabilita rozměrů
- pro většinu tekutin a plynů značně nepropustný
- má velmi dobré izolační vlastnosti
- nízký sklon k tečení i při vysokých teplotách
- vynikající schopnost tečení : PPS je vhodný pro technologii vstřikování, která umožňuje vyrábět dlouhé a tenké díly v komplexních geometriích nástrojů [3]

1.5.2 Materiálový list

Tabulka 2: Materiálový list Ryton R-7-220BL [6]



Data Sheet

Preliminary Data Sheet

Nominal Engineering Properties of Ryton® R-7-220

(Experimental Composition - For Evaluation Only)

Ryton® R-7-220 is a glass and mineral filled polyphenylene sulfide compound developed to provide good mechanical strength and enhanced hydrolytic stability in applications requiring constant or repeated exposure to high temperature water.

Property ^a	Test Method	R-7-220NA	R-7-220BL
Tensile Strength, MPa	ISO 527	165	155
Elongation, %	ISO 527	1.2	1.1
Flexural Strength, MPa	ISO 178	255	235
Flexural Modulus, GPa	ISO 178	19	19
Izod Impact, kJ/m ²	ISO 180A		
Notched		7.0	6.0
Unnotched		25	20
Compressive Strength, MPa	ISO 604	275	275
Heat Deflection Temperature, 1.8 MPa, °C ^{**}	ISO 75	>260	>260
Coefficient of Linear Thermal Exp., x 10 ⁻⁶ m/m/°C	ISO 11359-2		
Axial Direction, -50°C to 50°C		15	15
Axial Direction, 100°C to 200°C		15	15
Transverse Direction, -50°C to 50°C		30	30
Transverse Direction, 100°C to 200°C		70	70
Flammability Rating	UL 94	V-0	V-0
Dielectric Strength, kV/mm	ASTM D149	18	18
Dielectric Constant, 1 MHz, 25°C	ASTM D150	4.5	4.5
Dissipation Factor, 1 MHz, 25°C	ASTM D150	0.003	0.003
Volume Resistivity, ohm-cm	ASTM D257	1 x 10 ¹⁵	1 x 10 ¹⁵
Arc Resistance, sec	ASTM D495	180	180
Mold Shrinkage, ^{***} m/m, Flow / Transverse		0.002 / 0.005	0.002 / 0.005
Density, g/cc	ISO 1183A	1.95	1.95
Water Absorption, %	ASTM D570	0.02	0.02
Color		Natural	Black
Hydrolytic Stability ^{****}			
Tensile Strength Retained, %		> 75	> 75
Weight Gain, %		< 1.0	< 1.0

^aTest specimen molding conditions: Stock Temperature, 315-345°C; Mold Temperature, 135°C

^{**}Annealed 2 hours at 200°C

^{***}Measured on 102 mm X 102 mm X 3.2 mm Plaques, Edge Gated

^{****}Test specimens aged 1000 hours in water at 140°C

THE NOMINAL PROPERTIES REPORTED HEREIN ARE TYPICAL OF THE PRODUCT BUT DO NOT REFLECT NORMAL TESTING VARIANCES AND THEREFORE SHOULD NOT BE USED FOR SPECIFICATION PURPOSES.

November 2005

Before using this product, the user is advised and cautioned to make its own determination and assessment of the safety and suitability of the product for the specific use in question and is further advised against relying on the information contained herein as it may relate to any specific use or application. It is the ultimate responsibility of the user to ensure that the product is suited and the information is applicable to the user's specific application. Chevron Phillips Chemical Company LP does not make, and expressly disclaims, all warranties, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, regardless of whether oral or written, express or implied, or allegedly arising from any usage of any trade or from any course of dealing in connection with the use of the information contained herein or the product itself. The user expressly assumes all risk and liability, whether based in contract, tort or otherwise, in connection with the use of the information contained herein or the product itself. Further, information contained herein is given without reference to any intellectual property issues, as well as federal, state or local laws which may be encountered in the use thereof. Such questions should be investigated by the user.

For more information and technical assistance contact:

CHEVRON PHILLIPS
CHEMICAL COMPANY LP
Ryton® Business Unit
P. O. BOX 4910
The Woodlands, TX 77387-4910
Phone Toll Free: 1-877-796-6966
Website: www.RytonPPS.com

As the quality product has



The Woodlands, Texas



Data Sheet

Preliminary Data Sheet

Nominal Engineering Properties of Ryton® R-7-220

(Experimental Composition - For Evaluation Only)

Ryton® R-7-220 is a glass and mineral filled polyphenylene sulfide compound developed to provide good mechanical strength and enhanced hydrolytic stability in applications requiring constant or repeated exposure to high temperature water.

Property*	Test Method	R-7-220NA	R-7-220BL
Tensile Strength, Ksi	ASTM D638	24.0	22.0
Elongation, %	ASTM D638	1.1	1.0
Flexural Strength, Ksi	ASTM D790	37.0	34.0
Flexural Modulus, Msi	ASTM D790	2.8	2.8
Izod Impact, ft-lb/in, 1/8 in specimen	ASTM D256		
Notched		1.3	1.2
Unnotched		6.5	5.5
Compressive Strength, Ksi	ASTM D695	40.0	40.0
Heat Deflection Temperature, 264 psi, °F**	ASTM D648	>500	>500
Coefficient of Linear Thermal Exp., x 10 ⁻⁶ in/in/°C	ASTM E831		
Axial Direction, -50°C to 50°C		15	15
Axial Direction, 100°C to 200°C		15	15
Transverse Direction, -50°C to 50°C		30	30
Transverse Direction, 100°C to 200°C		70	70
Flammability Rating	UL 94	V-0	V-0
Dielectric Strength, V/mil	ASTM D149	450	450
Dielectric Constant, 1 MHz, 78°F	ASTM D150	4.5	4.5
Dissipation Factor, 1 MHz, 78°F	ASTM D150	0.003	0.003
Volume Resistivity, ohm-cm	ASTM D257	1 x 10 ¹⁵	1 x 10 ¹⁵
Arc Resistance, sec	ASTM D495	180	180
Mold Shrinkage,*** in/in, Flow / Transverse		0.002 / 0.005	0.002 / 0.005
Density, g/cc	ASTM D792	1.95	1.95
Water Absorption, %	ASTM D570	0.02	0.02
Color		Natural	Black
Hydrolytic Stability****			
Tensile Strength Retained, %		> 75	> 75
Weight Gain, %		< 1.0	< 1.0

*Test specimen molding conditions: Stock Temperature, 600-650°F; Mold Temperature, 275°F

**Annealed 2 hours at 400°F

***Measured on 4 in X 4 in X 1/8 in Plaques, Edge Gated

****Test specimens aged 1000 hours in water at 140°C (284°F)

THE NOMINAL PROPERTIES REPORTED HEREIN ARE TYPICAL OF THE PRODUCT BUT DO NOT REFLECT NORMAL TESTING VARIANCES AND THEREFORE SHOULD NOT BE USED FOR SPECIFICATION PURPOSES.

November 2005

Before using this product, the user is advised and cautioned to make its own determination and assessment of the safety and suitability of the product for the specific use in question and is further advised against relying on the information contained herein as it may relate to any specific use or application. It is the ultimate responsibility of the user to ensure that the product is suited and the information is applicable to the user's specific application. Chevron Phillips Chemical Company LP does not make, and expressly disclaims, all warranties, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, regardless of whether oral or written, express or implied, or allegedly arising from any usage of any trade or from any course of dealing in connection with the use of the information contained herein or the product itself. The user expressly assumes all risk and liability, whether based in contract, tort or otherwise, in connection with the use of the information contained herein or the product itself. Further, information contained herein is given without reference to any intellectual property issues, as well as federal, state or local laws which may be encountered in the use thereof. Such questions should be investigated by the user.

For more information and technical assistance contact:

CHEVRON PHILLIPS
CHEMICAL COMPANY LP
Ryton® Business Unit
P. O. BOX 4910
The Woodlands, TX 77361-4910
Phone Toll Free: 1-877-798-6966
Website: www.RytonPPS.com

Another quality product from



The Woodlands, Texas

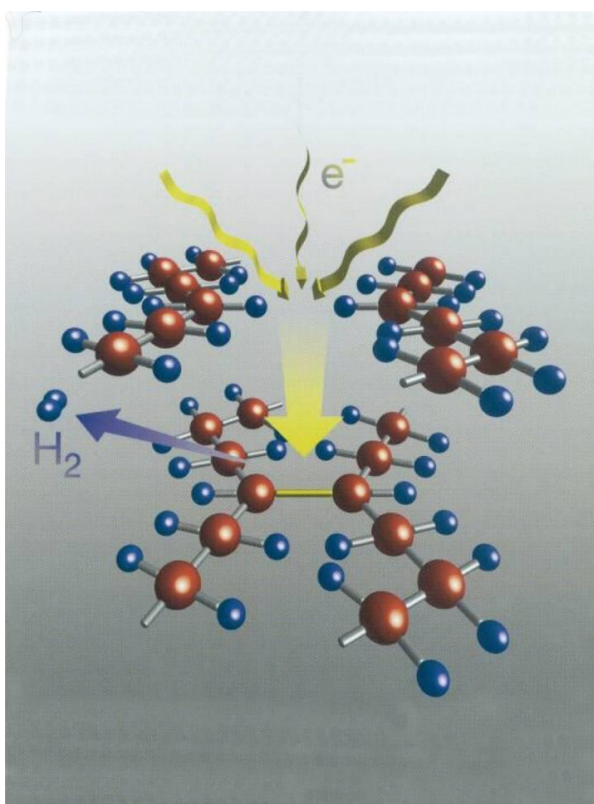
1.6 OZAŘOVÁNÍ MATERIÁLU

Stále náročnější požadavky různých odvětví průmyslu na lepší vlastnosti plastových dílů nemusí nutně vést k aplikaci drahých vysoce odolných konstrukčních termoplastů.

Levnější a jednodušší řešení nabízí prostřednictvím svého českého zástupce firma BGS Beta-Gamma-Service, německý specialista na zušlechťování vlastností plastů radiačním sítováním polymerních materiálů.

Aby levnější masové nebo konstrukční plasty vydržely větší zatížení, přivedeme molekuly ke vzájemnému chemickému propojení a propůjčíme jim mechanické, tepelné a chemické vlastnosti vysoce odolných konstrukčních termoplastů.

Tento postup, toto sítování, můžeme precizně řídit beta nebo gama zářením. Energie ze záření je materiálem absorbována a vznikají radikály, které spolu reagují a při následné chemické reakci vytváří očekávané spojení, tzv. link. (Obr. 26) [7]



Obrázek 26: Schéma radiačního sítování PE elektronovým zářením

1.6.1 Sítování

Sítování je pojem, se kterým se setkáváme v mnohých oblastech i mimo sféru techniky. V technické oblasti vzniká v důsledku zesítování (vulkanizace) z kaučuku pryž, materiál schopný většího zatížení.

U plastů je sítování chemický proces, v jehož průběhu se jednotlivé molekuly plastů chemicky navzájem spojují. V ideálním případě dojde k začlenění všech molekul do této sítě.

Tento chemický proces může být u mnohých plastů spuštěn ozářením. Tím jsou přetvářeny např. termoplasty na materiály, které vykazují v určitých teplotních oblastech vlastnosti elastomerů. U elastomerů nebo částečně síťovaných systémů jsou ozářením vytvořeny další místa sítování (jsou ozářením získána dodatečně nesítovaná místa).

Nejdůležitějšími vlastnostmi síťovaného systému jsou tažnost a pružnost, jež přetrvávají také při dlouhodobém teplotním a mechanickém zatížení.

Pro sítování za použití ozáření nejsou často zapotřebí žádné další přísady. Výhodou je, že proces sítování je proveden až po zpracovatelském procesu (po vstřikování, vytlačování nebo vyfukování).

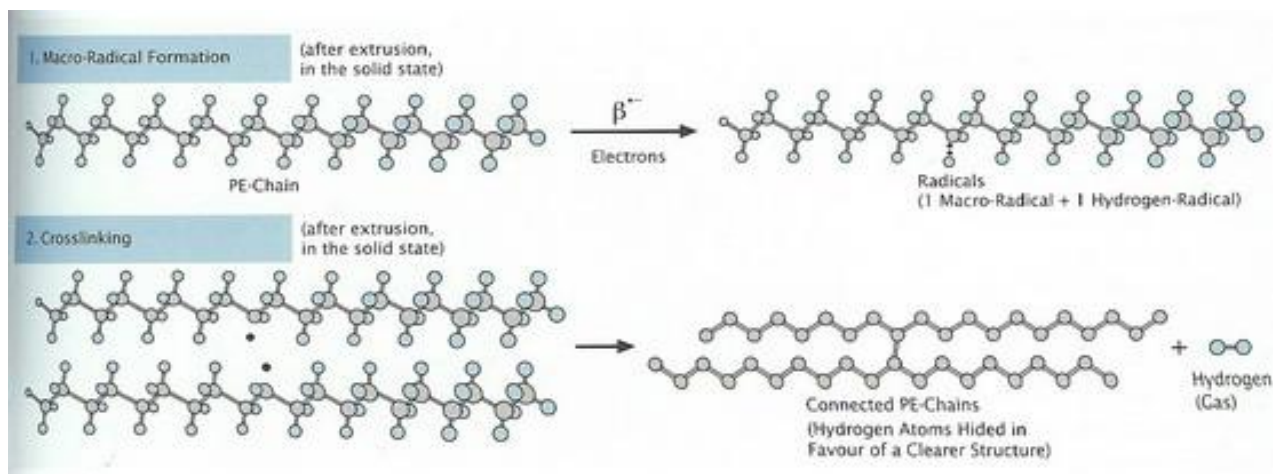
Radiační sítování probíhá při pokojové teplotě bez dodatečného namáhání výrobků. Další výhodou je variace ozařovacích parametrů, kterými lze měnit stupeň sítování v ozařovaném dílu a ovlivňovat tak vlastnosti materiálu přesně podle toho, jak je vyžadováno.

Používaná záření (beta, gama) iniciují na základě svých energií chemické procesy. Nezávisle od délky ozařování nemůže v používaných průmyslových zařízeních ani v ozářených produktech vzniknout žádná radioaktivita.

Pro radiační sítování je základní předpoklad, že materiál při působení ionizačního záření převážně síťuje a ne degraduje. U některých polymerů resp. receptur je potřebný přísádek pomocného síťovacího činidla. U komerčních směsí pro radiační sítování jsou v současnosti používány síťovací činidla zvláště ke zlepšení výsledných vlastností materiálu, k redukci dávek záření, ke snížení hořlavosti, atd.

Hlavním předpokladem je přítomnost tří a více funkčních monomerů. Interakcí záření

s polymerem vznikají polymerní radikály (rozpad vazeb C-H), ty pomocí rekombinace v řetězci vytvoří síť a to spojením dvou volných radikálů mezi sousedními řetězci za vzniku vazby C-C. Síťování provádíme nejčastěji beta (*Obr. 27*) nebo gama zářením.



Obrázek 27: Schéma síťování PE elektronovým zářením

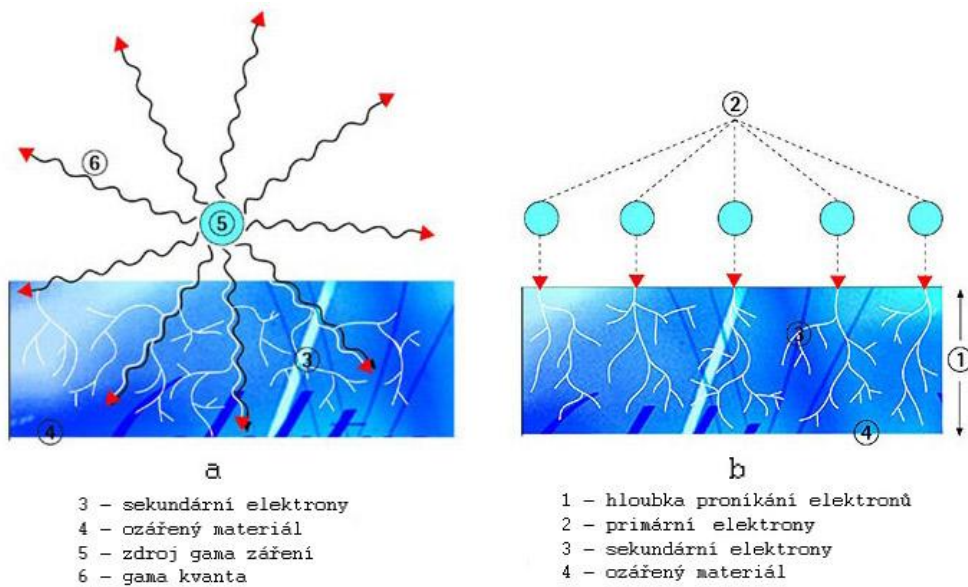
1.6.2 Rozdíly mezi elektronovým beta zářením a zářením gama

U těchto jejich účinkům odpovídajících ionizujících záření se jedná buď o elektromagnetické vlny (záření gama) nebo o částicové záření (elektronové - beta záření).

Těmito technologiemi dojde u polymerních materiálů k radiačnímu síťování, které určuje v první řadě dávka ozáření a ta změní vlastnosti materiálu. Materiál absorbuje množství energie na jednotku hmoty. [7]

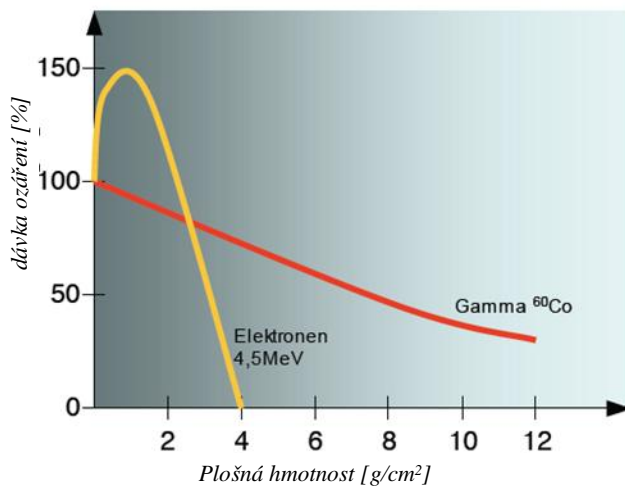
Při průchodu elektronů materiálem následuje aktivace a ionizace molekul v ozářeném materiálu (*Obr. 28b*).

Pronikáním gama kvant do materiálu dochází k různým vzájemně působícím procesům, při nichž vznikají sekundární (excitované) elektrony, které aktivují a ionizují molekuly ozařovaného materiálu (*Obr. 28a*).



Obrázek 28: Schéma pronikání gama a elektronového záření

Hlavní rozdíl mezi oběma druhy záření spočívá ve schopnosti pronikání materiálem a intenzitě dávky ozáření. (Obr. 29).



Obrázek 29: Schopnost pronikání elektronového- β a gama- γ záření

V zařízeních s urychlovači elektronů se pracuje s vysokými intenzitami dávek ozáření, ale s omezenou hloubkou pronikání závislou na energii. Naproti tomu záření gama má vysokou schopnost penetrace (hloubky pronikání) při relativně nízké intenzitě dávky ozáření. Výkon dávky ozáření je závislý na instalované celkové aktivitě gama zařízení.

Z hlediska technického použití to znamená, že v urychlovačích elektronů je v průběhu několika sekund dodána dávka, pro kterou by zařízením se zářením gama potřebovalo několik hodin. Proto je v průmyslově využívaných gama zařízeních ozařováno více m³ současně.

Jelikož jsou pro síťování polymerních materiálů potřebné relativně vysoké dávky záření, používá se v současnosti převážně elektronové beta záření.

Hlavní oblastí použití gama záření je radiační sterilizace zdravotnických produktů a potravin. Stále více se však využívá i pro síťování plastů, neboť poskytuje oproti elektronovému záření výhody z hlediska větší hloubky proniknutí například u složitých objemných tvarových dílů. [7]

Tabulka 3: Srovnání charakteristik elektronových urychlovačů a gama zařízení

Charakteristika	Elekt. urychlovač	Gama-záření
Výkon [kW]	150	15-75
Průchodnost [kGy-tun/hod] *	30	1,5
Energie [MeV]	4,5	1,3
Penetrace [cm]	4,0	20
Dávka	100 kGy/s	10 kGy/h

- Množství ozářeného materiálu při dané dávkové intenzitě.

1.6.3 Měrné jednotky používané u ionizačního záření

Energie:

Kinetická energie, kterou získá elektron při průchodu potenciálním rozdílem 1 V, ve vakuu.

eV (elektronvolt) $1\text{eV} = 1,602\,177 \cdot 10^{-19}\text{ J}$

Dávka:

Absorbovaná energie záření/hmoty

Gy (Gray) $1\text{Gy} = 1\text{ Joule/kg} = 100\text{ rad}$

Dávková intenzita:

Absorbování energie záření za čas

Gy/s (Gray za sekundu) $1\text{Gy/s} = 1\text{ Watt/kg}$

Penetrace- hloubka proniknutí:

Velikost penetrace je úzce závislá na energii

MeV (mega elektron volt)

Aktivita:

Výkon radioaktivních paprsků záření je charakterizován jejich aktivitou

1 Bq (Becquerel) $1\text{ Bq} = 1\text{ rozpad/s}$

1Ci (Curie) $1\text{ Ci} = 307 \cdot 10^{10}\text{ Bq}$

1.6.4 Radiačně síťovatelné polymery

Pro výběr vhodného materiálu jsou rozhodující oblasti použití výrobků. Pokud je k tomu využita technologie radiačního síťování, mohou být realizovány výrobky s mimořádnými technickými výhodami a ekonomickými zisky. U výrobků z termoplastů, elastomerů a termoplastických elastomerů lze radiační síťování využít průmyslově u :

Tabulka 4: Přehled materiálů pro radiační síťování

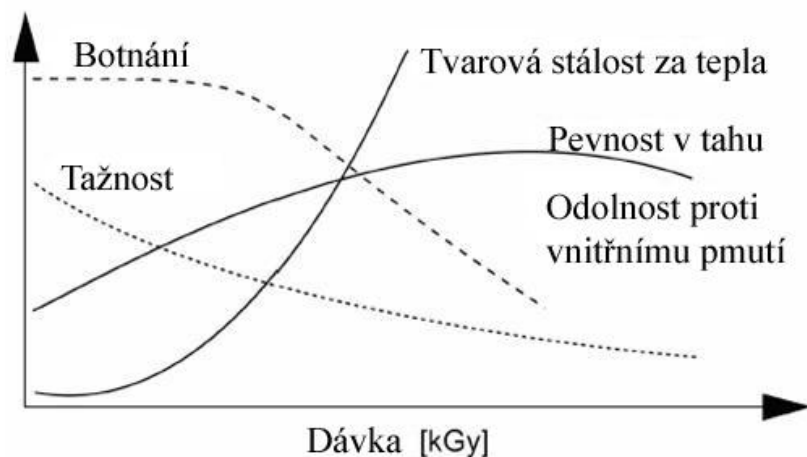
Termoplasty	Elastomery
<i>Polyolefiny:</i>	ACM, akryl-nitril-elastomer
CSM, chlorsulfonovaný polyetylen	BR, Cis-1.4-polybutadien
EEA, etylen-etylakrylát Copolymer	CR, chloroprene (neopren)
EPDM, etylen-propylen-terpolymer	CSM, chlorsulfonovaný polyetylen
EPM, etylen-propylen-elastomer	FPM, fluorelastomer
EVA, etylen-vinylacetát	IR, isoprene (polychlorbutadien)
PE, polyetylen (PE-LD, PE-HD, PE-LLD)	NBR, akrylnitril-butadien-elastomer
PE-C, chlorovaný polyetylen	NR, přírodní kaučuk
PP, polypropylen (*)	SBR, styrol-butadien-elastomer
<i>Polyestery:</i>	SSS, styrol-butadien-styrol-kopolymer (*)
PBT(P), polybutyltereftalát (*)	SI, Silikon-Elastomer
UP, nenasycený polyester	Termoplastické elastomery
<i>Halogenované polymery:</i>	FPM, fluorelastomer (termoplastický)
CSM, chlorsulfonovaný polyetylen	TPE-E, polyesterizovaný kopolymer (*)
ETFE, etylenetrafluoretylen	TPE-O, na bázi polyolefinů
FPM, fluorelastomer	TPE-S, na bázi styrolu
PVC, polyvinylchlorid (*)	TPE-U, polyuretan (*)
PVDF, polyvinylidenfluorid	TPE-V, polyolefin s vulkanizovanými bloky

(*) potřebný přídavek pomocného síťovacího činidla.

