



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNICKÉ PLASTY PRO SPECIFICKÉ APLIKACE

ENGINEERING PLASTICS FOR SPECIFIC APPLICATIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN VRÁTNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Vrátný

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technické plasty pro specifické aplikace

v anglickém jazyce:

Engineering plastics for specific applications

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracování literární studie se zaměřením na výběr vhodných technických plastů pro zvláštní použití.

Cíle bakalářské práce:

Vyhodnocení možností vybraných technických plastů pro použití v prostředí s vyššími teplotami a v prostředí s agresivními chemickými účinky s ohledem na degradaci plastů v závislosti na časovém faktoru.

Seznam odborné literatury:

1. SOVA, Miloš a Josef, KREBS. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
2. DOLEŽEL, Břetislav. Odolnost plastů a pryží. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981. 710 s. ISBN DT 678.4-5-536.
3. SAECHTLING, Hansjürgen. International plastics handbook. 3rd ed. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1995. ISBN 3-446-18172-5.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Bohumil Kandas

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 19.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Vrátný Martin: Technické plasty pro specifické aplikace

Tato bakalářská se zabývá plasty z hlediska jejich tepelné a chemické odolnosti.

První část se zabývá vlastnostmi a využitím vybraných plastů. Další část práce je věnována popisu tepelné a chemické odolnosti. Vybrané plasty jsou tabulkově porovnávány v ohledu na jejich odolnost. V závěru jsou plasty na základě zjištěných údajů porovnány a je vyhodnocena vhodnost použití v prostředí s vyššími teplotami a v prostředí s agresivními chemickými účinky.

Klíčová slova: polymery, plasty, chemická odolnost, tepelná odolnost.

ABSTRACT

Vrátný Martin: Engineering plastics for specific applications

This bachelor's thesis is focused on heat resistance and chemical resistance of plastics.

The first part deals with properties and usage of selected plastics. The second part includes description of heat resistance and chemical resistance. Selected plastics are compared in table by their resistance. In conclusion the plastics are compared by detected data and suitability of plastics in environment with higher temperatures and aggressive chemical impacts.

Key words: polymers, plastics, chemical resistance, heat resistance.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VRÁTNÝ, M. *Technické plasty pro specifické aplikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 35s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Bohumil Kandus.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Bohuslavu Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Rád bych také poděkoval mé rodině a svým blízkým za všestrannou pomoc a podporu během celého studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1. ÚVOD	- 8 -
2. PLASTY	- 9 -
2.1 Definice a rozdělení	- 9 -
2.2 Vybrané plasty	- 10 -
2.2.1 Polyvinylchlorid (PVC)	- 10 -
2.2.2 Polyethylén (PE)	- 11 -
2.2.3 Polypropylén (PP)	- 12 -
2.2.4 Polyethyléntereftalát (PET)	- 14 -
2.2.5 Polyamidy (PA)	- 15 -
2.2.6 Polykarbonát (PC)	- 16 -
2.2.7 Polystyrén (PS)	- 17 -
2.2.8 Polyoxomethylén (POM)	- 18 -
2.2.9 Polytetrafluorethylén (PTFE/teflon)	- 19 -
3. Teplotní odolnost plastů	- 20 -
3.1 Tepelné vlastnosti	- 20 -
3.1.1 Měrná tepelná kapacita	- 20 -
3.1.2 Měrná tepelná vodivost	- 20 -
3.1.3 Délková teplotní roztažnost	- 20 -
3.2 Hořlavost	- 21 -
3.2.1 Metoda kyslíkového čísla	- 21 -
3.2.2 Metoda UL94	- 22 -
3.3 Teplotní odolnost	- 22 -
3.3.1 Teplotní odolnost podle Vicata	- 23 -
3.3.2 Teplotní odolnost podle Martense	- 23 -
3.4 Přechodové teploty	- 24 -
3.5 Degradace tepelně namáhaných plastů v závislosti na čase	- 27 -
3.6 Tabulkové zhodnocení teplotní odolnosti vybraných plastů	- 29 -
4. Chemická odolnost plastů	- 30 -
5. Závěr	- 34 -
Seznam použité literatury	
Seznam použitých symbolů	

1.ÚVOD

Plasty pronikly ve 20. století do každodenního života lidí a staly se základním materiálem pro obrovské množství využití. Plasty se staly nenahraditelným materiálem v řadě aplikací především díky jeho snadné a levné výrobě a také díky jeho vlastnostem, které se ovšem výrazně liší podle druhu plastu. V roce 2012 bylo vyrobeno 288 miliónů tun plastů.