1.6.5 Zlepšení vlastností plastů

Některé termoplasty jsou díky radiačnímu síťování převedeny na takové termoplasty, které se v širokých oblastech teplot chovají jako elastomery. Elastomerické vlastnosti se projevují především nad teplotou tání krystalů, respektive teplotou skelného přechodu neupraveného polymeru.

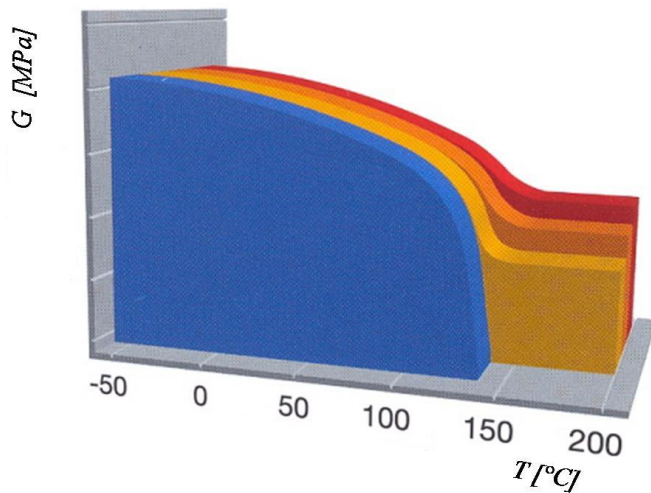
V důsledku radiačního síťování může původně termoplastický výrobek odolávat vyšším teplotám než předtím. Tvarová stálost za působení tepla je značně zlepšena v porovnání s výchozím termoplastickým materiálem. [7]



Obrázek 30: Charakteristika vlastností termoplastů v závislosti na dávce ozáření

Radiační síťování mění následující mechanické vlastnosti plastů:

- nárůst modulu
- zvýšení pevnosti (zejména z dlouhodobého hlediska)
- pokles poměrného prodloužení při přetržení (tažnosti)
- redukce studeného tečení – (creepu)
- nárůst tvrdosti (Shore)
- zlepšení meze únavy (při střídavém ohybu)
- zlepšení povrchové pevnosti vůči otiskům a nespojitosti vstřikovaných dílů
- zlepšení odolnosti proti vnitřnímu pnutí a redukce přenosu a růstu
- zlepšení zotavení materiálu „memory effect“
- zlepšení otěruvzdornosti (podmíněně)
- zlepšení chování při dlouhodobém zatížení vnitřním tlakem

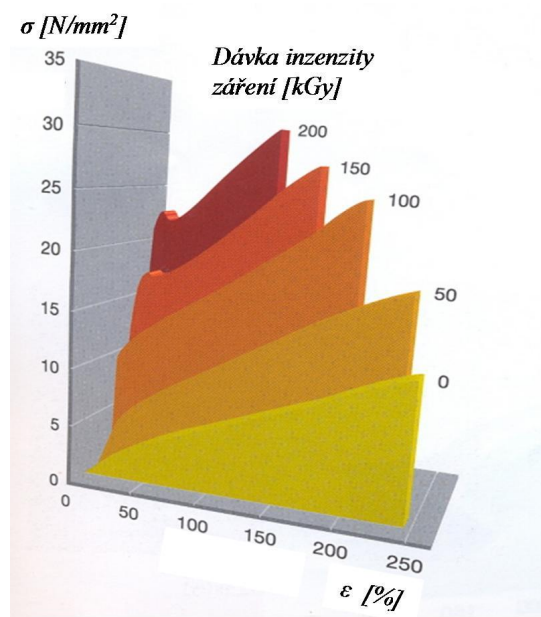


Obrázek 31: Smykový modul radiačně zesíťovaného PE-HD

Výrazně se ukazuje toto zlepšení např. u smykového modulu jako funkce teploty.

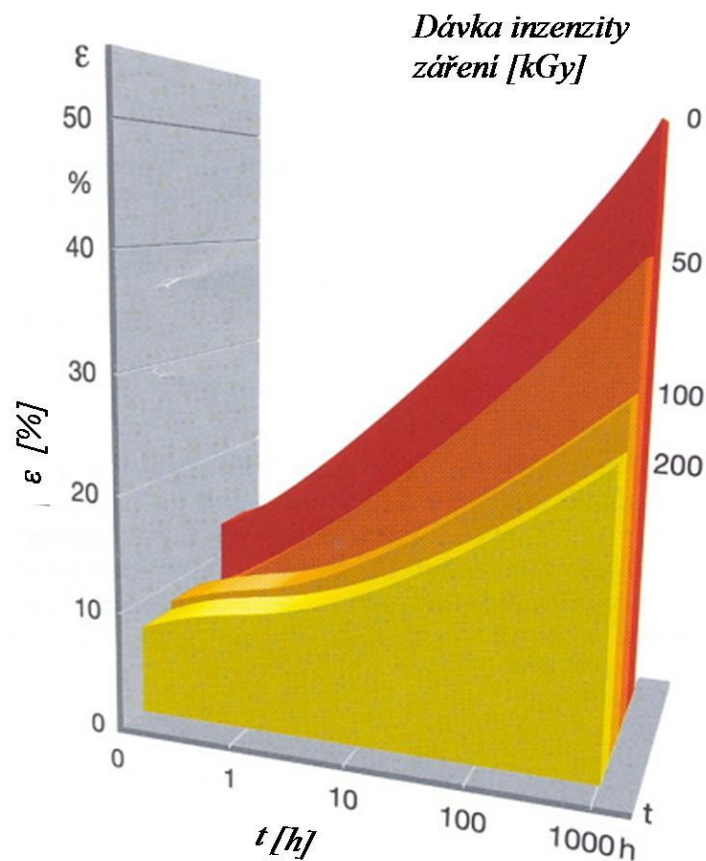
Parametrem je dávka ozáření odpovídající stupni zesíťování. Zatímco smykový modul nezesíťovaných termoplastů po překročení teploty přechodu klesne prakticky na nulu, lze u zesíťovaného termoplastu naměřit menší modul, který se v závislosti na stupni zesíťování zvyšuje.

Tečení pod zatížením (kríp) může být stanoveno při zkoušce tečení v tahu. Při zkoušce tečení v tahu může být také měřena odolnost proti vzniku trhlin způsobených pnutí. Kromě mechanického zatížení je materiál vystaven i chemickému zatížení. [7]



Obrázek 32: Průběh napětí-deformace měkčeného PVC v závislosti na dávce ozáření

Zobrazení ukazuje průběh napětí-deformace při teplotě od 30 °C měkčeného PVC s Triallylcyanurátem (TAC) jako síťovacím činidlem. Parametrem u těchto naměřených křivek je dávka ozáření. Se zvyšující se dávkou ozáření vzrůstá modul pružnosti a pevnost v tahu, tažnost se stoupající dávkou klesá.

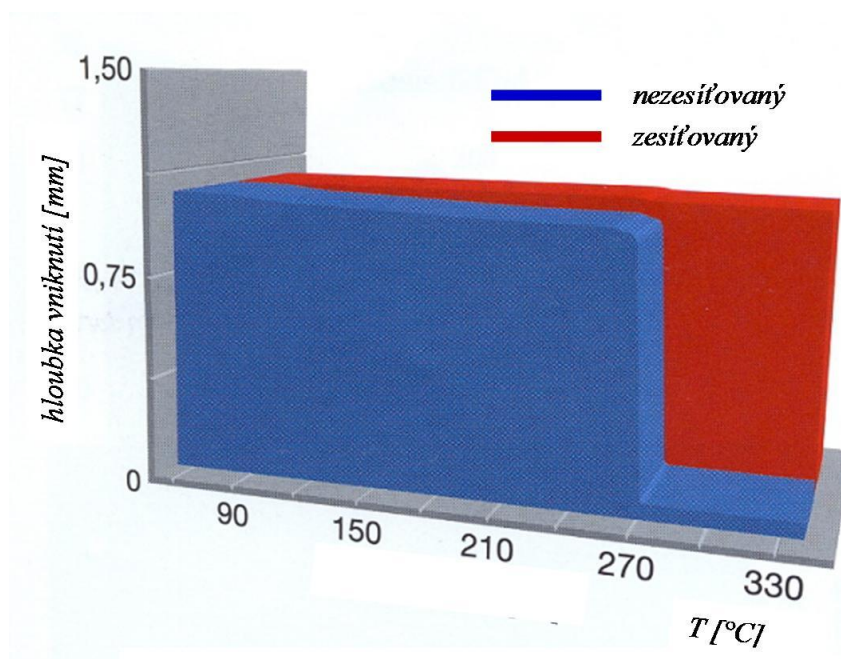


Obrázek 33: Kríповé křivky PE-LD v závislosti na dávce ozáření

Zobrazení ukazuje kríповé křivky PE-LD v závislosti na dávce ozáření. Napětí v tahu činilo 5,6 N/mm² a okolním médiem byl vzduch (teplota cca 25°C). [7]

U tepelných vlastností dochází v důsledku sítování ke

- zlepšení tvarové stálosti za tepla
- cílenému nastavení tepelné roztažnosti (Hot-Set / Hot-Modul)
- zlepšení trvalé deformace při zatížení tlakem (tahem)
- zvýšení tepelné odolnosti
- zvýšení odolnosti proti vniknutí žhavého drátu
- vyšší odolnost vůči stárnutí



Obrázek 34: Termomechanická analýza (TMA) polyamidu

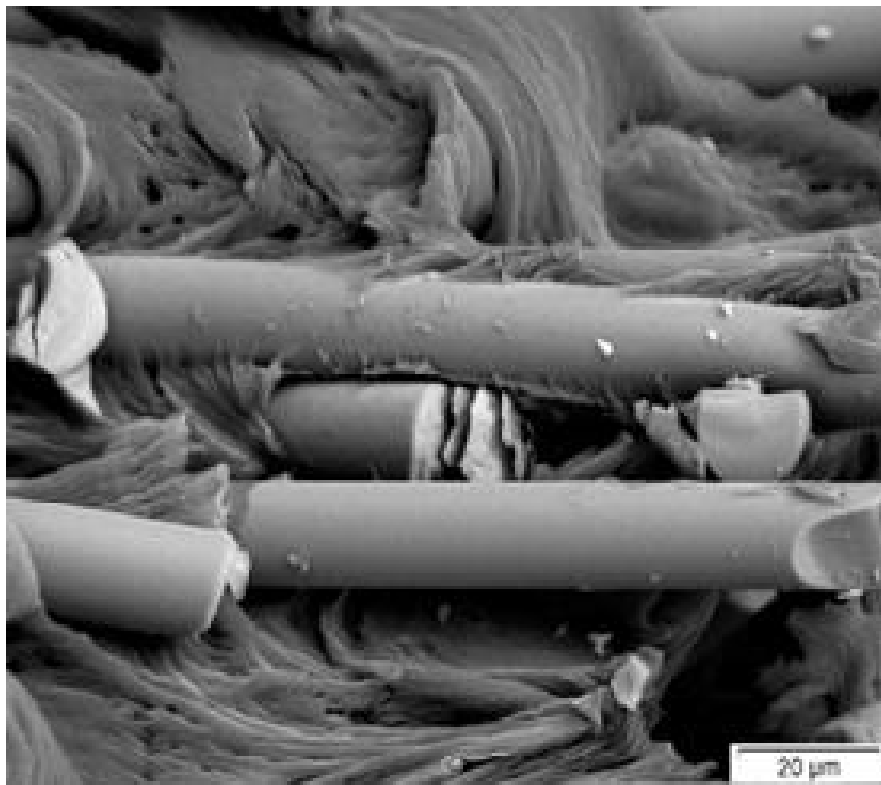
K zlepšeným chemickým vlastnostem patří:

- snížení rozpustnosti
- zlepšení odolnosti proti bobtnání
- zvýšení odolnosti proti vzniku trhlin způsobených pnutí
- zlepšení odolnosti vůči hydrolyze a zvýšená olejuvzdornost

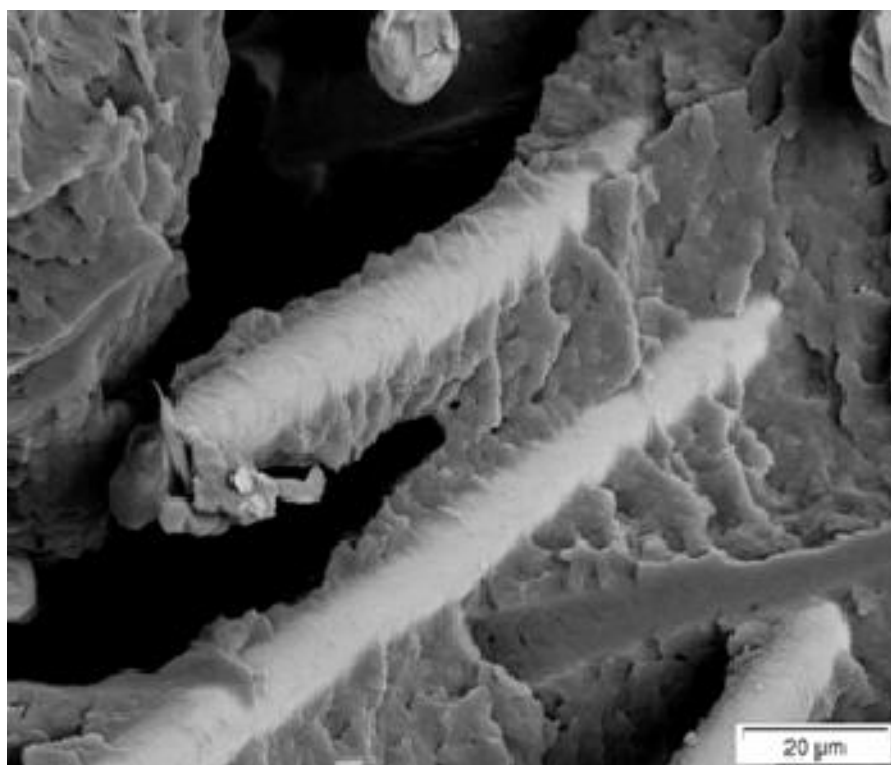
1.6.6 Ovlivnění přilnavosti matrice k vláknům pomocí ozáření

Výsledné vlastnosti kompozitu plněného částicovým plnivem závisí na fyzikálních vlastnostech složek (matrice, plnivo). Soudržnost matrice s plnivem má velký vliv pro výsledný přenos napětí na výztuž a tedy výsledné mechanické vlastnosti.

Pomocí radiačního ozařování beta nebo gama zářením se dosahuje pro různé materiály tzv. navázání struktury matrice k výztuži → zvýšení pevnosti. [7]



Obrázek 35: Struktura neozářeného materiálu



Obrázek 36: Struktura ozářeného materiálu

1.6.7 Použití ionizačního záření v praxi

Tabulka 5: Příklad vybraných aplikací v průmyslu a vlastností získaných po ozáření

Aplikace	Materiál	Zlepšené vlastností
Palivová potrubí pro automobilový průmysl	Polyamid 6, 66, 11 a 12	Tepelná odolnost Odolnost proti hydrolyze Pevnost v tlaku Pevnost
Vlnité trubky Tlakové a sací potrubí Ochranné trubky	PE, EVA, TPE	Tepelná odolnost Pevnost v tlaku Odolnost proti okujím ze svařování
Smršťovací trubky Smršťovací hadice	PE	Zotavení materiálu „memory effect“
Těsnění Profily	PE, TPE	Odolnost proti chemikáliím Tvarová stálost za tepla Tlaková zpětná deformovatelnost Snížené studené tečení – (kríp) Možný nárůst tvrdosti Shore
Kabely a izolace vodičů	PE, TPU, PUR, PVC	Tepelná odolnost Odolnost proti okujím ze svařování Odolnost proti chemikáliím Odolnost proti otěru
Hadice pro zdravotnickou techniku	PE	Sterilizovatelnost horkou párou

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem diplomové práce je nalezení alternativního materiálu pro výrobu dílu palivového systému, který musí svými mechanickými vlastnostmi odpovídat stanoveným požadavkům. V případě nalezení vhodné materiálové alternativy zpracovat optimalizovaný výrobní koncept a stanovit rekapitulaci výrobních nákladů. Pro experimentální část diplomové práce byly vybrány polymerní materiály určené pro testy mechanických vlastností Ryton, PA66 neplněný, PA plněný GF30 Frianyl a PA66 GF30 Creamid.

Strukturovaný přehled průběhu praktické části diplomové práce:

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část
3. Provedení experimentu
4. Vyhodnocení naměřených výsledků

2.1 Alternativní materiály

Jako vhodnou náhradu za materiál PPS-Ryton R7-220BL byly navrženy materiály ze skupiny polyamidů. Pro názornost si shrňme základní vlastnosti polyamidů:

Tabulka 6: Vlastnosti polyamidů [8]

Všeobecné vlastnosti materiálu polyamid (PA)	
Mechanické vlastnosti	Polyamidy obsahují relativně velký podíl vody, který se v závislosti na typu a oblasti užití může dle relativní vlhkosti vzduchu měnit. Pouze s určitým podílem vlhkosti si polyamidy zachovávají svou úplnou pružnost, tuhost a rázovou pevnost. Tyto produkty by měly být skladovány na chladných a tmavých místech. Budou-li produkty z polyamidu skladovány na suchém a teplém místě, měly by být před zpracováním vloženy na 24 až 48 hodin do teplé vody. Tím se dosáhne původní pružnosti. Přidání krátkých skelných vláken během procesu výroby výrazně zvýší pevnost a tuhost těchto produktů (např. PA 6.6). Podíl skelných vláken zvýší i ohebnost a tvarovou stálost při zahřátí. Celkově mají polyamidy malé koeficienty tření a nízký sklon k opotřebením.
Chemická odolnost	Nezbarvené polyamidy jsou v závislosti na typu bíložluté nebo mléčně bílé. Polyamidy v průběhu času a díky UV záření žloutnou, proto nemůže být poskytnuta záruka na barevnou stálost. Polyamidy jsou odolné proti běžným rozpouštědlům (např. aceton, alkohol, benzol), olejům, tukům, všem alkáliím a většině sloučenin kyselin. Nejsou ovšem odolné vůči koncentrovaným kyselinám.
Odolnost vůči povětrnostním vlivům a stárnutí	Polyamidy jsou dostatečně odolné vůči povětrnostním vlivům a stárnutí. Při venkovním použití může být odolnost zvýšena pomocí speciálního zbarvení (např. sazemi).
Tepelné vlastnosti	I při vzrůstajícím tepelném zatížení si polyamidy udržují velmi dobrou stálost rozměrů. U polyamidů s přidaným skelným vláknem je roztažnost ještě menší. V závislosti na zatížení a tvaru výrobku leží maximální dovolené provozní teploty mezi cca. -40°C a 80°C až 125°C. Polyamidy se začínají tavit při teplotách nad 300°C. Vznícení následuje při 450°C - 500°C. Špatně hoří, stékají po kapkách, tvoří vlákna a po chvíli uhasnou. Krátkodobě mohou polyamidy odolat teplotám do cca. 200°C. Polyamidy 6,6 se skelným vláknem mohou krátkodobě odolat teplotám do 250°C. Často užívaný a průmyslovými podniky podporovaný test hořlavosti je uveden v normě UL-94 zpracované Underwriters Laboratories. Pořadí stupňů hořlavosti dle testu je následující: HB, 5VA nebo 5VB, V2, V1, V0, no (= nehořlavý).

Přehled zkoušených alternativ:

POLYAMID – PA66 GF30 CREAMID - A3H7.2G6*M0129A

Jedná se o teplotně vysoce stabilizovaný, ozařovatelný materiál PA66 s 30%-ím obsahem skleněného plniva. (2-fázový materiál)

Základní polymer je speciální PA66 s funkčními skupinami, prostřednictvím kterých se síťovací činidlo (BETALINK) na polymer napojuje. Jeho ozařovací hodnoty jsou cca. o 5%

lepší jako při standardním PA66. Tento materiál obsahuje speciální paket síťovacího činidla a antioxidantů, který byl vyvinut pro síťování a automobilové díly s vysokým teplotním namáháním. (Stabilizátor H7.2)

S dávkou záření 100 kGy se díl převede do zesítěného stavu. Tím se drasticky zvýší odolnost proti působení chemikálií a zároveň materiál ztrácí původní vlastnosti termoplastu. Hodnota gelu v kyselině mravenčí po ozáření 100kGy je v rozmezí 70-78%.

PTS-test ozáření :	T=350°C, průměr 2 mm, zátěž 10 N
Výsledek :	žádný měřitelné vniknutí
Rychlost hoření :	4 mm/min
Zpracovatelské podmínky:	
Teplota taveniny:	258°C
Zpracovatelská teplota:	265-290°C
Temperace nástroje:	60-90°C
Sušení granulátu:	4h/80°C
Max. vlhkost granulátu:	0,15%
Skladovací podmínky:	max. 1 rok ve chladném a tmavém prostředí [11]

Tabulka 7 : Materiálový list CREAMID- A3H7.2G6 [11]

PTS-MARKETING		TECHNISCHE INFORMATION		
>V-PTS-CREAMID-A3H7.2G6 * M0129A schwarz				30.03.2011
PA66 30% GF, hochwärmestab.				
Eigenschaften		Einheit	Norm	Werte
PHYSIKALISCH				
Dichte		g/cm ³	ISO 1183	1,37
Verarbeitungsschwindigkeit (Platte 61*61*2) [l/q]		%	ISO 294-4	0,3/0,5
Wasseraufnahme (24 h)		%	ISO 62	0,6
Wasseraufnahme (Sättigung)		%	ISO 62	5,0
MECHANISCH				
Izod-Kerbschlagzähigkeit	+23/-30°C	kJ/m ²	ISO 180/A	8
Charpy-Kerbschlagzähigkeit	+23/-30°C	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	8
Charpy-Schlagzähigkeit	+23/-30°C	kJ/m ²	ISO 179-1/1eU	56
Streckspannung (50mm/min)		MPa	ISO 527-1/-2	170
Zug-Modul (1mm/min)		MPa	ISO 527-1/-2	10000
Reißdehnung		%	ISO 527-1/-2	2
Biegefestigkeit		MPa	ISO 178	260
Biege-Modul +23 °C		MPa	ISO 178	8500
Biege-Modul +90 °C		MPa	ISO 178	5500
THERMISCH				
Vicat-Erweichungstemperatur (VST)	50°C/h 9,8 N	°C	ISO 306	
Vicat-Erweichungstemperatur (VST)	50°C/h 49 N	°C	ISO 306	255
Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT)	0,45 MPa	°C	ISO 75-1/-2	
Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT)	1,81 MPa	°C	ISO 75-1/-2	245
Kugeldruckprüfung	125 °C		DIN EN 60695-10-2	i.O.
Kugeldruckprüfung	165 °C		DIN EN 60695-10-2	i.O.
Alterungstemp.	nach 20 000 h	°C	IEC 60216	
ELEKTRISCH				
Kriechstromfestigkeit	Lösung A/B	V	IEC 60112	
Durchschlagfestigkeit	(2 mm)	kV/mm	ASTM D149	
BRANDVERHALTEN				
UL94	(0,8/1,6/3,2)mm	Klasse	UL 94	
Glühdrahtprüfung 2mm	(550/650/750/850/960 °C)		DIN EN 60695-2-13	
Sauerstoffindex LOI		%	ISO 4589	

POLYAMID – PA66 GF30 / FRIANYL A63VN GV30

Tento materiál je vhodný pro nasazení při vyšších teplotách v elektrickém, stavebním a automobilovém průmyslu.

Zpracovatelská teplota: 260-280°C

Temperace nástroje: 60-80°C

Sušení granulátu: 4h/80°C

Max. vlhkost granulátu: 0,1%

Tabulka 8 : Materiálový list FRIANYL A63VN GV30 [12]

Technical data sheet

AWT 8/96 002/002

**FRIANYL A63 VNGV30**

Polyamide 6.6 for injection moulding, 30% glass fibres reinforced, modified with reticulating agent, values after crosslinking!

	Testing Standard	Unit	Values
Product Features			
Abbreviation	ISO 1043	--	----
Density	ISO 1183	g/cm ³	1,36
Vicat A (with the force of 10 N)	ISO 62	°C	>300
Vicat B (with the force of 50 N)	ISO 306	°C	>300
Material Constants for Flammability			
Glow wire	DIN EN 60695-2-1/2	°C	960
Gel content	FRISETTA	%	>65
Mechanical features			
Charpy impact (+23 °C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	NB
Charpy impact (-30 °C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	NB
Charpy impact, notched (+23 °C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	8
Charpy impact, notched (-30 °C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	3
Thermal features			
Flammability	UL-94	HB-V0	HB
Distorsion temp. under load (Meth. A)	ISO 75	°C	300
Distorsion temp. under load (Meth. C)	ISO 75	°C	300
Continuous service temperature	FRISETTA	°C	140
Electrical features			
Tracking index (CTI 100)	IEC 112	---	600

* All values freshly molded, for variations please look in the product description

** Plate 60x60x2mm

Tensile strength ISO 527 (temperature dependent)

Temperature (°C)	Flexural modulus (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Tensile elongation at break (%)
-20	10128	226	3
0	9411	218	4
20	9434	193	4
40	8925	172	4
80	6133	132	6
100	4598	113	7
120	4326	101	7
160	3420	83	8
200	2991	66	9
220	2649	55	9
300	1931	40	11

POLYAMID – PA66 / FRIANYL A63VN

Tento materiál je vhodný pro nasazení při vyšších teplotách v elektrickém, stavebním a automobilovém průmyslu.

Zpracovatelská teplota: 260-280°C

Temperace nástroje: 60-80°C

Sušení granulátu: 4h/80°C

Max. vlhkost granulátu: 0,1%

Tabulka 9 : Materiálový list FRIANYL A63VN [12]

Technical data sheet

AWT 8/96 002/002

**FRIANYL A63 VN**

Nylon 6.6 for injection moulding, modified with reticulating agent, values after crosslinking.

	Testing Standard	Unit	Values
Product Features			
Abbreviation	ISO 1043	--	----
Density	ISO 1183	g/cm ³	1,13
Vicat A (with the force of 10 N)	ISO 62	°C	>300
Vicat B (with the force of 50 N)	ISO 306	°C	>300
Material Constants for Flammability			
Glow wire	DIN EN 60695-2-1/2	°C	---
Gel content	FRISSETTA	%	>65
Mechanical features			
Charpy impact (+23 °C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	42
Charpy impact (-30 °C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	37
Charpy impact, notched (+23 °C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	5,5
Charpy impact, notched (-30 °C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	4,7
Thermal features			
Flammability	UL-94	HB-V0	HB
Distorsion temp. under load (Meth. A)	ISO 75	°C	>300
Distorsion temp. under load (Meth. C)	ISO 75	°C	>300
Continuous service temperature	FRISSETTA	°C	125
Electrical features			
Tracking index (CTI 100)	IEC 112	---	600

* All values freshly molded, for variations please look in the product description

** Plate 60x60x2mm

Tensile strength ISO 527 (temperature dependent)

Temperature (°C)	Flexural modulus (N/mm2)	Tensile strength (N/mm2)	Tensile elongation at break (%)
-40	4050	121	4
-20	3781	118	5
0	3403	110	13
23	3333	94	19
50	2854	81	39
80	1012	59	59
100	801	50	78
150	491	29	94
200	354	23	103
220	316	19	---

2.2 Výroba zkušebních těles pro provedení materiálových zkoušek

Zkušební tělesa pro provedení mechanických zkoušek byly vyrobeny v laboratoři UTB na vstřikovacím stroji Arburg Allraunder 420 C Advance.



Obrázek 37: Vstřikovací stroj Arburg 420 C Advance

Tabulka 10: Technická data vstřikovacího stroje Arburg 420C

Uzavírací jednotka	
uzavírací síla	1000kN
otevírací síla / zvýšená ot. síla	35/250 kN
max.dráha otevření	500mm
vzdálenost mezi vodícími sloupky	420x420mm
velikost upínací desky	570x570mm
max.vyhazovací síla	40kN
max.zdvih vyhazovače	175mm
Pohony	
výkon čerpadla	22kW
celkový příkon stroje	33,9kW
Vstřikovací jednotka	
průměr šneku	40mm
poměr šneku	20L/D
max.zdvih šneku	145mm
max. objem dávky	182cm ³
max.vstřikovací tlak	2120 bar
max.vstřikovací rychlost	168cm ³ . s ⁻¹
max. zpětný tlak pozitivní / negativní	350/160 bar
max. kroutící moment šneku	700 Nm
max.přítlačná síla trysky	70kN
objem násypky	50L

2.2.1 Vstřikovací data / parametry vstřikovacího procesu

Vstřikování zkušebních těles proběhlo za následujících procesních parametrů:

Tabulka 11: Procesní parametry vstřikování zkušebních těles

	PPS Ryton	PA66GF30 FRIANYL A63VNGV30	PA66 FRIANYL A63VN	PA66GF30 CREAMID A3H7
Procesí parametr				
Vstřikovací rychlost mm/s	80	60	60	60
Vstřikovací tlak (MPa)	80	80	80	100
Dotlak (MPa)	60	80	80	80
Čas dotlaku (s)	5	10	10	25
Bod přepnutí (mm)	9	9	9	9
Materiálový polštář	4,6	4,3	4,3	4,3
Dávkování (mm)	28,6	28,4	28,4	28,4
čas cyklu (s)	60s	60s	60s	60s
Čas setrvání v komoře (min)	8,34	8,39	8,29	8,39
Chlazení (s)	10	15	15	15
Teplota formy DS (°C)	135	80	80	80
Teplota formy AS (°C)	135	80	80	80
Sušení materiálu (h/°C)	4/140	4/80	4/80	4/80
Teplotní program				
vstupní pouzdro (°C)	80	40	40	75
zona 2 (°C)	315	205	205	270
zona 3 (°C)	315	220	220	270
zona 4 (°C)	315	230	230	275
zona 5 (°C)	320	240	240	280
zona 6 (°C)	325	250	250	285
Tryska (°C)	320	250	250	290

Tabulka 12: Stanovení doby setrvání materiálu v plastifikační jednotce

Teil / Díl :		Zkušební tělesa
Type / Typ:		Mechanické zkoušky
Sach.-Nr. - Type / Věcné číslo typu:		UTB
Werkzeug / Nástroj:		UTB
Fachzahl / Násobnost:		1
Cyklus (Taktzeit) / zális	(s)	60,0
Váha zálisu	(g)	45
Materiál - označení dle normy		PA 66 - GF 33
Materiál - obchodní název		CREAMID A3H7
max. doba setrvání dle S131 000-3-1	Minuten	10,00
Hustota materiálu (viz předpis)	(g / cm ³)	1,38
Hustota taveniny (viz předpis)	(g / cm ³)	1,24
naplánovaný stroj:		
jmenovitá uzavírací síla lisu	(KN)	1000
stroj, Ø šneku, L:D-poměr		Arburg 40/20
Ø válce	(mm)	40
Konstanta válce		1,59
max. vstřík. váha v PS	(g)	182
Počet zálisů ve válci		8,39
Doba setrvání	(min)	8,39
Dávkování x D		0,7
Výběr válce odpovídá předpisům přípustné doby setrvání dle S 131000-3-1		ano

Teil / Díl :		Zkušební tělesa
Type / Typ:		Mechanické zkoušky
Sach.-Nr. - Type / Věcné číslo typu:		UTB
Werkzeug / Nástroj:		UTB
Fachzahl / Násobnost:		1
Cyklus (Taktzeit) / zális	(s)	60,0
Váha zálisu	(g)	65
Materiál - označení dle normy		PPS - GF 40
Materiál - obchodní název		Ryton R7-220BL
max. doba setrvání dle S131 000-3-1	Minuten	20,00
Hustota materiálu (viz předpis)	(g / cm ³)	1,95
Hustota taveniny (viz předpis)	(g / cm ³)	1,78
naplánovaný stroj:		
jmenovitá uzavírací síla lisu	(KN)	1000
stroj, Ø šneku, L:D-poměr		Arburg 40/20
Ø válce	(mm)	40
Konstanta válce		1,59
max. vstřík. váha v PS	(g)	182
Počet zálisů ve válci		8,34
Doba setrvání	(min)	8,34
Dávkování x D		0,7
Výběr válce odpovídá předpisům přípustné doby setrvání dle S 131000-3-1		ano

Teil / Díl :		Zkušební tělesa
Type / Typ:		Mechanické zkoušky
Sach.-Nr. - Type / Věcné číslo typu:		UTB
Werkzeug / Nástroj:		UTB
Fachzahl / Násobnost:		1
Cyklus (Taktzeit) / zális	(s)	60,0
Váha zálisu	(g)	45
Materiál - označení dle normy		PA 66 - GF 33
Materiál - obchodní název		FRIANYL GF30
max. doba setrvání dle S131 000-3-1	Minuten	10,00
Hustota materiálu (viz předpis)	(g / cm ³)	1,38
Hustota taveniny (viz předpis)	(g / cm ³)	1,24
naplánovaný stroj:		
jmenovitá uzavírací síla lisu	(KN)	1000
stroj, Ø šneku, L:D-poměr		Arburg 40/20
Ø válce	(mm)	40
Konstanta válce		1,59
max. vstřík. váha v PS	(g)	182
Počet zálisů ve válci		8,39
Doba setrvání	(min)	8,39
Dávkování x D		0,7
Výběr válce odpovídá předpisům přípustné doby setrvání dle S 131000-3-1		ano

Teil / Díl :		Zkušební tělesa
Type / Typ:		Mechanické zkoušky
Sach.-Nr. - Type / Věcné číslo typu:		UTB
Werkzeug / Nástroj:		UTB
Fachzahl / Násobnost:		1
Cyklus (Taktzeit) / zális	(s)	60,0
Váha zálisu	(g)	36
Materiál - označení dle normy		PA 66
Materiál - obchodní název		FRIANYL A63
max. doba setrvání dle S131 000-3-1	Minuten	10,00
Hustota materiálu (viz předpis)	(g / cm ³)	1,14
Hustota taveniny (viz předpis)	(g / cm ³)	0,98
naplánovaný stroj:		
jmenovitá uzavírací síla lisu	(KN)	1000
stroj, Ø šneku, L:D-poměr		Arburg 40/20
Ø válce	(mm)	40
Konstanta válce		1,59
max. vstřík. váha v PS	(g)	182
Počet zálisů ve válci		8,29
Doba setrvání	(min)	8,29
Dávkování x D		0,7
Výběr válce odpovídá předpisům přípustné doby setrvání dle S 131000-3-1		ano

2.3 Radiační zesíťování

Radiační zesíťování zkušebních těles bylo provedeno ve firmě BGS GmbH&Co.KG v Německu, která provádí ozáření pomocí toroidního elektronového urychlovače typu Rhodotron®. Maximální energetický výkon tohoto zářiče je 10 MeV.

Aby nedošlo v průběhu ozařování vlivem velkého tepelného namáhání k poškození materiálu, není materiál ozařován jednou dávkou, nýbrž ozařování probíhá v pravidelných cyklech po 33 kGy.

Zkušební vzorky z alternativních materiálů byly podrobeny následujícím dávkám ozáření :

Tabulka 13: Hodnoty dávek ozáření alternativních materiálů

PA66 GF30 / FRIANYL A63VN GV30	66 kGy
	99 kGy
	132 kGy
	165 kGy
	198 kGy
PA66 / FRIANYL A63VN	66 kGy
	99 kGy
	132 kGy
	165 kGy
	198 kGy
V-PTS-CREAMID - A3H7.2G6*M0129A	66 kGy
	99 kGy
	132 kGy
	165 kGy
	198 kGy

Měrné jednotky ozařování

U radiačního sítování určuje dávka ozáření požadované změny vlastností, tzn. množství absorbované energie záření na jednotku hmoty.

Dávka intenzity záření (dosis) = absorbovaná energie záření / hmotnost

Jednotka intenzity je gray (Gy), původně to byl rad.

$$1\text{Gy} = 1\text{Joule/kg} = 100 \text{ rad}$$

$$10\text{kGy} = 1\text{Mrad}$$

Energie záření absorbovaná výrobkem za časovou jednotku a vztažená na hmotnost je dávková intenzita záření.

$$1\text{Gy/s} = 1 \text{ Watt / kg} = 0,36 \text{ Mrad/h}$$

Penetrace (hloubka pronikání) vysoce energetických elektronů popř. gama záření je závislá na jejich energii. Měrná jednotka energie je Joule (J), původně (eV)

$$1\text{MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

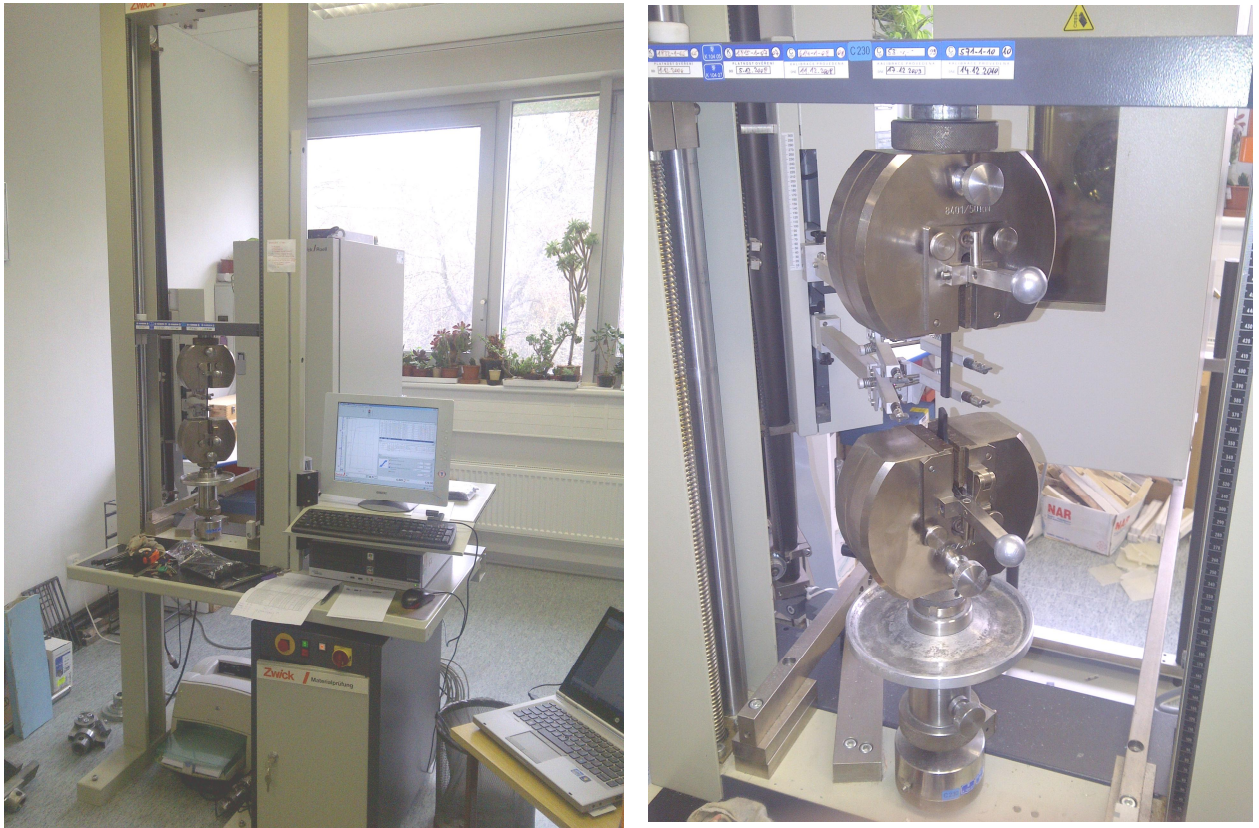
Výkon zdroje radioaktivního záření je charakterizován jeho aktivitou. Jednotka pro aktivitu je Becquerel (Bq), původně Curie (Ci).

$$1\text{Bq} = 1 \text{ rozpad /s}$$

$$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

2.4 Zkouška pevnosti v tahu

Zkoušky tahem byly provedeny v laboratoři UTB na zkušebním stroji Zwick/Röll 1456, který umožňuje měřit vlastnosti materiálu za pokojové, snížené i zvýšené teploty. Stroj je vybaven extenziometrem pro měření hodnot protažení a počítačem se softwarem testXpert, jenž se využívá pro řízení stroje a zpracování naměřených dat.



Obrázek 38: Zkušební stroj Zwick/Roell 1456 v laboratoři UTB

Nejprve nastavíme zkušební parametry stroje, za kterých budeme provádět zkoušky tahem. (rychlost posuvu příčnicku, rozměry zkušebních těles) Zkušební vzorek upneme do čelistí stroje znázorněných na obrázku vpravo. Před startem zkušebního cyklu vynulujeme dráhu stroje a spustíme zkušební cyklus. Naměřené hodnoty jsou automaticky ukládány a vyhodnocovány pomocí softwaru testXpert.

Tabulka 14: Technická data zkušebního stroje Zwick/Röll

Technická data Zwick/Röll 1456	
Výška stroje	2012mm
Strojová výška	1284mm
Šířka pracovního prostoru	420mm
Celková šířka	630mm
Hmotnost	150kg
Maximální zkušební síla	20kN
Maximální rychlost posuvu příčnicku	750mm/min
Extenziometr	Macro
Vyhodnocovací software	Master-tah
	Standard- ohyb a tlak
	Standardní hysterézní (cyklické) zkoušky

2.4.1 Statistické vyhodnocení naměřených dat

Při vyhodnocování získaných dat bylo použito vztahů pro statistické vyhodnocování, které jsou následovné:

- Aritmetický průměr : z n naměřených výsledků se udělá suma dělená jejich počtem

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- Rozptyl „ s^2 “ : je definován jako střední hodnota kvadrátů odchylek od střední hodnoty.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10\bar{x}^2)$$

- Směrodatná odchylka „s“ : je absolutní hodnota druhé mocniny rozptylu „s²“

$$s = |\sqrt{s^2}|$$

- Střední kvadratická chyba aritmetického průměru „σ“ . Využívá se pro vyhodnocení přesnosti měření.

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - 10 \cdot \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

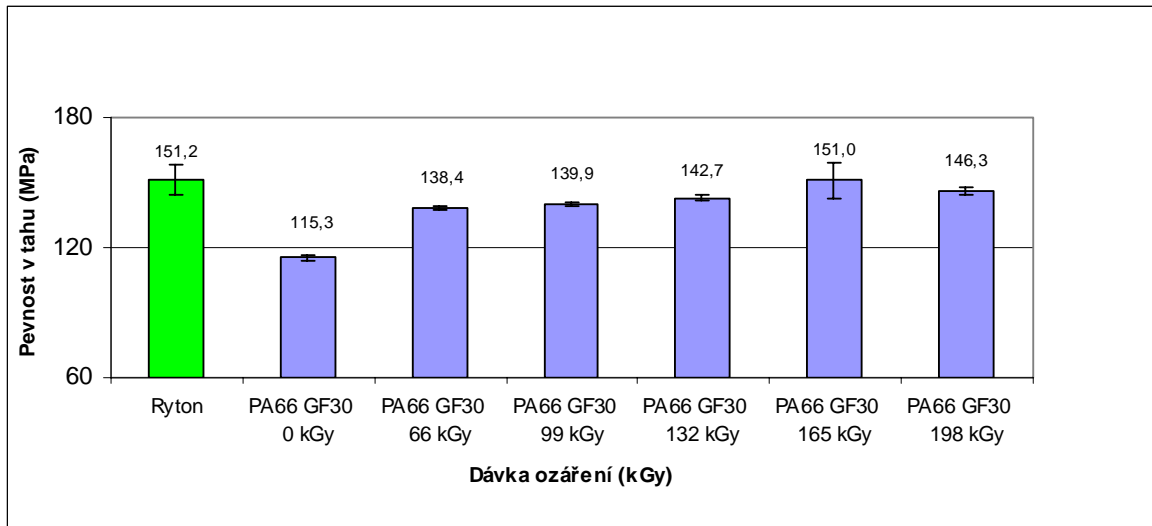
[9]

2.4.2 Výsledky a vyhodnocení zkoušek pevnosti v tahu

Pro srovnání mechanických vlastností původního materiálu PPS a navrhovaných alternativních materiálů byly sledovány následující veličiny:

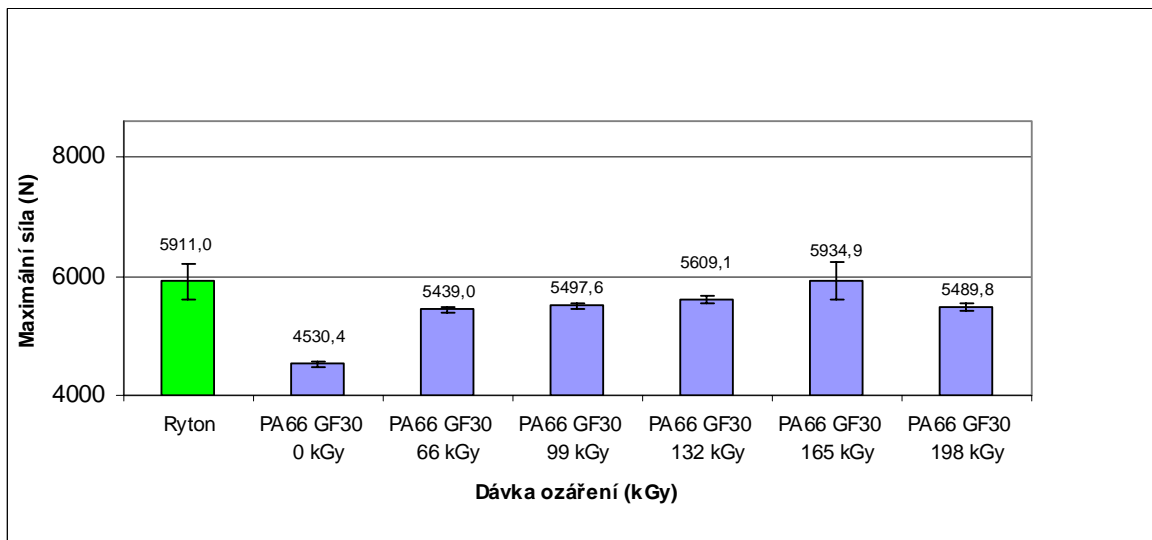
- modul pružnosti
- mez pevnosti v tahu
- maximální síla

Naměřené hodnoty podle stupňů ozáření byly graficky znázorněny a vyhodnoceny. Každý vzorek materiálu byl podroben testování deseti zkušebních tělísek

Naměřené hodnoty při zkoušce tahem při pokojové teplotě 23°C**PA66 GF30 Frianyl**

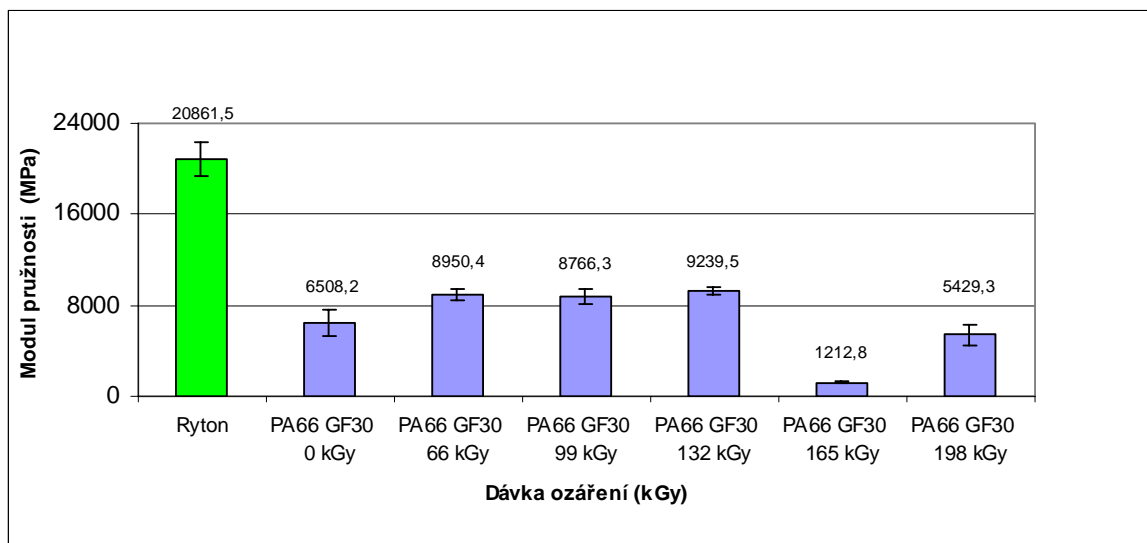
Obrázek 39: Pevnost v tahu PA66 GF30 Frianyl

Při porovnávání dosažených hodnot maximální pevnosti v tahu je patrné, že se vzrůstající hodnotou ozáření vzrůstá maximální pevnost. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo při ozáření dávkou 165kGy (Obr.39), kdy hodnota meze pevnosti dosáhla 151MPa. Tato hodnota je srovnatelná s pevností PPS 151,2MPa. Nejhorší pevnost má neozářený vzorek, kde byla naměřena hodnota pevnosti 115MPa.