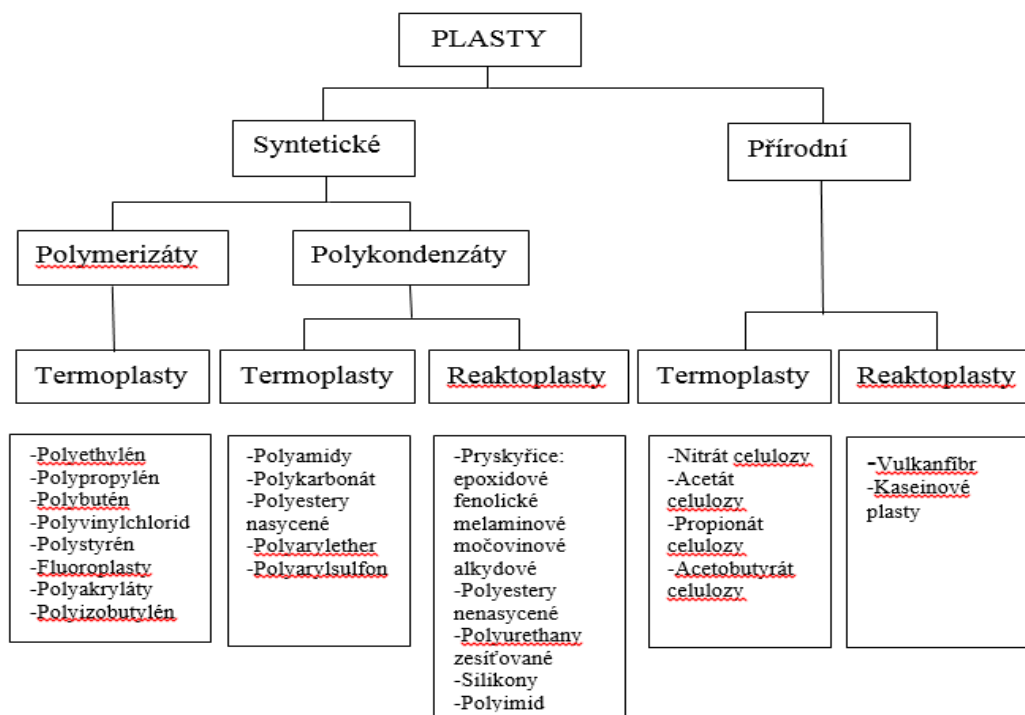
Využití jednotlivých druhů plastů závisí především na jejich konkrétních vlastnostech, mezi které patří především vlastnosti *mechanické* (houževnatost, tvrdost či model pružnosti v tahu a ohybu), *fyzikální* (hustota, elektrické vlastnosti a tepelné vlastnosti – vodivost, roztažnost, odolnost, teplota tavení a skleného přechodu, hořlavost a degradace teplem), *chemické a fyzikálně chemické* (nasákavost, navlhavost, botnání, rozpouštění, odolnost vůči chemikáliím a koroze za napětí), a další vlastnosti, které u plastů lze hodnotit, jako například tvářitelnost, obrobitelnost, optické vlastnosti, stárnutí plastů při působení různých vlivů (světlo, radioaktivní záření, kyslík, voda...) a mnoho dalších.

Tato bakalářská práce bude zaměřena především na tepelné, chemické a fyzikálně chemické vlastnosti plastů a jejich vyhodnocení.

2. PLASTY

2.1 Definice a rozdělení [1], [2]

Plasty jsou složeny z polymerů a z přísad, které vedou k požadovaným vlastnostem (stabilizátory, maziva, pigmenty, atd.). Polymery jsou makromolekulární látky, které jsou tvořené monomery. Tyto monomery jsou vázané do řetězce a to během procesu polyreakce (polymerace, polykondenzace).