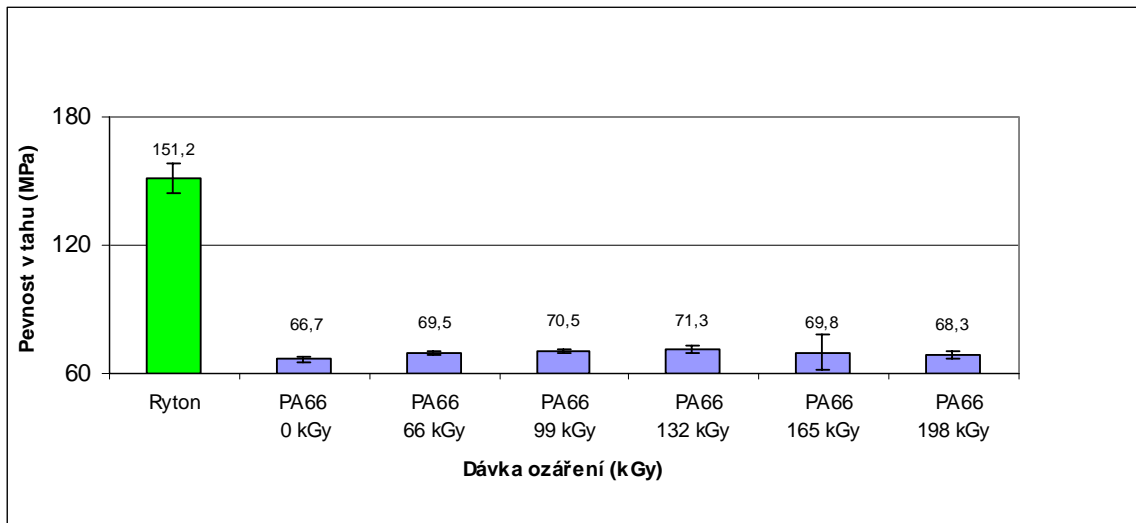
Obrázek 40: Maximální síla PA66 GF30 Frianyl

Největší naměřená maximální síla 5935N byla zjištěna při měření vzorku ozářeného 165kGy (Obr.40). Tato hodnota mírně převyšuje maximální sílu 5911N dosaženou při zkoušce materiálu Ryton. Nejmenší síly bylo dosaženo při měření neozářeném vzorku, kde hodnota maximální síly byla 4530N. Z celkového pohledu lze konstatovat, že dosažené hodnoty maximální síly (kromě neozářeného vzorku) jsou srovnatelné s dosaženými hodnotami maximální pevnosti v tahu u materiálu Ryton.



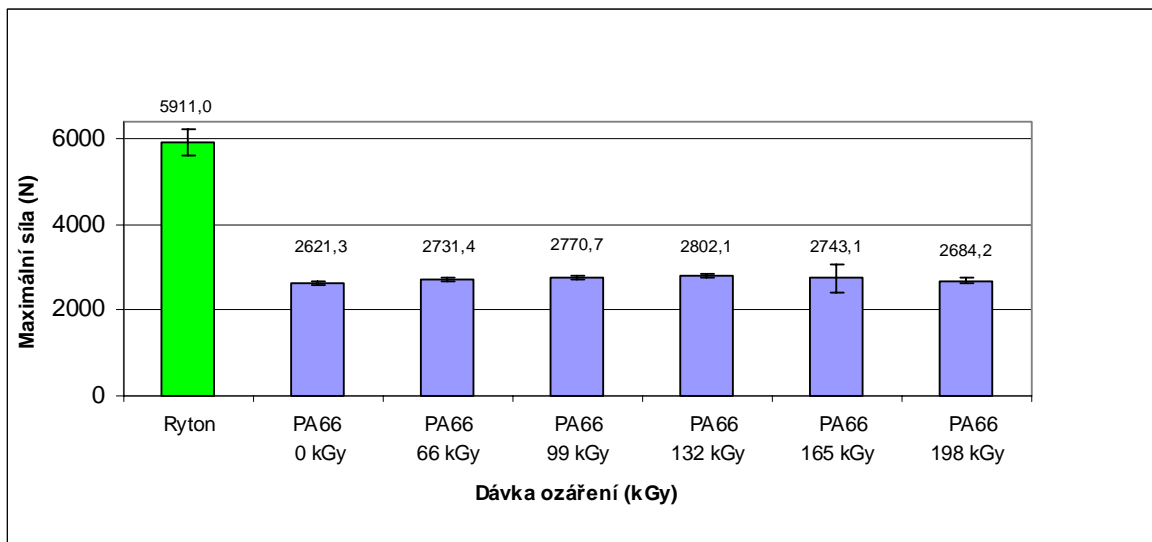
Obrázek 41: Modul pružnosti PA66 GF30 Frianyl

Naměřené hodnoty modulu pružnosti v tahu, jenž reprezentuje tuhost zkoušeného materiálu, vzrůstají až po vzorek ozářený 132 kGy (Obr.41), kde byla zjištěna hodnota modulu pružnosti v tahu (tuhosti) 9240 MPa. Od této hodnoty ozáření má již modul pružnosti klesající tendenci. Nejmenší hodnoty tuhosti bylo dosaženo u vzorku ozářeném 165kGy, kdy byl zaznamenána hodnota pouhých 1213 MPa. V celkovém porovnání jsou hodnoty tuhosti výrazně nižší, než naměřené hodnoty PPS, které dosahují svého maxima u hodnoty 20862 MPa.

PA66 Frianyl VN

Obrázek 42: Pevnost v tahu PA66 Frianyl VN

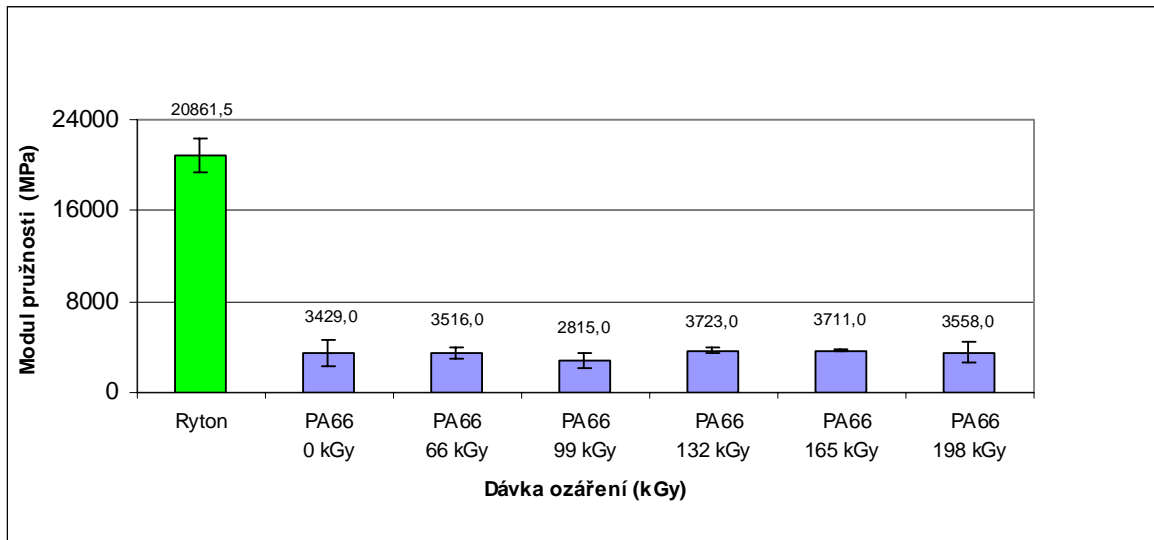
Maximální pevnost v tahu u neplněného PA66 vykazuje u neozářeného vzorku 67MPa. Se vzrůstajícím stupněm ozáření hodnoty maximální pevnosti v tahu rostou. Nejvyšší hodnoty 71MPa bylo dosaženo u vzorku ozářeném dávkou 132 kGy. Od této hranice ozáření hodnoty maximální pevnosti opět klesají. (Obr.42)



Obrázek 43: Maximální síla PA66 Frianyl VN

Naměřené hodnoty maximálních sil se pohybují v pásmu mezi 2620N u neozářeného vzorku až po 2800N u vzorku ozářeném 132 kGy (Obr.43), kde maximální hodnota síly dosahuje

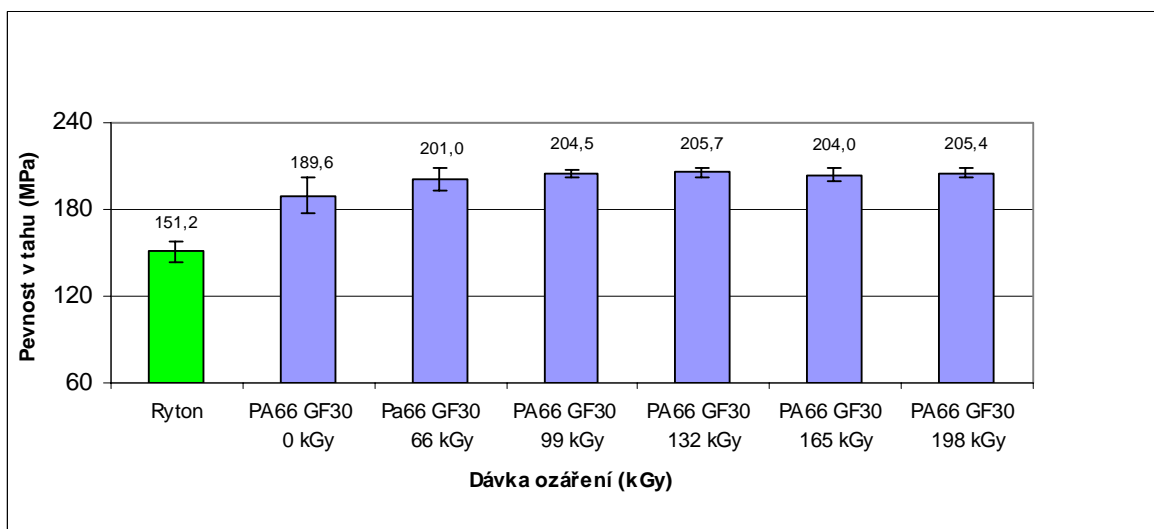
svého maxima. Od této hranice se hodnoty maximálních sil opět snižují. Nejhorších výsledků bylo dosaženo u neozařených vzorků materiálu PA66.



Obrázek 44: Modul pružnosti PA66 Frianyl VN

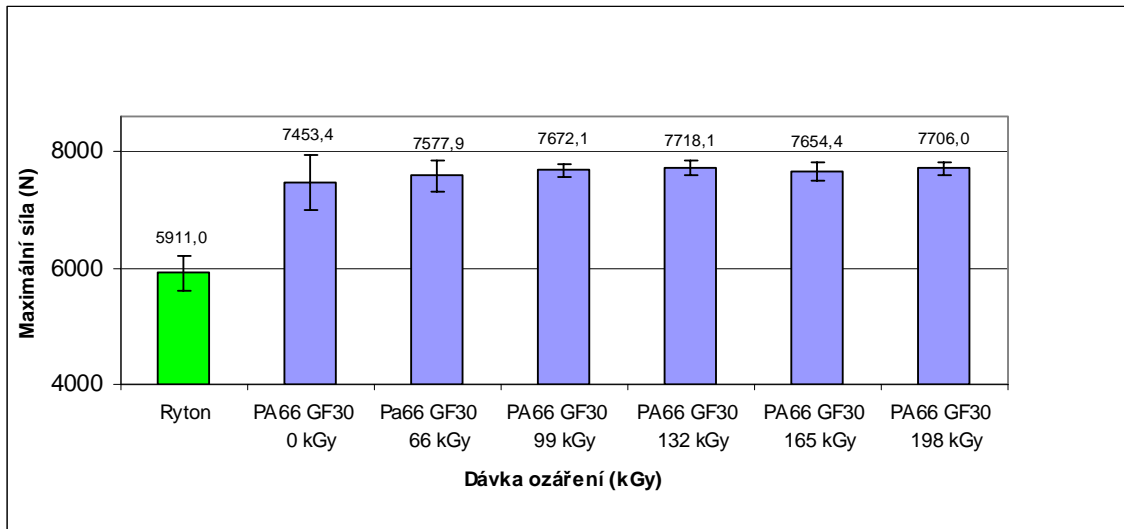
Nejnižší hodnota modulu pružnosti v tahu (tuhosti) byla naměřena u vzorku ozářeném 99kGy. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u vzorku ozářeném 132 kGy, kde hodnota modulu pružnosti v tahu je 3723MPa. (Obr.44) Z celkového pohledu vykazuje tento materiál řádově nižší tuhost v porovnání s materiálem PPS / Rytion.

PA66 GF30 Creamid



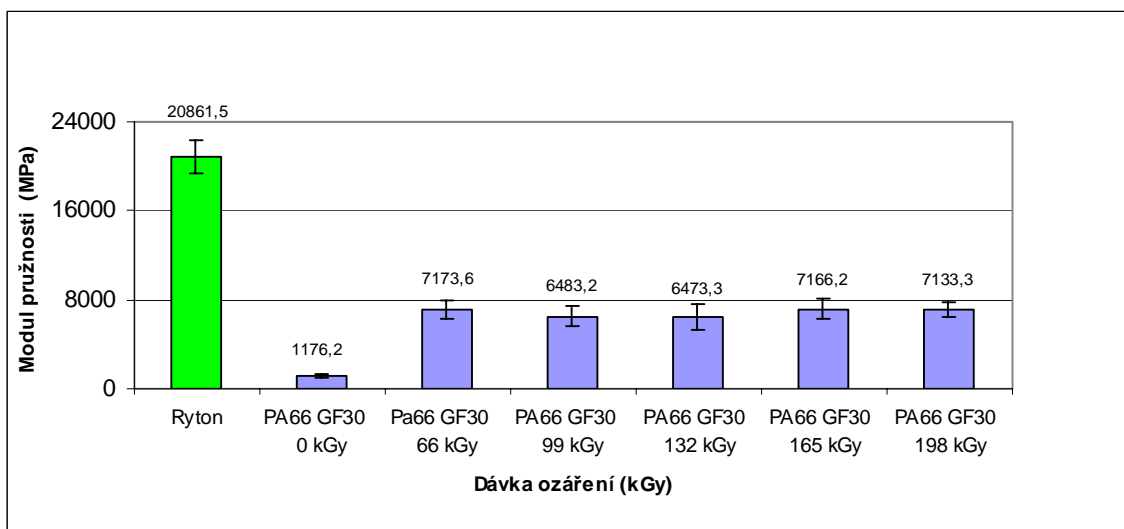
Obrázek 45: Pevnost v tahu PA66 GF30 Creamid

Hodnoty maximální pevnosti v tahu mají se vzrůstajícím stupněm ozáření rostoucí tendenci. Nejvyšší hodnoty 206 MPa bylo dosaženo při dávce ozáření 132kGy (Obr.45). Nejnižší pevnost má neozářený vzorek s hodnotou 190 MPa. Z celkového pohledu je maximální pevnost materiálu Creamid výrazně vyšší, než u materiálu Ryton.



Obrázek 46: Maximální síla PA66 GF30 Creamid

Nejvyšší hodnota maximální síly byla zjištěna při měření vzorku ozářeného 132kGy (Obr.46). Hodnota 7718N výrazně převyšuje maximální sílu dosaženou při zkoušce materiálu Ryton, kde bylo naměřena hodnota 5911N. Nejmenší hodnota maximální síly 7450N byla dosažena na neozářeném vzorku. Všechny vzorky z Creamidu výrazně převyšují hodnoty maximální síly v porovnání s materiálem PPS/Ryton.



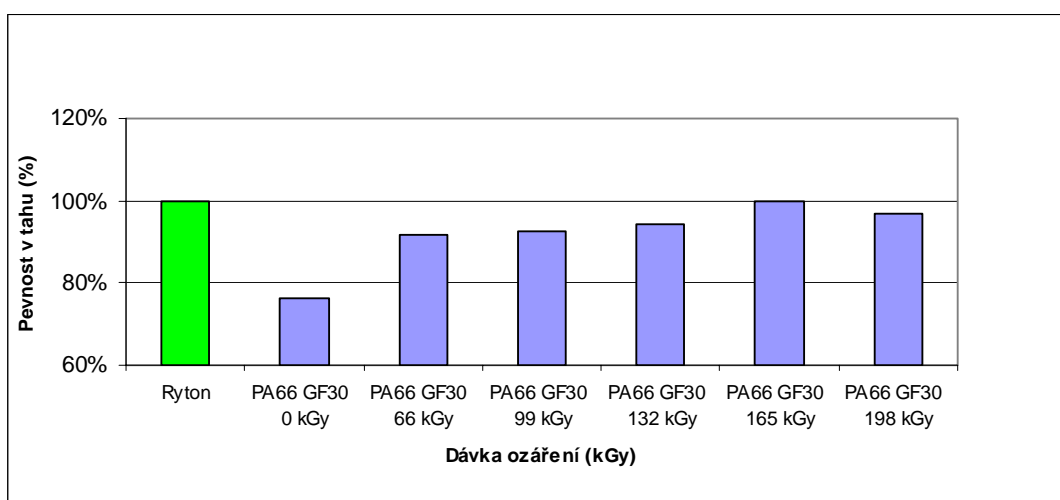
Obrázek 47: Modul pružnosti PA66 GF30 Creamid

Výsledky měření modulu pružnosti v tahu (tuhosti) materiálu Creamid ukázaly, že mezi neozářeným vzorkem a vzorkem ozářeným 66kGy dojde ke skokovému nárůstu tuhosti o 6000MPa (Obr.46). Od této úrovně ozáření se již tuhost výrazně nemění a pohybuje se v rozmezí mezi 6470MPa až 7170 MPa. Z celkového pohledu je tuhost Creamidu v porovnání s materiálem PPS/ Ryton obdobně jako u materiálu PA66 GF30 Frianyl výrazně nižší.

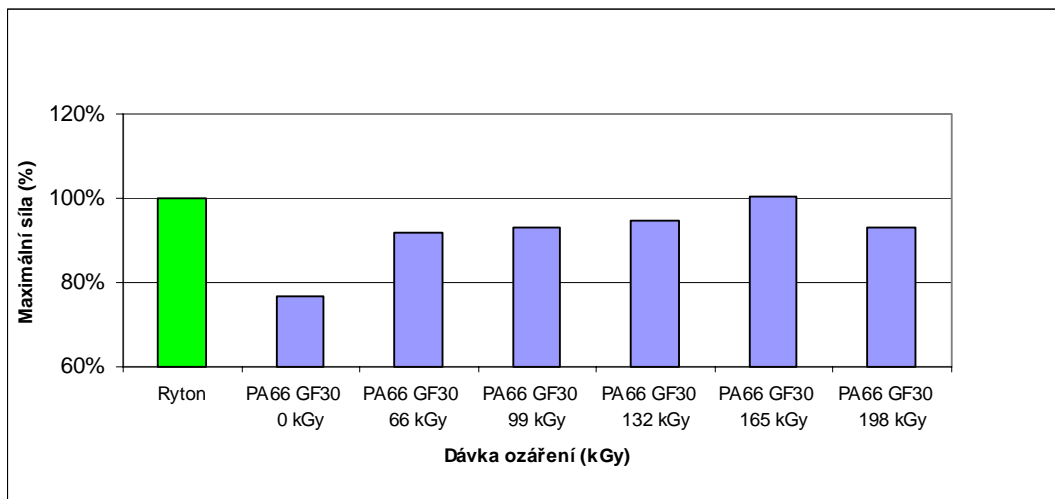
Vyhodnocení a diskuse výsledků zkoušek v tahu při pokojové teplotě 23°C

PA66 GF30 Frianyl

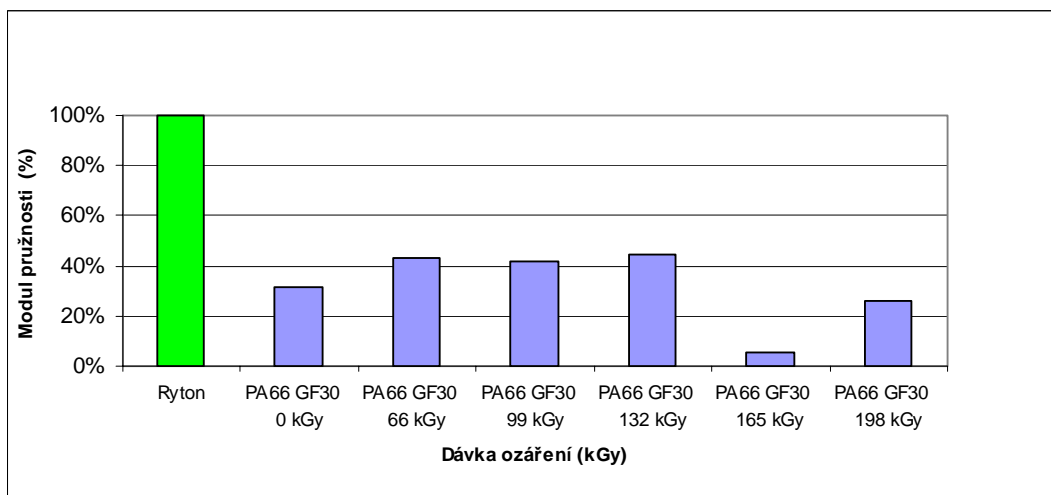
Neozářený vzorek materiálu dosahuje 76% maximální pevnosti v tahu v porovnání s materiálem Ryton. Již u dávky ozáření 66kGy dojde ke skokovému nárůstu maximální pevnosti v tahu k hranici (-8%) k materiálu Ryton, která poté plynule roste až po dávku ozáření 165kGy, kdy dosáhne srovnatelné hodnoty s referenčním materiálem. (Obr.48) Od této hranice již s rostoucí dávkou ozáření maximální pevnost v tahu klesá. Hodnoty maximální síly korespondují s hodnotami maximální pevnosti v tahu, jak je patrné z obr.49. Z hlediska dosažených hodnot tuhosti se nejlepšího výsledku podařilo dosáhnout u vzorku ozářeného dávkou 132 kGy. Přesto je jeho hodnota o 56 % menší v porovnání s referenčním vzorkem PPS . (Obr.49,Obr.50)



Obrázek 48: Pevnost v tahu PA66 GF30 Frianyl



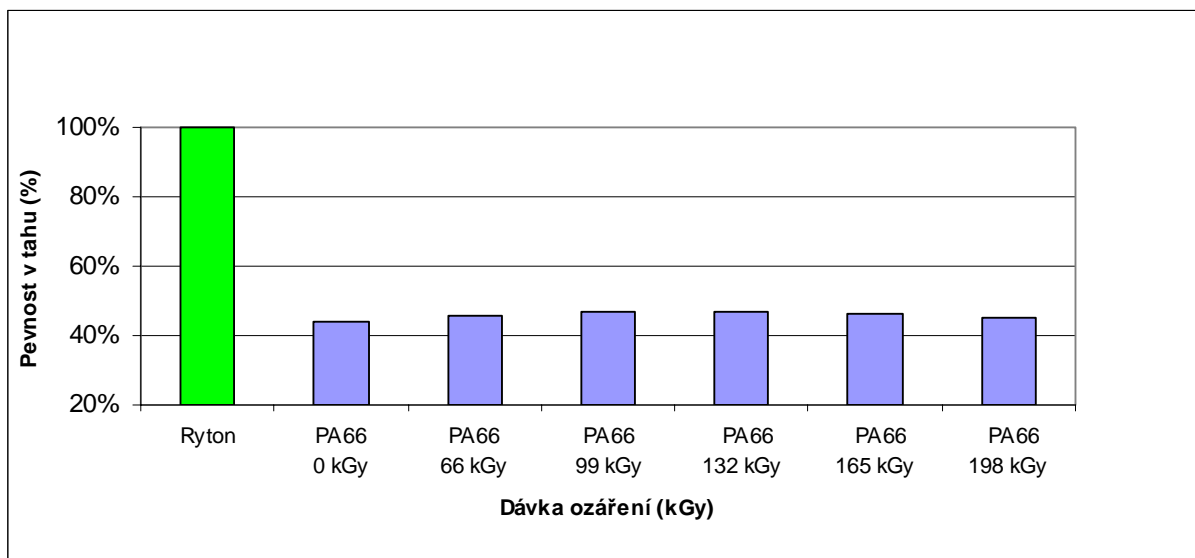
Obrázek 49: Maximální síla PA 66 GF30 Frianyl



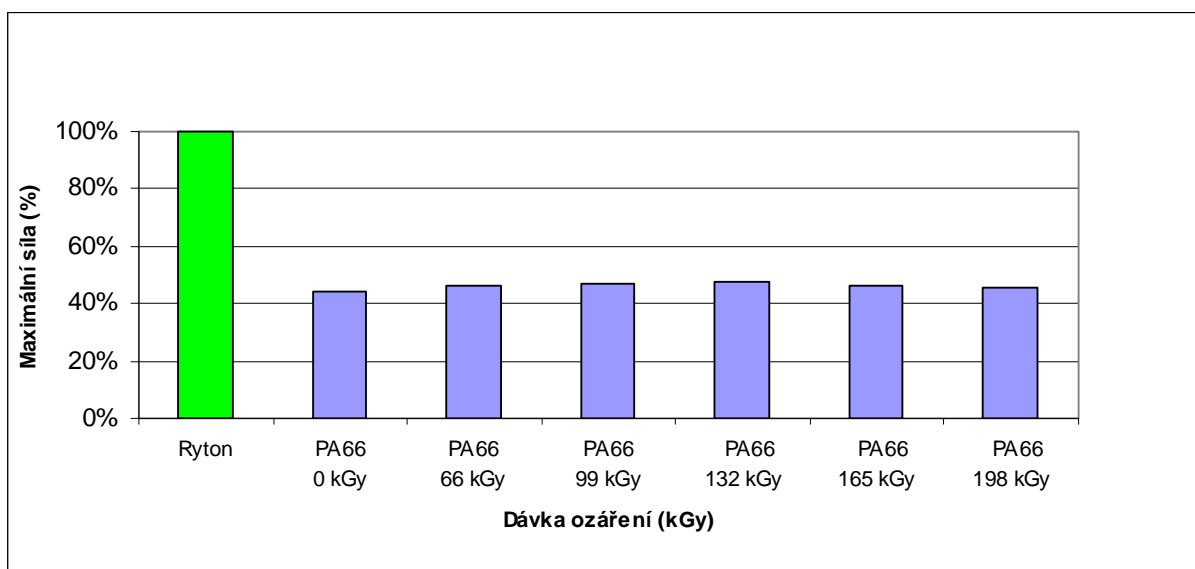
Obrázek 50: Modul pružnosti PA66 GF30 Frianyl

PA66 Frianyl VN

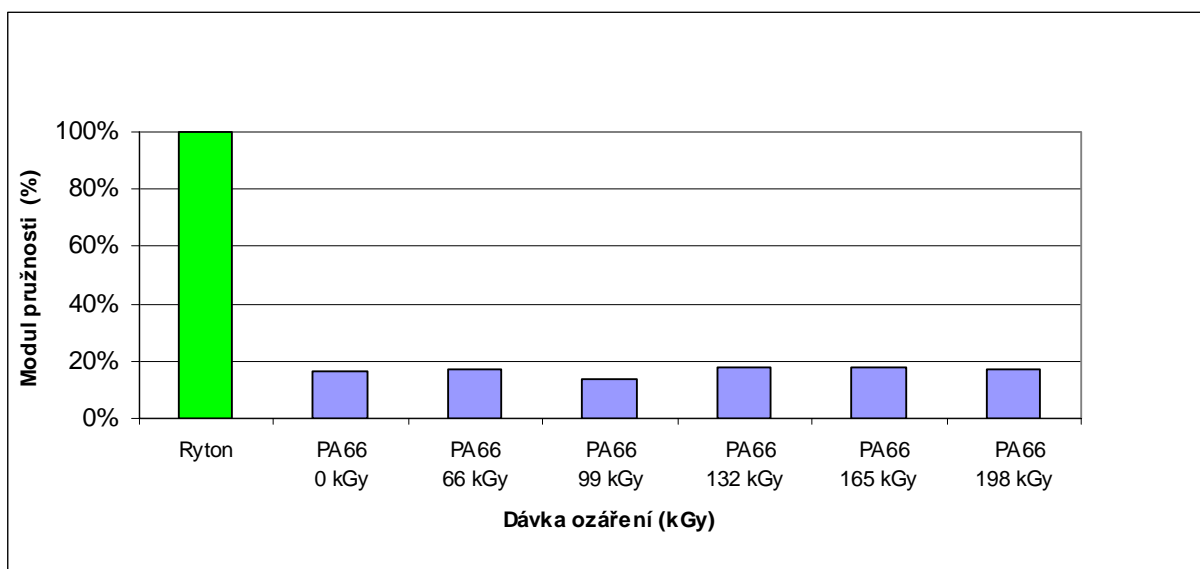
Hodnoty maximální pevnosti v tahu u neplněného PA66 leží v celém pásmu dávek ozáření v rozsahu 45-47% v poměru s referenčním materiálem Ryton. (Obr.51) Rovněž výsledky maximální síly potvrzují stejný trend. (Obr.52) Z hlediska tuhosti byla nejnižší hodnota naměřena u vzorku ozářeného 99kGy, která dosahuje 13% hodnoty vzorku PPS/Ryton a nejvyšší hodnoty (18% PPS) vykazoval vzorek ozářený 132kGy. (Obr.53) Z výše uvedených okolností nelze tento materiál použít jako plnohodnotnou náhradu za materiál PPS.



Obrázek 51: Pevnost v tahu PA66 Frianyl VN



Obrázek 52: Maximální síla PA66 Frianyl VN



Obrázek 53: Modul pružnosti PA66 Frianyl VN

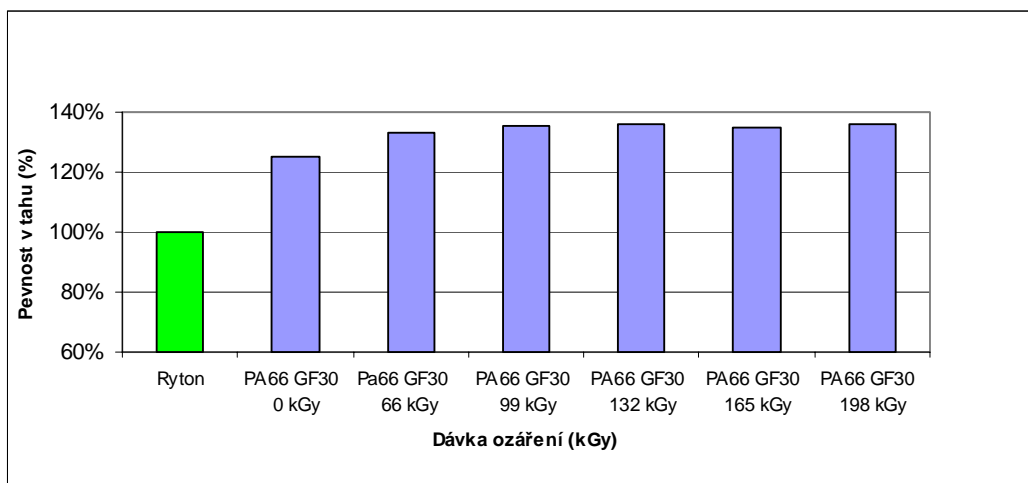
PA66 GF30 Creamid

Stanovené hodnoty maximální pevnosti v tahu materiálu PA66 GF30 Creamid mají se zvyšujícím se stupněm ozáření vzrůstající tendenci. (Obr.54) Již základní neozářený vzorek přesahuje o 25% hodnoty referenčního vzorku PPS. Nejlepší hodnoty bylo dosaženo při dávce ozáření 132kGy, kde byl naměřen nárůst pevnosti v tahu o 36%.

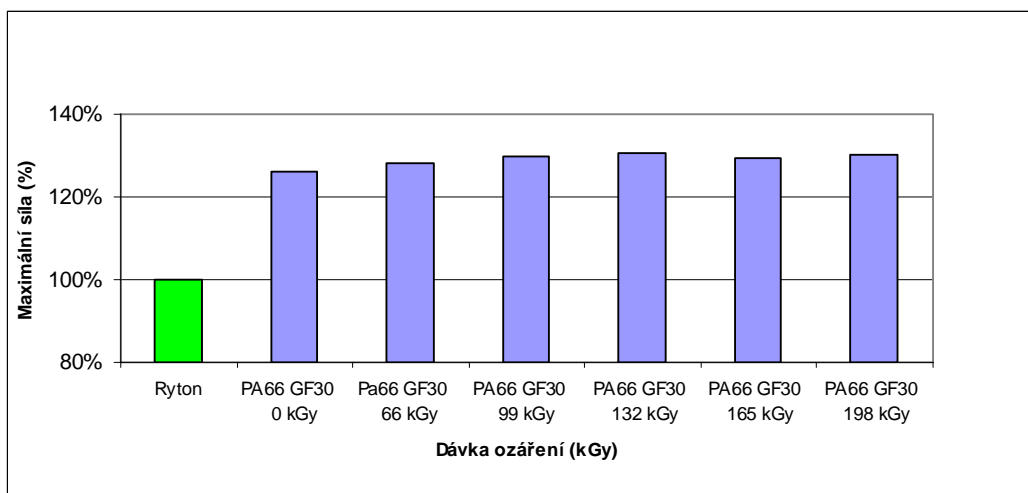
Obdobné výsledky znázorňují hodnoty maximálních sil, které převyšují hodnoty referenčního materiálu Ryton o 26% až 31%. (Obr.55)

Tuhost se zvýšila vlivem ozáření v rozsahu 66 kGy až 198 kGy o 31-34% v porovnání s referenčním materiálem PPS/Ryton. Základní neozářený vzorek Creamidu dosahuje pouhých 5% tuhosti PPS. (Obr.54,55,56)

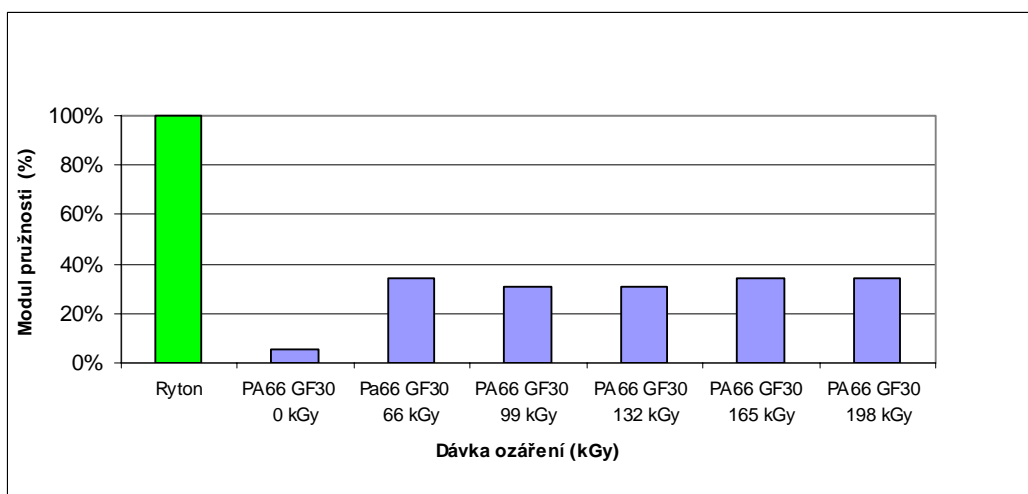
Jelikož všechny hodnoty v celém pásmu dávek ozáření výrazně převyšují potřebná specifika, lze tento materiál z hlediska maximální pevnosti v tahu doporučit jako možnou alternativu k materiálu Ryton.



Obrázek 54: Pevnost v tahu PA66 GF30 Creamid



Obrázek 55: Maximální síla PA66 GF30 Creamid



Obrázek 56: Modul pružnosti PA66 GF30 Creamid

2.5 Zkouška vrubové houževnatosti

Zkoušky vrubové houževnatosti byly provedeny na stroji Resil Impactor Junior. (Obr.58)
Zkoušky probíhaly podle ustanovení normy ČSN EN ISO 179-2. Zkušební tělesa byly vyrobeny v laboratoři UTB vstřikováním. Vruby byly vyrobeny na vrubovacím stroji Notchvis. (Obr.57)



Obrázek 57: Vrbovací přístroj Notchvis

Pro dynamické zkoušky materiálu byla použita Charpyho kladivo. Měřeno bylo pomocí přístroje Resil Impactor Junior. (Obr.58)



Obrázek 58: Zkušební přístroj Resil Impactor Junior

Tabulka 15: Technická data Resil Impactor Junior

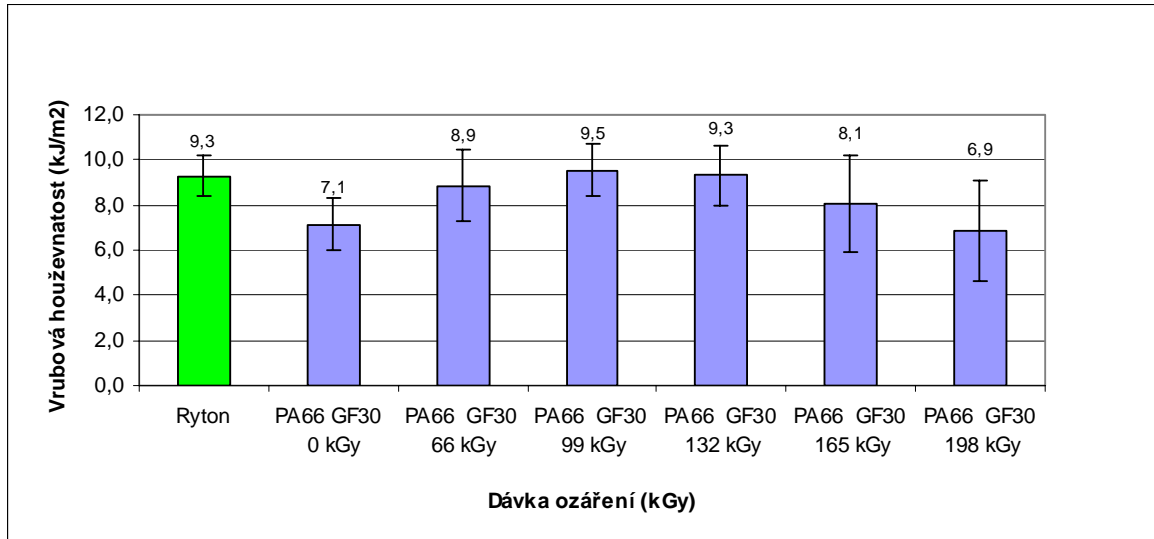
Technická data Resil Impactor Junior	
Výška stroje	900mm
Hloubka stroje	500mm
Šířka stroje	200mm
Hmotnost	180kg
Rázová energie	25J
Napětí	230V - 50Hz
Výkon	50W

2.5.1 Výsledky a vyhodnocení zkoušek vrubové houževnatosti

Pro srovnání mechanických vlastností původního materiálu PPS a navrhovaných alternativních materiálů byly sledovány následující veličiny :

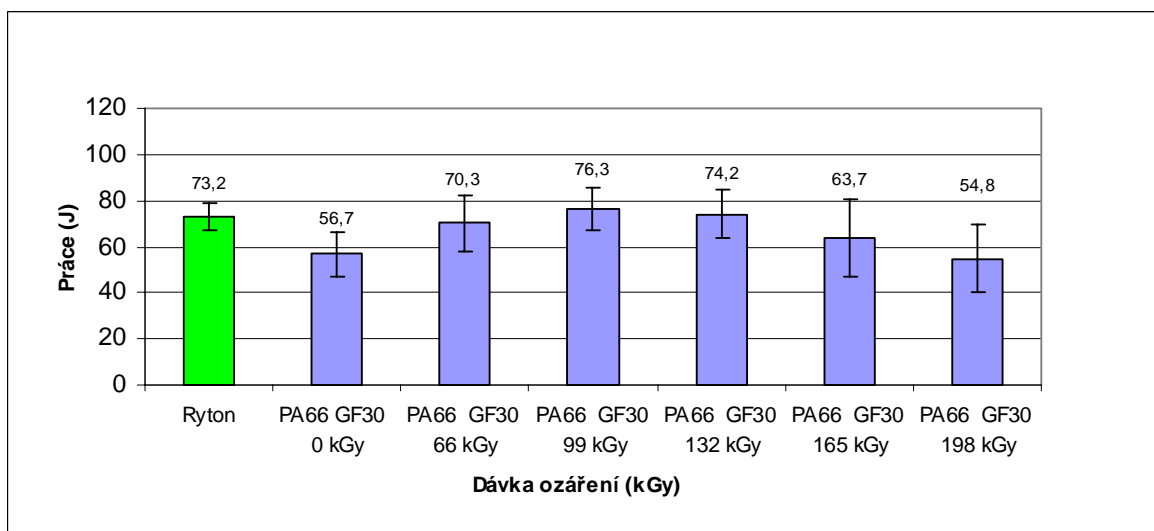
- vrubová houževnatost
- práce spotřebovaná na přeražení vzorku

Naměřené hodnoty podle stupňů ozáření byly graficky znázorněny a vyhodnoceny. Každý vzorek materiálu byl podroben testování deseti zkušebních tělísek.

Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti při pokojové teplotě 23°**PA66 GF30 Frianyl**

Obrázek 59: Vrubová houževnatost PA66 GF30 Frianyl

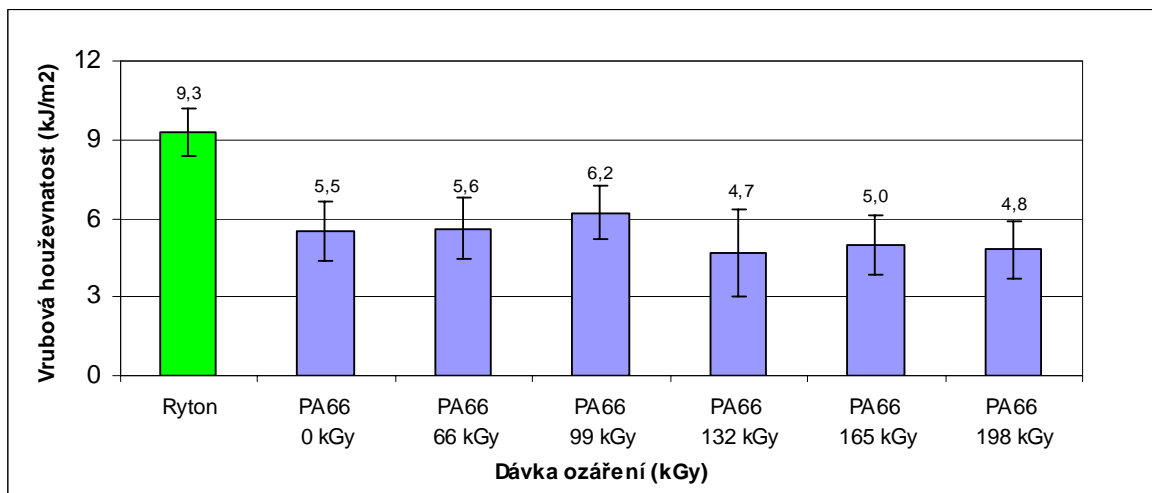
Od dávky ozáření 66kGy roste hodnota vrubové houževnatosti. (Obr.59) Maximální hodnoty $9,5\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ bylo dosaženo při ozáření 99kGy. Od této dávky ozáření hodnoty vrubové houževnatosti klesají. Při dávce ozáření 198kGy byla stanovena hodnota vrubové houževnatosti $6,9\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$.



Obrázek 60: Spotřebovaná práce PA66 GF30 Frianyl

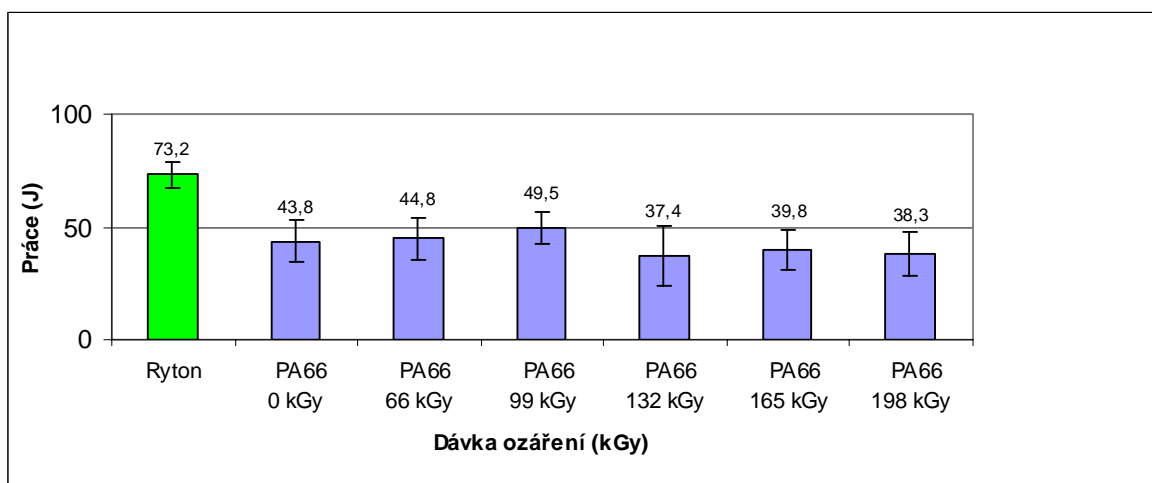
Práce potřebná pro přeražení vzorku stoupá se stupněm ozáření. (Obr.60) Nejlepšího výsledku bylo dosaženo u vzorku ozářeném 99 kGy, kde byla zjištěna hodnota 76J a která zároveň převyšuje naměřené hodnoty při zkouškách materiálu Ryton. Od této hodnoty má spotřebovaná práce klesající trend. Nejhorší hodnota byla zjištěna u vzorku ozářeném 198kGy.

PA66 Frianyl VN



Obrázek 61: Vrubová houževnatost PA66 Frianyl VN

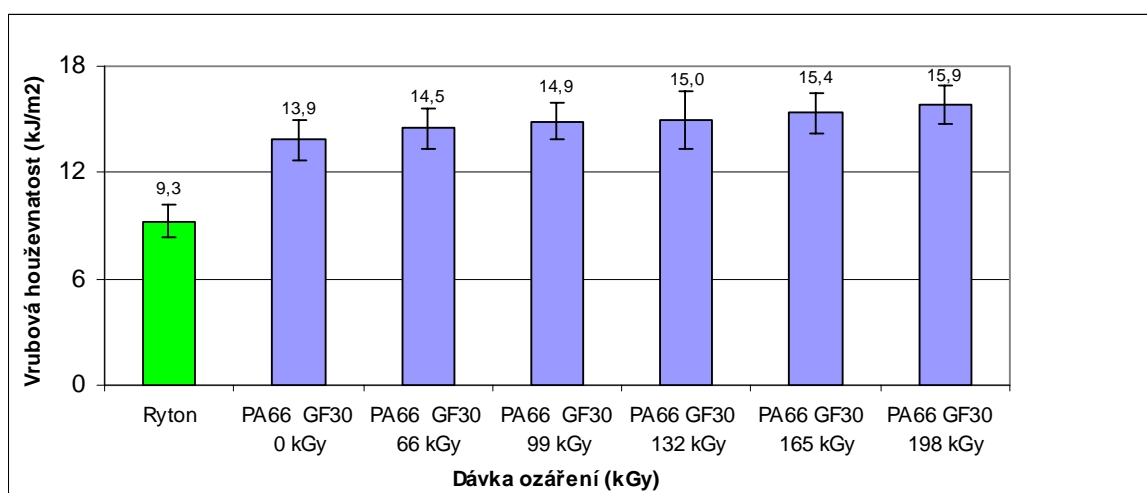
Neozářený vzorek materiálu PA66 Frianyl VN má vrubovou houževnatost 5,5 kJ.m⁻². (Obr.61) Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u vzorku materiálu ozářeném 99 kGy, kde hodnota vrubové houževnatosti byla 6,2 kJ.m⁻². Nejnižší hodnoty 4,7kJ.m⁻² bylo dosaženo u vzorku ozářeném 132kGy.



Obrázek 62: Spotřebovaná práce PA66 Frianyl VN

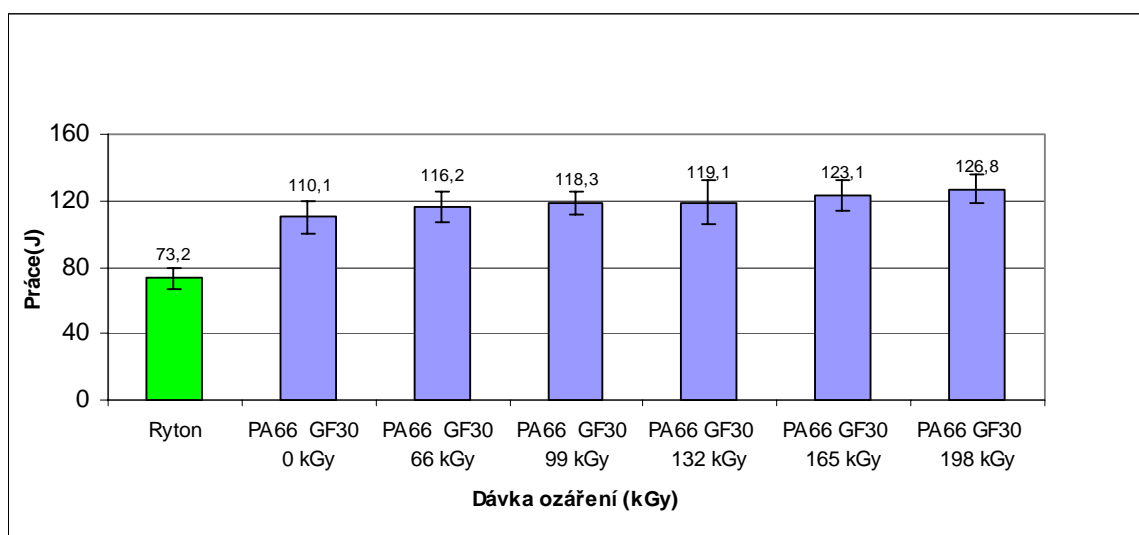
Nejvyšší hodnota spotřebované práce (Obr.62) byla zjištěna u vzorku ozářeném 99kGy. Od této hranice ozáření hodnoty spotřebované práce klesají a jsou v porovnání s neozářeným vzorkem výrazně horší.

PA66 GF30 Creamid



Obrázek 63: Vrubová houževnatost PA66 GF30 Creamid

Nejlepších hodnot vrubové houževnatosti bylo dosaženo při dávce ozáření 198kGy. Za těchto podmínek ozáření byla naměřena vrubová houževnatost $15,9 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$. (Obr.63) Nejmenší hodnota vrubové houževnatosti $14,5 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ byla naměřena při ozáření 66kGy.



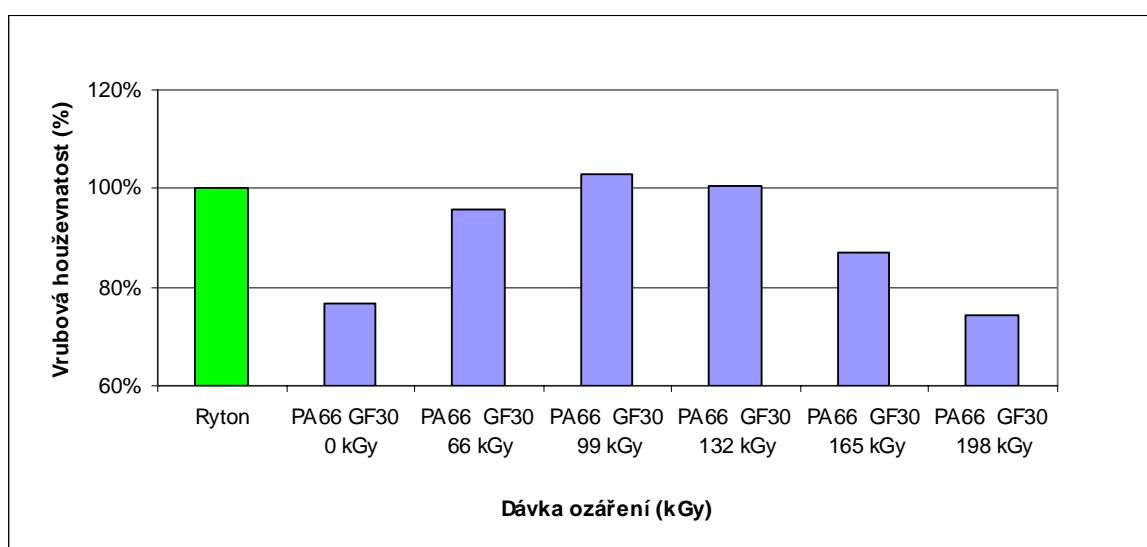
Obrázek 64: Spotřebovaná práce PA66 GF30 Creamid

Hodnoty spotřebované práce pro přeražení zkušebních vzorků u materiálu PA66 GF30 Creamid se pohybují v rozmezí 110 až 127J (Obr.64). Všechny vzorky podle jednotlivých stupňů ozáření spolehlivě převyšují materiál Ryton, kde bylo naměřeno 73J.

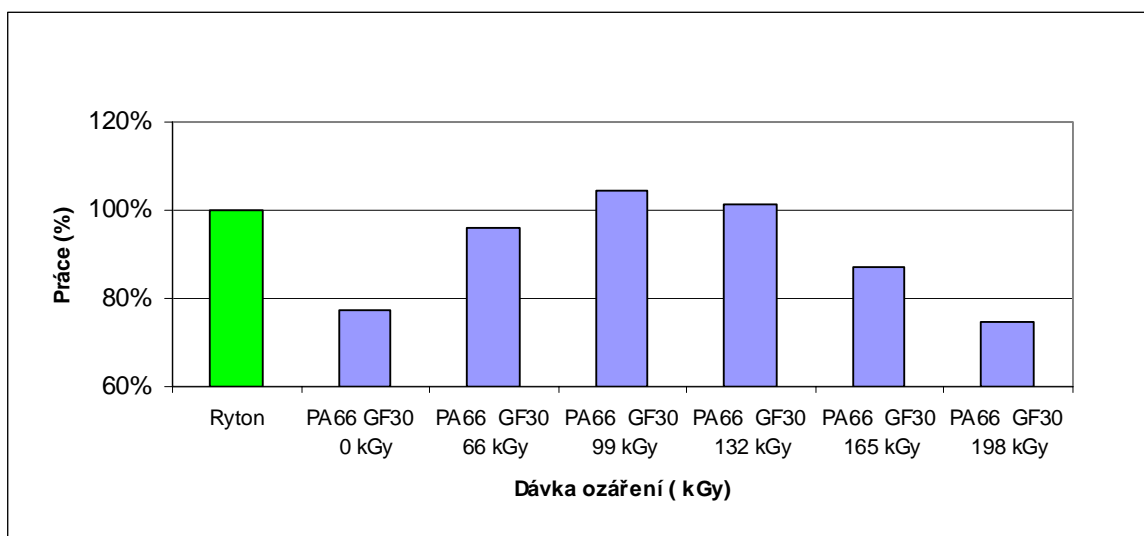
Vyhodnocení a diskuse výsledků zkoušek vrubové houževnatosti při pokojové teplotě 23°C

PA66 GF30 Frianyl

Materiál dosahuje srovnatelných hodnot vrubové houževnatosti v porovnání s referenčním materiálem Ryton v pásmu dávek 66-132 kGy. V případě neozářeného vzorku byla hodnota vrubové houževnatosti v porovnání s referenčním vzorkem o 23% menší. Podobný pokles byl pozorován rovněž v pásmu dávek ozáření 165 kGy a 198 kGy, kde hodnoty vrubové houževnatosti byly o 13% resp. 26 % v porovnání s referenčním materiálem Ryton menší. (Obr.65) Z hlediska posouzení spotřebované práce byl zaznamenán stejný trend hodnot, jako v případě výsledků vrubové houževnatosti. Na základě těchto výsledků lze tedy konstatovat, že materiál PA66 s 30%-im plnění skelným vláknem dosahuje v spektru dávek ozáření 99kGy-132kGy (Obr.66) potřebných hodnot vrubové houževnatosti srovnatelných s materiálem Ryton.



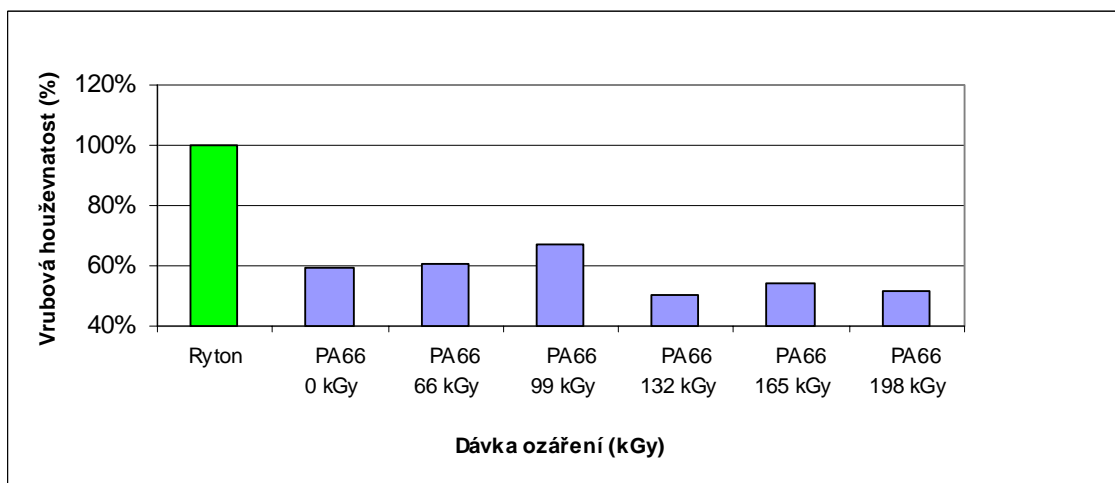
Obrázek 65: Vrubová houževnatost PA66 GF30 Frianyl



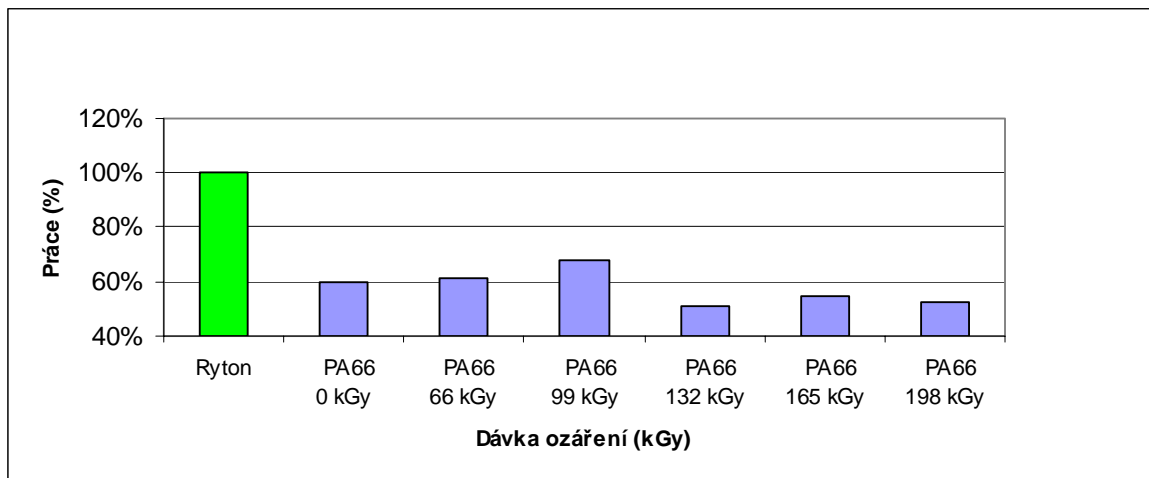
Obrázek 66: Spotřebovaná práce PA66 GF30 Frianyl

PA66 Frianyl VN

Neplněný materiál PA66 dosahuje nejlepší hodnoty vrubové houževnatosti při dávce ozáření 99kGy. (Obr.67) Ačkoli byl při této dávce ozáření naměřen nejlepší výsledek, přesto je hodnota vrubové houževnatosti velmi nízká (o 33% nižší v porovnání s referenčním vzorkem Ryton) V pásmech dávek ozáření 132-198kGy bylo dosaženo srovnatelných výsledků hodnot, ovšem v porovnání s neozářeným vzorkem došlo dokonce k poklesu vrubové houževnatosti o 5-8%. Z výše uvedených výsledků můžeme konstatovat, že neplněný materiál PA66 nedosahuje v celém spektru dávek ozáření potřebných hodnot vrubové houževnatosti srovnatelných s materiálem Ryton. Podobných výsledků bylo dosaženo i v případě spotřebované práce. (Obr.68)



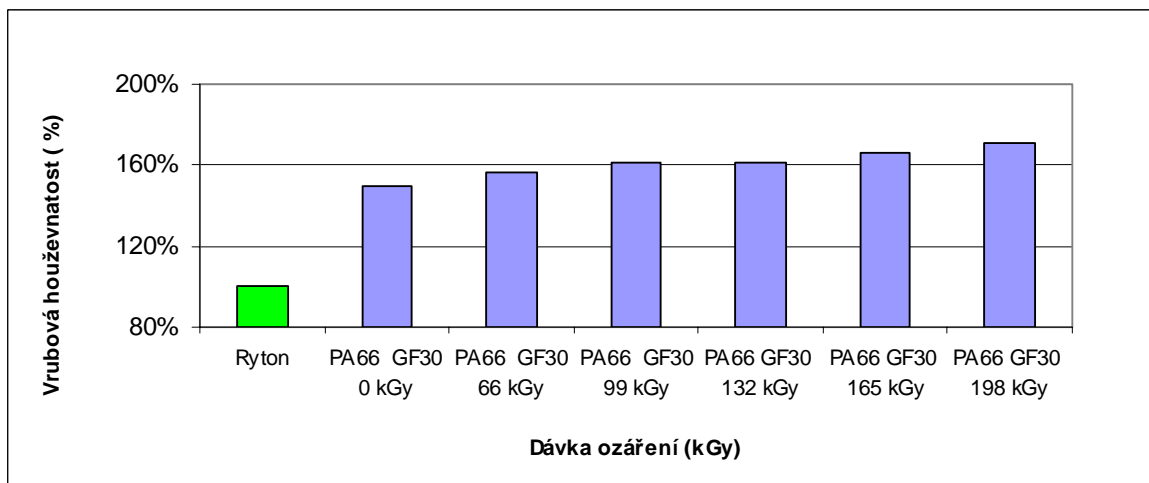
Obrázek 67: Vrubová houževnatost PA66 Frianyl VN



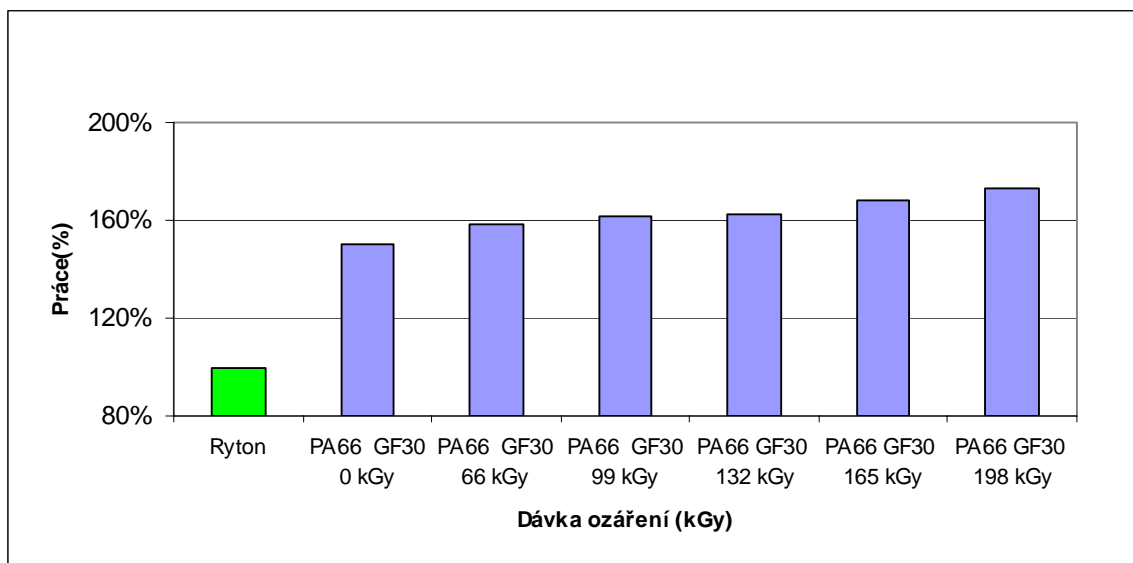
Obrázek 68: Spotřebovaná práce PA66 Frianyl VN

PA66 GF30 Creamid

Hodnoty vrubové houževnatosti materiálu PA66 GF30 Creamid mají se zvyšujícím se stupněm ozáření rostoucí tendenci. (Obr.69,70) Za povšimnutí stojí fakt, že již základní neozářený vzorek Creamidu má řádově vyšší houževnatost o 50% vyšší než referenční vzorek a lze tedy predikovat výrazně nižší sklon k porušení materiálu v porovnání s materiálem Ryton při stejné deformaci vyvolaném vnější mechanickou zátěží. Nejlepší hodnoty bylo dosaženo při dávce ozáření 198kGy, kde byl naměřen nárůst vrubové houževnatosti o 71%. Jelikož všechny hodnoty v celém pásmu dávek ozáření dostatečně splňují potřebná specifika, lze tento materiál z hlediska vrubové houževnatosti doporučit jako možnou alternativu k materiálu Ryton.



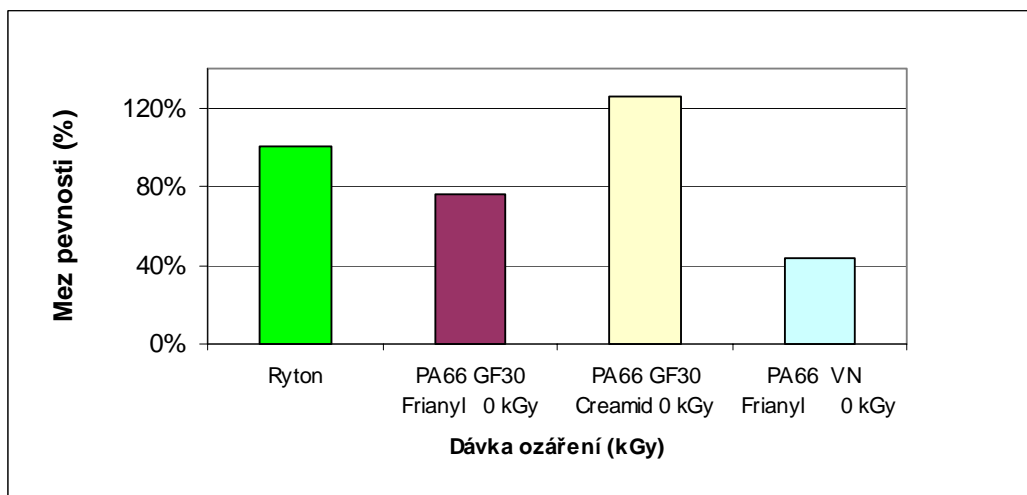
Obrázek 69: Vrubová houževnatost PA66 GF30 Creamid



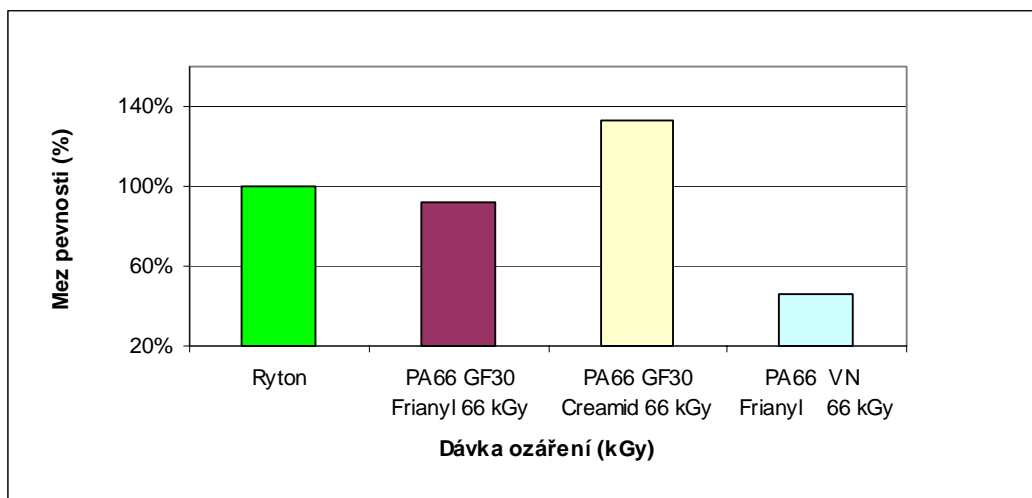
Obrázek 70: Spotřebovaná práce PA66 GF 30 Creamid

2.6 Volba alternativního materiálu na základě provedených zkoušek

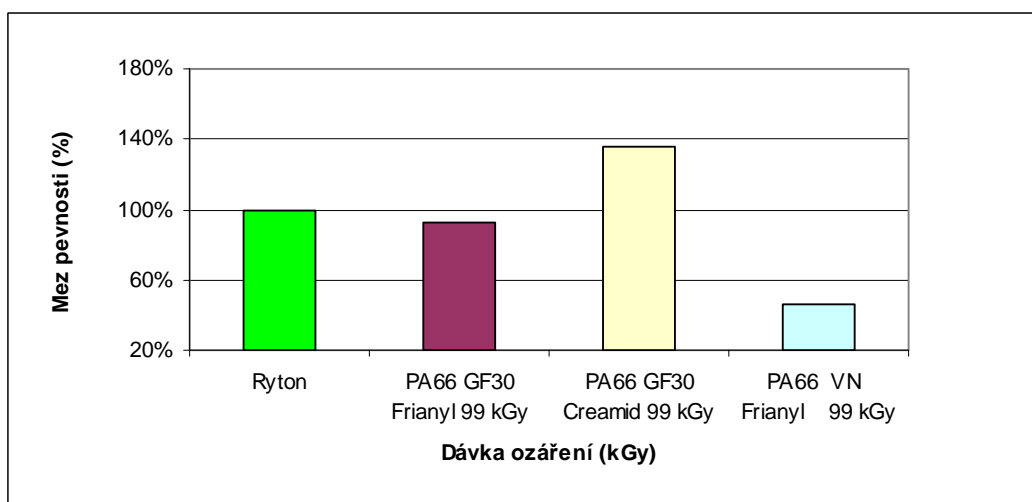
První vhodnou alternativou pro nahrazení materiálu PPS z hlediska meze pevnosti v tahu lze označit PA66 GF30 Creamid. Tento materiál převyšuje pevnost PPS již v neozářeném stavu o 25%. (Obr.71 až 76) Nejlepších hodnot pevnosti dosahuje při dávce ozáření 132kGy, kde se projevilo 36% zlepšení oproti referenčnímu materiálu Ryton. Druhý v pořadí je materiál PA66 GF30 Frianyl, který má při dávce ozáření 195 kGy stejnou pevnost jako materiál PPS/Ryton. Třetí ze zkoušených materiálů PA66 Frianyl VN ani jednou nevyhověl požadované pevnosti.



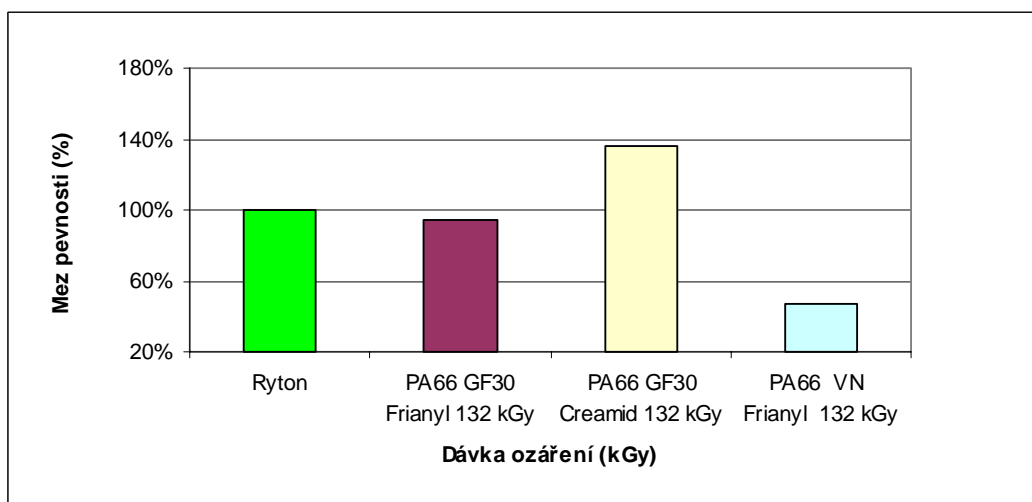
Obrázek 71: Mez pevnosti



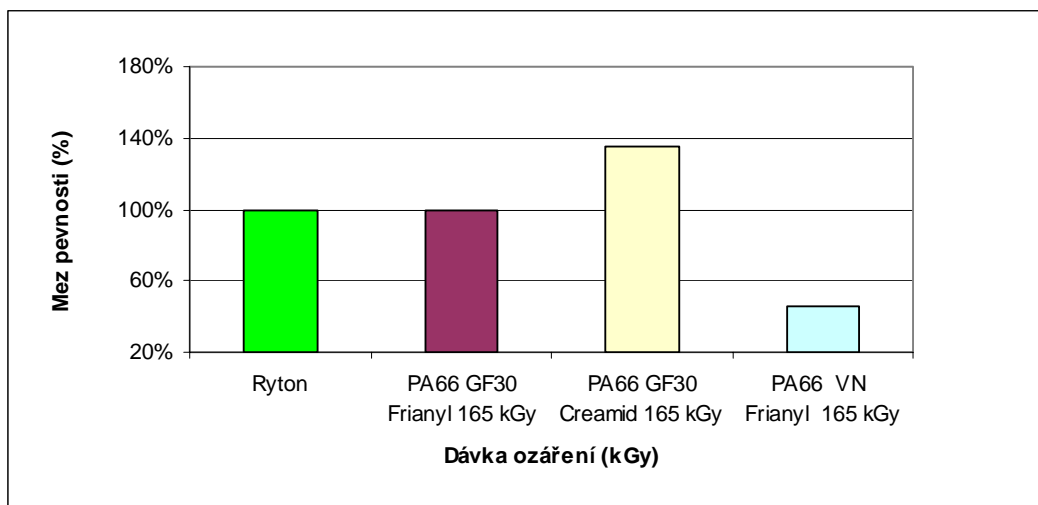
Obrázek 72: Mez pevnosti



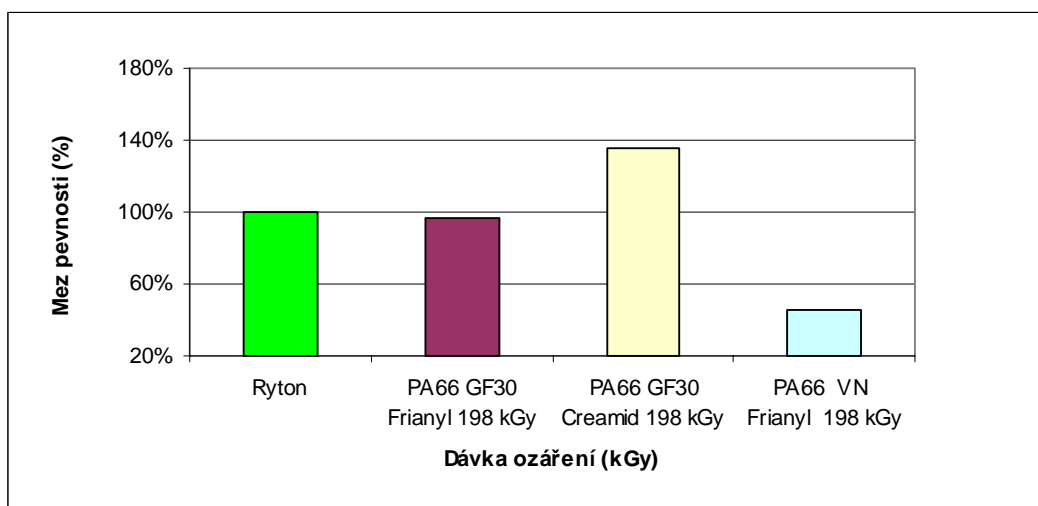
Obrázek 73: Mez pevnosti



Obrázek 74: Mez pevnosti



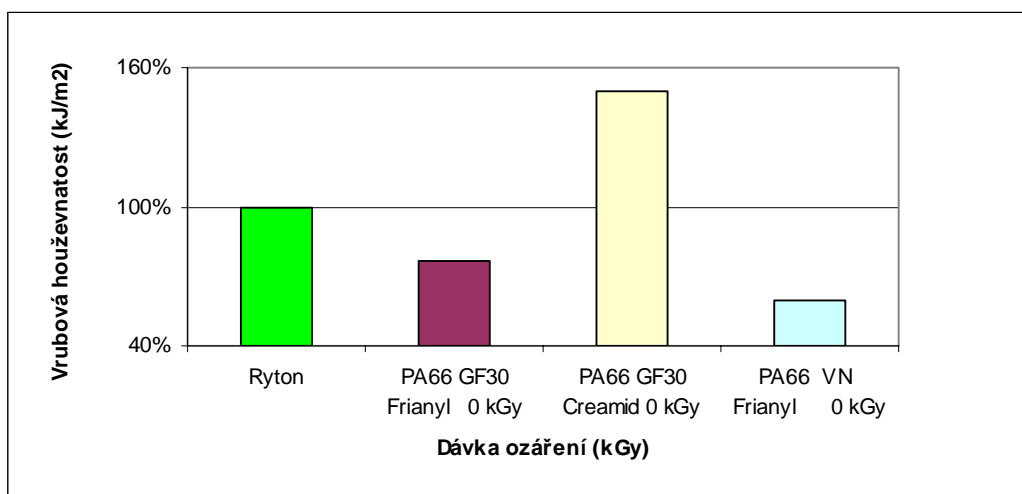
Obrázek 75: Mez pevnosti



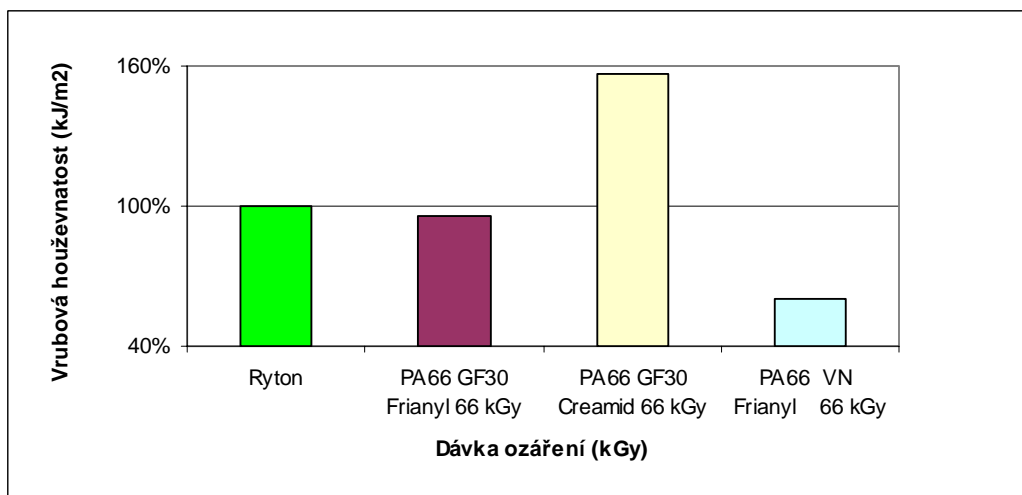
Obrázek 76: Mez pevnosti

První vhodnou alternativou pro nahrazení materiálu PPS z hlediska ***vrubové houževnatosti*** lze označit PA66 GF30 Creamid. Tento materiál převyšuje pevnost PPS již v neozářeném stavu o 50%. Nejlepších hodnot vrubové houževnatosti dosahuje při dávce ozáření 198kGy, kde se projevilo 71% zlepšení oproti referenčnímu materiálu Ryton. Druhý v pořadí je materiál PA66 GF30 Frianyl, který má při dávce ozáření 99 kGy o 3% vyšší vrubovou houževnatost než materiál PPS/Ryton. Třetí ze zkoušených materiálů PA66 Frianyl VN ani jednou nevyhověl požadovaným hodnotám. (Obr.77 až 82)

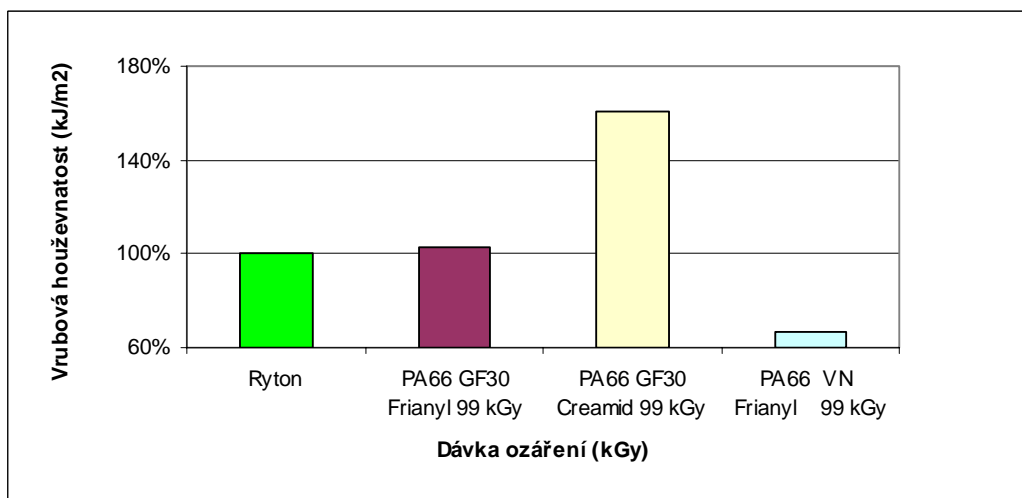
Na závěr lze s ohledem na zjištěná fakta konstatovat, že nejvýhodnějším materiálem pro nahrazení PPS/ Ryton je materiál **PA66 GF30 Creamid** při dávce ozáření **132kGy**.



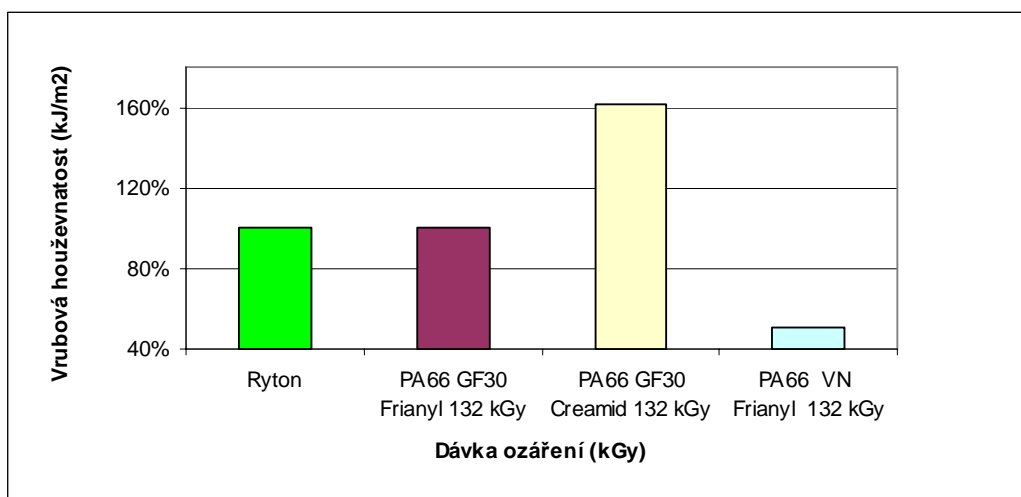
Obrázek 77: Vrubová houževnatost



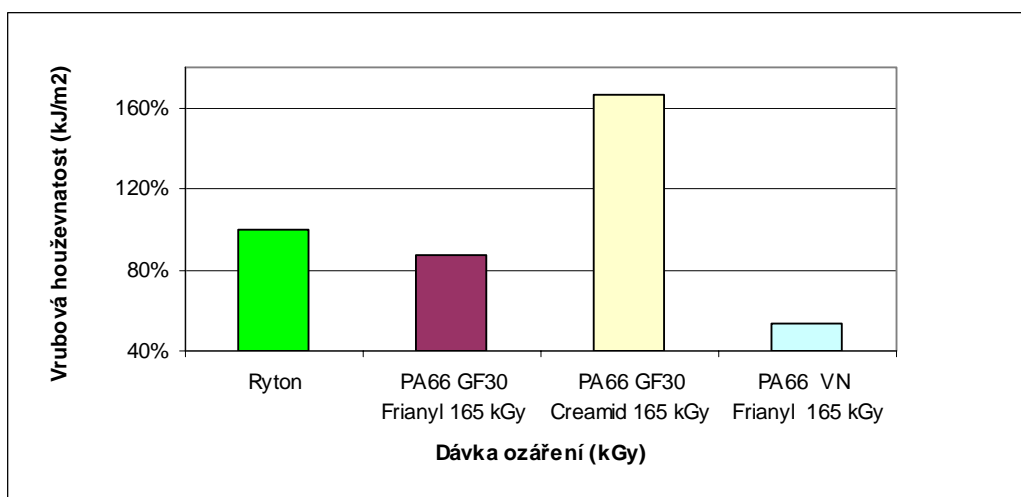
Obrázek 78: Vrubová houževnatost



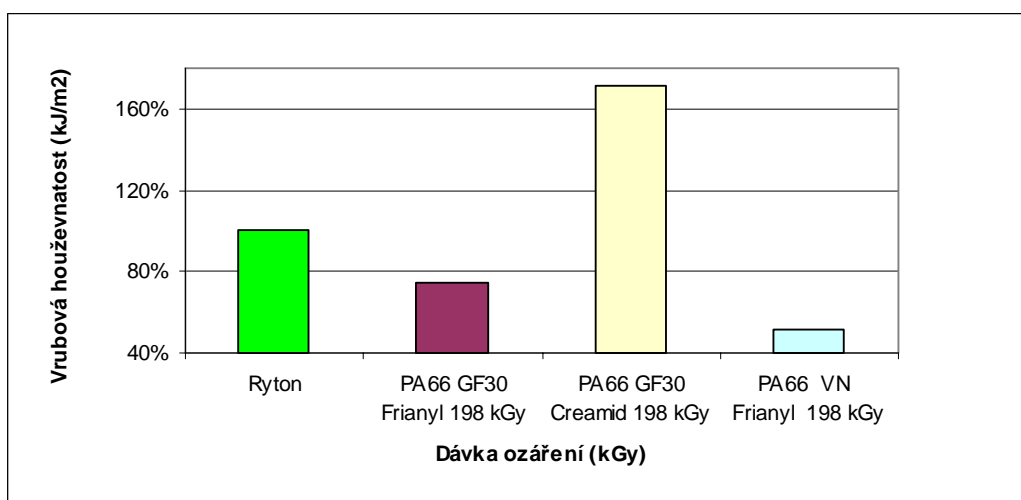
Obrázek 79: Vrubová houževnatost



Obrázek 80: Vrubová houževnatost



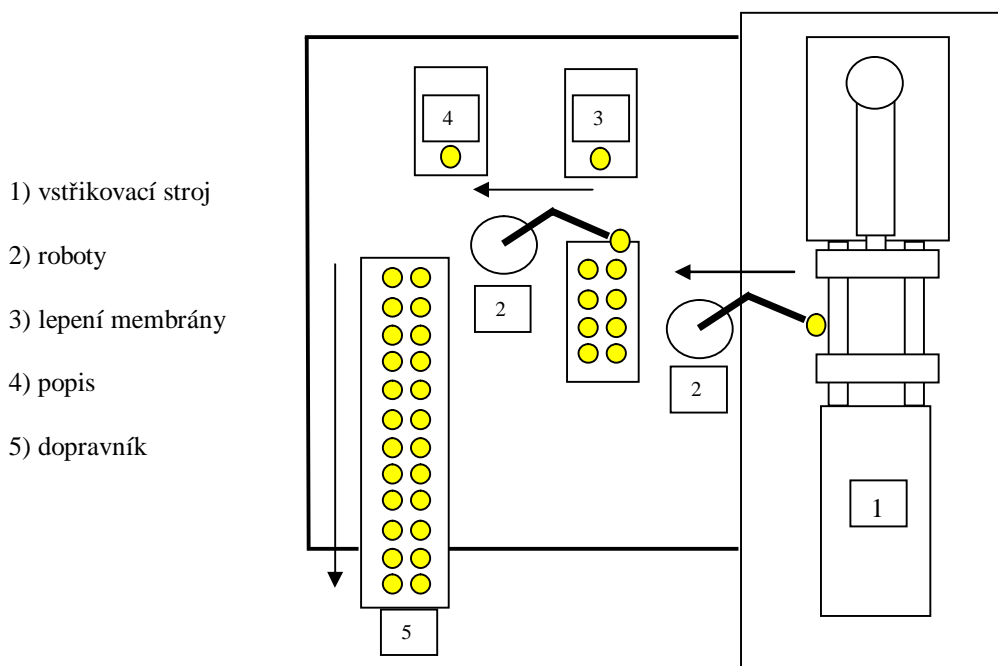
Obrázek 81: Vrubová houževnatost



Obrázek 82: Vrubová houževnatost

2.7 Popis výrobní linky

Stěžejním prvkem celé sestavy výrobku je plášť modulu, který je vyráběn v plně automatizované lince znázorněné na přiloženém schématu. Základem výrobní linky je vstřikovací stroj o velikosti uzavírací síly 600 tun. Manipulaci s výstřiky zabezpečují šestiosé roboty. První robot zakládá do vstřikovací formy kovové matice a zároveň odebírá hotové díly ze vstřikovací formy. Díl odloží na odkládací / chladicí stanici, kde se plášť modulu dostatečně ochladí, aby bylo možné provést další operaci. Touto operací je nalepení tlakové membrány, která zamezuje přístupu vlhkosti do ovládací elektroniky modulu. K provedení této operace je do výrobní linky implementován druhý šestiosý robot. Na závěr se díly vkládají do popisovací stanice, kde se pomocí laseru vypálí na každý díl identifikační čárový kód pro zajištění zpětné sledovanosti montované sestavy. Hotové pláště se odkládají na dopravníkový pás, ze kterého jsou díly odebírány a obsluhou zařízení baleny do interního mezioperačního balení.



Obrázek 83: Schéma výrobní linky pláště modulu

2.8 Analýza výrobního procesu s nasazením materiálu PPS

Plášť modulu je vyráběn technologií vstřikování z materiálu PPS. Jedná se o extrémně nízko viskózní materiál, který se vstřikuje do dutiny formy při teplotě 320°C. Vstřikovací forma je temperována tlakovou vodou při teplotě 135-145°C. Při této teplotě a tlaku jsou významnou měrou namáhány těsnící prvky až do té míry, že jejich životnost je velmi omezená. Tím dochází během výroby často k úniku chladicího média do dutiny formy, které v konečném důsledku vedou k tvorbě lunek.



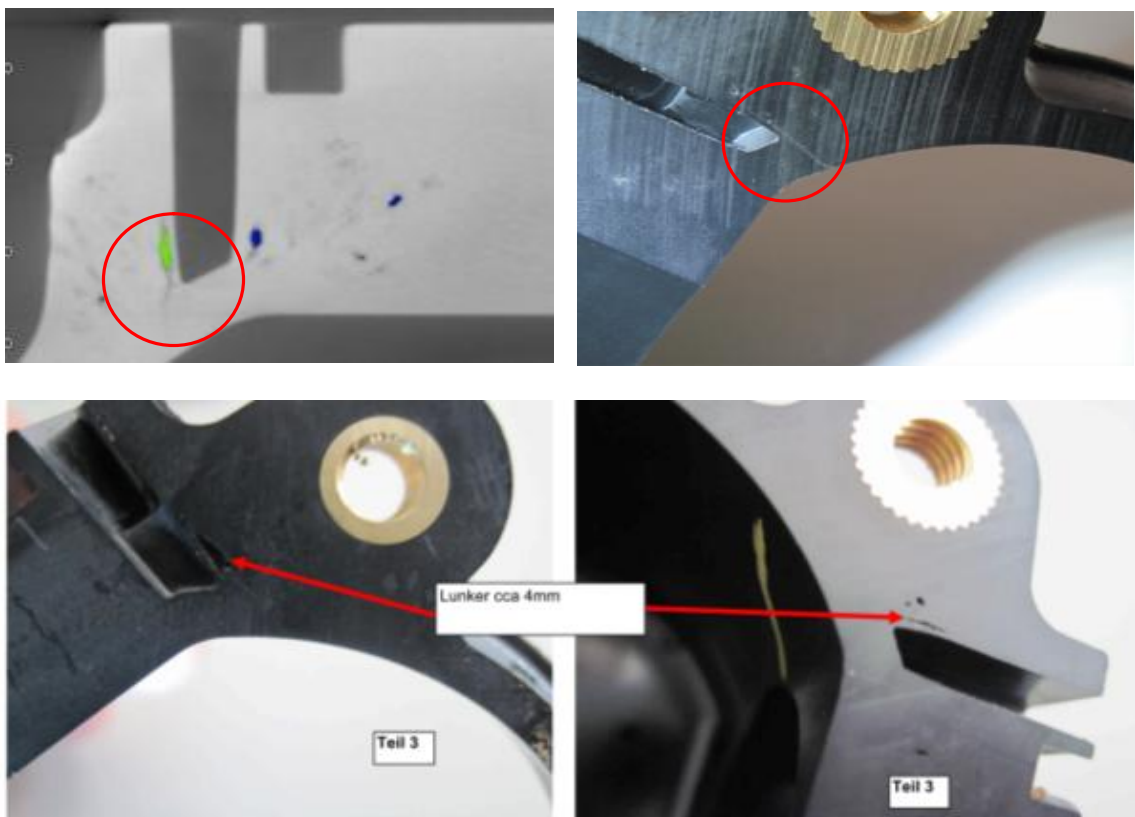
Obrázek 84: CT Analýza stěny modulu (lunkry)

Díky extrémní zatékavosti klade tento materiál vysoké požadavky na dílenské zpracování vstřikovací formy. Zásadní téma je odvzdušnění dutiny při vstřiku hmoty, kde se setkáváme s těmito základními problémy.

uzavřené odvzdušnění dutiny formy

pozitiva → vzhledově díly bez přetoků
odpadá drahé odstraňování přetoků

negativa → tvorba spálenin
tvorba lunkrů
vysoké zbytkové pnutí, tvorba prasklin



Obrázek 85: Odvzdušnění – lunkry a praskliny

otevřené odvzdušnění dutiny formy

pozitiva → díly vzhledově bez spálenin
žádné lunkry
bez prasklin, dobré mechanické vlastnosti

negativa → tvorba přetoků
drahé odstraňování přetoků



Obrázek 86: Přetoky v dělicí rovině

2.9 Návrh optimalizace výrobního procesu

Nasazením alternativního materiálu **PA66 GF30 CREAMID** ze skupiny polyamidů by byl možný návrat ke známým koncernovým zpracovatelským zvyklostem, které začínají již při konstrukci vstřikovací formy v praxi ověřenými hodnotami smrštění, optimálním umístěním odvzdušňovacích kanálů a jejich správného dimenzování a v neposlední řadě i nízkotlakový chladič systém.

Z hlediska opotřebení funkčních částí strojů a nástrojů je rovněž třeba vzpomenout agresivní působení PPS na všechny komponenty vstřikovací jednotky, vtokové soustavy vstřikovací formy a povrchu formovacích dílů. S nasazením polyamidu s nižším obsahem plniv by bylo možné docílit nižšího opotřebení a tedy i delší životnosti všech aktivních prvků výrobní soustavy.

Z tohoto pohledu je nejdůležitější zvýšení životnosti vstřikovací formy, která je z hlediska potřebných investic nejdražší nákladovou položkou celého projektu a bylo by tedy možné docílit zajímavého ekonomického efektu.

Výčet všech uvedených pozitiv by se v celkovém pohledu měl projevit na jakosti vyráběného produktu. V případě rozhodnutí pro změnu materiálu z PPS na zesíťovaný PA by musely být provedeny dlouhodobé zátěžové testy hotových modulů, které by potvrdily či vyvrátily v.u. pozitiva popř. nastínily doposud neznámá negativa.

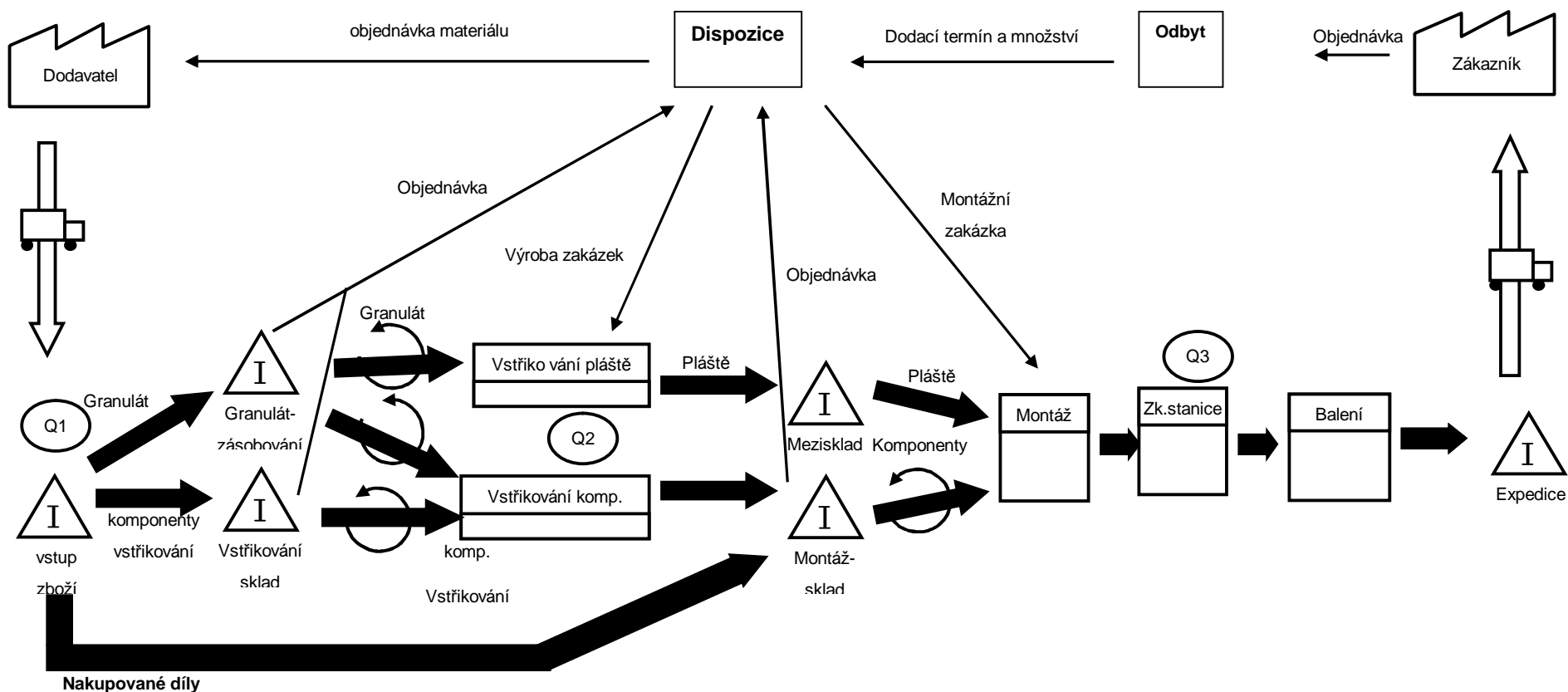
Navržená změna materiálu ovšem neskýtá pouze výhody, nýbrž i některé nevýhody, které by bylo potřebné řešit. Zde se jedná v zásadě o dodatečnou pracovní operaci, kterou je potřebné síťování polyamidu pomocí ozařování. Všechny vyrobené polotovary by se musely zabalit do mezioperačního balení, které by umožňovalo maximální přepravní kapacitu při transportu na ozařování a zároveň jednoduchou manipulaci s díly po návratu při následné montáži ozářených polotovarů.

Výpočet potřebných logistických více nákladů výrobního podniku v rámci výroby modulů z polyamidu si nastíníme v další kapitole.

2.10 Úprava vnitropodnikové logistiky pro výrobu s nasazením PA

Výrobu modulu si nejprve znázorníme na následujícím toku materiálu :

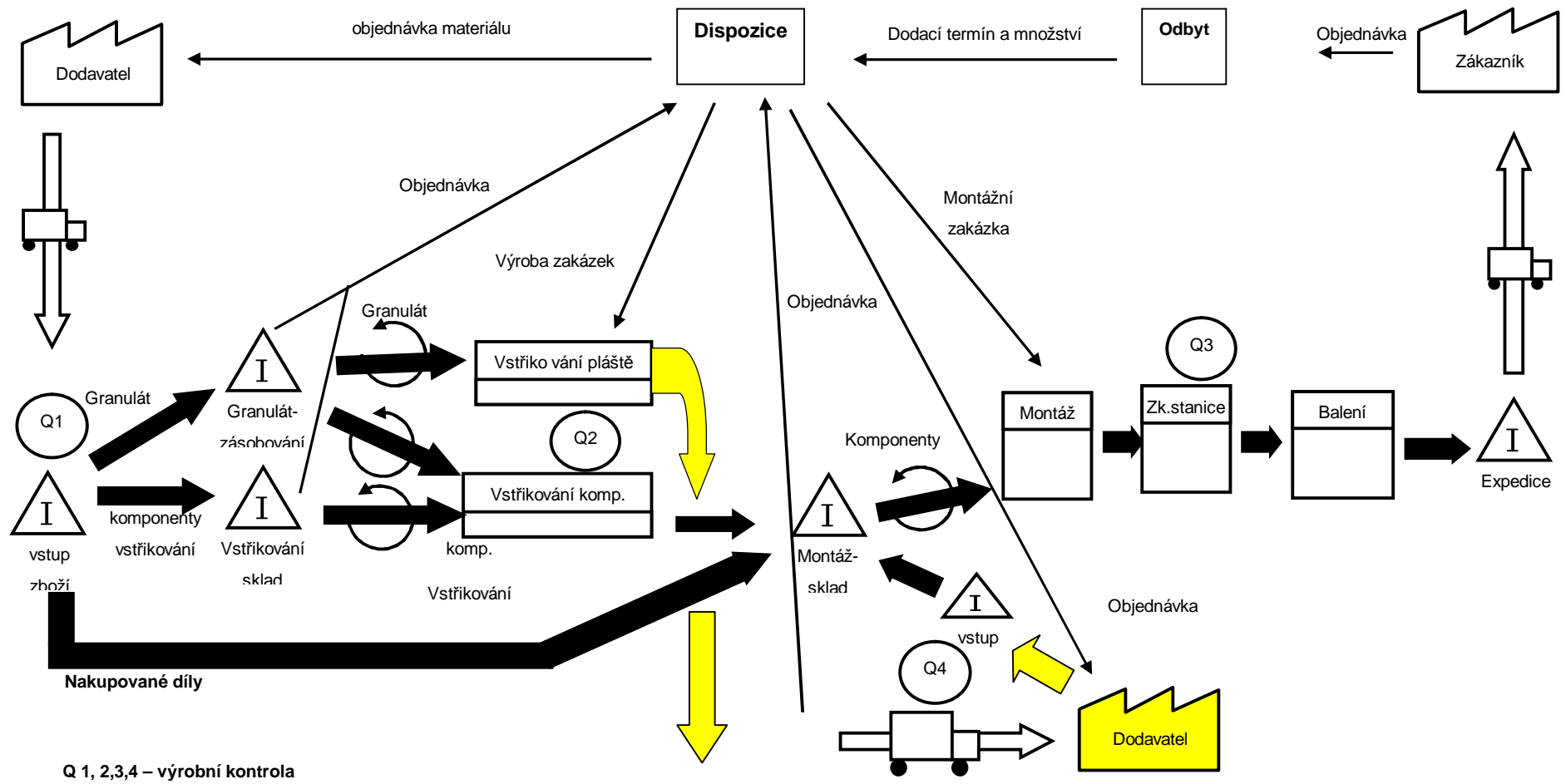
Materiálový tok při výrobě s nasazením PPS



Q 1, 2,3 – výrobní kontrola

Obrázek 87: Materiálový tok s nasazením materiálu PPS/Ryton

Materiálový tok při výrobě s nasazením PA



Obrázek 88: Materiálový tok s nasazením materiálu PA66 Creamid

Popis konceptu logistiky s nasazením PA:

Všechny vyrobené pláště modulů lze balit do mezioperačního balení v počtu:

6 ks - KLT rozměr 600x400x280mm

6 KLT= 1 Paleta rozměr 800x600mm

Vyrobené palety budou ukládány v expedičním skladu a v pravidelných intervalech expedovány na zesílování v Saal a.d. Donau / Fa. BGS GmbH.

Příchozí polotovary budou uskladněny nejprve v prostoru pro vstup zboží do závodu a po provedení vstupních zkoušek uskladněny v komponentním skladu. Pro zásobování montážní linky se počítá se systémem kanbanových karet.

Tabulka 16: Rekapitulace logistických nákladů na zesílování

Rekapitulace logistických nákladů	
--	--

Transportní náklady	počet paletových míst LKW	192
	počet ks/ paleta	36
	sazba Czk/1km	27
	vzdálenost Lanškroun / Saal a.d. Donau a zpět	1000
	mezisoučet transport Czk/ks	3,91 Kč

personální náklady	pers.nakládka / hod	2
	pers.vykládka / hod	2
	pers. příprava palet na transport	16
	pers.označení etiketami	1
	hodinová sazba Czk	250

	5250
celkové log.náklady na 1ks	4,67 Kč

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo nalezení materiálové alternativy k materiálu PPS pro výrobu dílu palivového systému. V první kapitole jsem se věnoval funkci a využití vyráběného produktu. Zde jsou popsány jeho jednotlivé provozní stavy a zároveň jsem zmínil specifické vlastnosti, kterých využíváme pro zvýšení komfortu posádky a životnosti motoru při současném výrazném snížení emisní zátěže na životní prostředí.

V druhé kapitole jsou uvedeny základní stavební díly vstřikovacího stroje s popisem jejich funkce a vlivu na vstřikovací proces.

Závěrečná část teoretické části je věnována popisu a užití síťování materiálů pomocí gama a beta záření, které má výrazný vliv na zlepšení mechanických vlastností a chemické odolnosti takto modifikovaných materiálů.

Stěžejní pozornost práce je věnována stanovení vhodné materiálové alternativy, obzvláště z hlediska pevnosti v tahu a vrubové houževnatosti.

V další části jsem se zaměřil na popis optimalizace výroby vstřikovaného pláště modulu v souvislosti s přechodem na zesíťovaný materiál PA66 GF30 Creamid.

V konečném důsledku lze dosáhnout výrazného navýšení životnosti vstřikovací formy a dosáhnout růstu hospodárnosti výroby koncového produktu.

Z nákladového hlediska se v tomto konkrétním případě podařilo dojít k ročním úsporám ve výši 7 Mil. Kč. V této částce je zahrnut: rozdíl v ceně PA/PPS, odbourání drahého dodatečného odhrocování přetoků po vstřikování s materiálem PPS a zvýšení životnosti vstřikovací formy.

Tabulka 17: Rekapitulace celkových nákladů

Rekapitulace celkových nákladů PPS a PA			
		PPS-Ryton	PA - Creamid
Výrobek / Plášť modulu	Materiálové náklady	56,17	50
	Síťování- BGS	0	15
	Logistické náklady - síťování	0	4,67
	Odhrocování	22,46	0
	Opotřebenění vstřikovací formy/ks	8,33	6,67
	Úspora celkem/ks		86,96 Kč

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Firemní materiály* Fa.Schaeffler Gmbh
- [2] SCHWARZ,O ; EBELING,F; FURTH,B. *Kunststoffverarbeitung*
Würzburg: Vogel Buchverlag 2002 ISBN 3-8023-1893-5
- [3] *Hanser Verlag München*. [online]. [cit. 2011-11-1].
Dostupný z www:
http://www.kunststoffe.de/ku/o_archiv.asp?o_id=251115171124-79&ausgabe_id=20071015174618113&artikel_id=20071015185323&task=03&j=2007&h=10&nav_id=&from=free
- [4] ŠTĚPEK,J.; ZELINGER,J.; KUTA,A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*.
Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989
- [5] *Technologie II Technická univerzita Liberec* [online]. [cit. 2011-11-14]
Dostupný z www:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [6] *Materiálový list* Fa.Chevron Phillips [online]. [cit. 2011-11-1]
Dostupný z www: <http://www.RytonPPS.com/>
- [7] *Firemní materiály* Fa.GBS
- [8] *Vlastnosti polyamidů* Fa.Heyman Manufacturing GmbH [online]. [cit. 2012-03-10]
Dostupný z www:
http://www.heyman.cz/media/useruploads/files/documentation_cz/Kazub/Vlastnosti%20polyamidu.pdf
- [9] ŠESTÁK,J *Měření termofyzikálních vlastností pevných látek: Teoretická termická analýza*. 1st ed.Praha : Academia, Československá akademie věd , 1982.348p.

[10] BGS – *Beta-Gamma-Service*- [online]. [cit.2012-04-9]

Dostupný z www :<<http://www.bgs.de>>

[11] *Materiálový list* Fa.Plastic Technologie Service [online]. [cit. 2012-04-10]

Dostupný z www: <http://www.pts-marketing.de/>

[12] *Materiálový list* Fa.Nilit Plastics Europe GmbH& Co.KG [online]. [cit. 2012-04-10]

Dostupný z www: <http://www.nilit.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

WP	Vodní pumpa
DS1	Uzavírací ventil 1
DS2	Uzavírací ventil 2
PPS	Polyfenylsulfid
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymetametakrylát
PVC	Polyvinylchlorid
POM	Polyoxymetylen

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1:Thermomanagement Modul [1].....	12
Obrázek 2:Obecné schéma výrobku [1].....	15
Obrázek 3:Funkce Bypass [1]	16
Obrázek 4:Funkce výrobku v chladícím režimu [1].....	17
Obrázek 5: Stavební díly vstřikovacího stroje	19
Obrázek 6:Plastifikační jednotka vstřikovacího stroje	21
Obrázek 7:Univerzální plastifikační šnek	22
Obrázek 8:Uzavírací kroužek šneku	23
Obrázek 9:Otevřená vstřikovací tryska.....	24
Obrázek 10:Jehlová uzavírací tryska	25
Obrázek 11:Šoupátková uzavírací tryska.....	26
Obrázek 12:Schéma uzavírací jednotky	27
Obrázek 13:Mechanická uzavírací jednotka v uzavřeném stavu	28
Obrázek 14:Mechanická uzavírací jednotka v otevřeném stavu.....	29
Obrázek 15:Hydraulická uzavírací jednotka	30
Obrázek 16:Řez vstřikovací formou	32
Obrázek 17:Studený vtokový systém	33
Obrázek 18:Průřezy rozdělovacích kanálů.....	34
Obrázek 19:Přirozeně vybalancovaný vícenásobný vtokový systém	34
Obrázek 20:Kuželový vtokový systém	35
Obrázek 21:Deštníkový vtok.....	36
Obrázek 22:Filmový vtok.....	36
Obrázek 23:Tunelový vtok.....	37
Obrázek 24 :Vstřikovací cyklus	41
Obrázek 25:Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování.....	41
Obrázek 26:Schéma radiačního sítování PE elektronovým zářením	47
Obrázek 27:Schéma sítování PE elektronovým zářením	49
Obrázek 28:Schéma pronikání gama a elektronového záření.....	50
Obrázek 29:Schopnost pronikání elektronového- β a gama- γ záření	50
Obrázek 30:Charakteristika vlastností termoplastů v závislosti na dávce ozáření.....	54
Obrázek 31:Smykový modul radiačně zesíťovaného PE-HD	55

Obrázek 32: Průběh napětí-deformace měkčeného PVC v závislosti na dávce ozáření	55
Obrázek 33: Krípkové křivky PE-LD v závislosti na dávce ozáření	56
Obrázek 34: Termomechanická analýza (TMA) polyamidu	57
Obrázek 35: Struktura neozářeného materiálu	58
Obrázek 36: Struktura ozářeného materiálu	59
Obrázek 37: Vstřikovací stroj Arburg 420 C Advance.....	67
Obrázek 38: Zkušební stroj Zwick/Roell 1456 v laboratoři UTB	72
Obrázek 39: Pevnost v tahu PA66 GF30 Frianyl	75
Obrázek 40: Maximální síla PA66 GF30 Frianyl.....	75
Obrázek 41: Modul pružnosti PA66 GF30 Frianyl.....	76
Obrázek 42: Pevnost v tahu PA66 Frianyl VN	77
Obrázek 43: Maximální síla PA66 Frianyl VN	77
Obrázek 44: Modul pružnosti PA66 Frianyl VN.....	78
Obrázek 45: Pevnost v tahu PA66 GF30 Creamid	78
Obrázek 46: Maximální síla PA66 GF30 Creamid	79
Obrázek 47: Modul pružnosti PA66 GF30 Creamid	79
Obrázek 48: Pevnost v tahu PA66 GF30 Frianyl	80
Obrázek 49: Maximální síla PA 66 GF30 Frianyl.....	81
Obrázek 50: Modul pružnosti PA66 GF30 Frianyl.....	81
Obrázek 51: Pevnost v tahu PA66 Frianyl VN	82
Obrázek 52: Maximální síla PA66 Frianyl VN	82
Obrázek 53: Modul pružnosti PA66 Frianyl VN.....	83
Obrázek 54: Pevnost v tahu PA66 GF30 Creamid	84
Obrázek 55: Maximální síla PA66 GF30 Creamid	84
Obrázek 56: Modul pružnosti PA66 GF30 Creamid	84
Obrázek 57: Vrubovací přístroj Notchvis	85
Obrázek 58: Zkušební přístroj Resil Impactor Junior	85
Obrázek 59: Vrubová houževnatost PA66 GF30 Frianyl	87
Obrázek 60: Spotřebovaná práce PA66 GF30 Frianyl	87
Obrázek 61: Vrubová houževnatost PA66 Frianyl VN	88
Obrázek 62: Spotřebovaná práce PA66 Frianyl VN.....	88
Obrázek 63: Vrubová houževnatost PA66 GF30 Creamid.....	89
Obrázek 64: Spotřebovaná práce PA66 GF30 Creamid	89

Obrázek 65: Vrubová houževnatost PA66 GF30 Frianyl	90
Obrázek 66: Spotřebovaná práce PA66 GF30 Frianyl	91
Obrázek 67: Vrubová houževnatost PA66 Frianyl VN	92
Obrázek 68: Spotřebovaná práce PA66 Frianyl VN.....	92
Obrázek 69: Vrubová houževnatost PA66 GF30 Creamid	93
Obrázek 70: Spotřebovaná práce PA66 GF 30 Creamid	93
Obrázek 71: Mez pevnosti	94
Obrázek 72: Mez pevnosti	94
Obrázek 73: Mez pevnosti	94
Obrázek 74: Mez pevnosti	95
Obrázek 75: Mez pevnosti	95
Obrázek 76: Mez pevnosti	95
Obrázek 77: Vrubová houževnatost	96
Obrázek 78: Vrubová houževnatost	96
Obrázek 79: Vrubová houževnatost	96
Obrázek 80: Vrubová houževnatost	97
Obrázek 81: Vrubová houževnatost	97
Obrázek 82: Vrubová houževnatost	97
Obrázek 83: Schéma výrobní linky pláště modulu.....	98
Obrázek 84: CT Analýza stěny modulu (lunkry).....	99
Obrázek 85: Odvzdušnění – lunkry a praskliny.....	100
Obrázek 86: Přetoky v dělicí rovině	101
Obrázek 87: Materiálový tok s nasazením materiálu PPS/Ryton	103
Obrázek 88: Materiálový tok s nasazením materiálu PA66 Creamid	104

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Motivace pro vývoj výrobku [1]	13
Tabulka 2: Materiálový list Ryton R-7-220BL [6].....	45
Tabulka 3: Srovnání charakteristik elektronových urychlovačů a gama zařízení.....	51
Tabulka 4: Přehled materiálů pro radiační sít'ování.....	53
Tabulka 5: Příklad vybraných aplikací v průmyslu a vlastností získaných po ozáření.....	59
Tabulka 6: Vlastnosti polyamidů [8]	62
Tabulka 7 : Materiálový list CREAMID- A3H7.2G6 [11]	64
Tabulka 8 : Materiálový list FRIANYL A63VN GV30 [12]	65
Tabulka 9 : Materiálový list FRIANYL A63VN [12]	66
Tabulka 10: Technická data vstřikovacího stroje Arburg 420C.....	67
Tabulka 11: Procesní parametry vstřikování zkušebních těles	68
Tabulka 12: Stanovení doby setrvání materiálu v plastifikační jednotce.....	69
Tabulka 13: Hodnoty dávek ozáření alternativních materiálů	70
Tabulka 14: Technická data zkušebního stroje Zwick/Röll	73
Tabulka 15: Technická data Resil Impactor Junior	86
Tabulka 16: Rekapitulace logistických nákladů na zesít'ování	105
Tabulka 17: Rekapitulace celkových nákladů	106