Obr. 1 Schéma rozdělení přírodních a syntetických polymerů [1]

Termoplasty při působení tepla měknou a stává se z nich viskózní tavenina. Takto vzniklá tavenina lze tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Po ochlazení dojde opět ke ztuhnutí. Tento proces lze mnohokrát opakovat.

Reaktoplasty jsou zesíťované polymery vytvářející prostorovou trojrozměrnou síť. Po zahřátí tuhnou, jelikož vzrůstající teplota urychluje reakci (tvorbu vnitřní struktury). Takto vzniklý plast je již neroztavitelný a nerozpustný.

2.2 Vybrané plasty

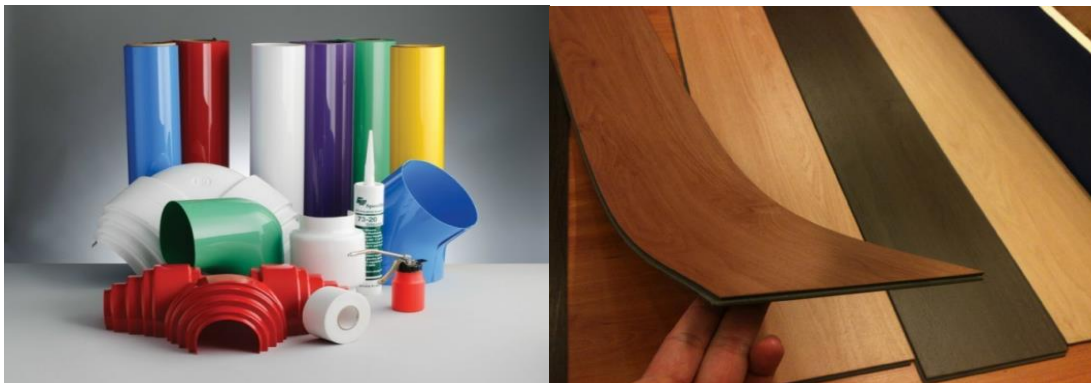
2.2.1 Polyvinylchlorid (PVC) [1], [3], [4], [5], [6]

Polyvinylchlorid je syntetický polymer, který získáme polymerací vinylchloridu (VCM), což je plyn o bodu varu 13,9 °C. PVC je jeden z nejdůležitějších termoplastů a to především pro jeho široké využití.

Tato polymerace může probíhat třemi technikami. Jedná se o polymeraci suspenzní, která má při výrobě polyvinylchloridu zastoupení 80-82% .

Dále to je metoda emulzní (11-12%) a metoda bloková (7-8%).

Všeobecný použití PVC: chemická zařízení a přístroje, zařízení pro úpravu vody, bazény, vzduchotechnika, průmyslové dveře, trubky, profily, lahve, fólie, desky, podlahová krytina, hračky, plachty, textilní průmysl a mnoho dalších využití.



Obr.2: Výrobky z PVC [5], [6]

Chlorace polyvinylchloridu

Polyvinylchlorid můžeme i dodatečně chlorovat. V tomto případě se jedná o chlorovaný PVC (PVC-C). Hlavní výhodou chlorovaného PVC je zlepšená teplotní odolnost, kdy teplota měknutí se může zvýšit z 80 °C až na 135 °C. PVC-C má také zvýšenou chemickou odolnost a to především proti látkám s obsahem chloru.

Měkčení polyvinylchloridu

Při přidání změkčovadel vzniká plastifikovaný PVC neboli PVC-P. Jako změkčovadlo je používána olejovitá organická kapalina. Tato kapalina při měkčení proniká mezi makromolekuly PVC, čímž snižuje jeho soudržnost a dochází tím ke změkčování materiálu. Měkčený polyvinylchlorid se též označuje jako novoplast. Neměkčený PVC se označuje jako novodur.

Příklady změkčovadel: dibutylftalát (DBP), dioktyftalát (DOP), tykresylfosfát (TKP) a mnoho dalších. PVC se dále také míchá se stabilizátory, modifikátory a mazivy.

Vlastnosti a použití vybraných druhů PVC

PVC-P: Vlastnosti: - Horní mez teplot pro trvalé použití je +60 °C

- Hladký povrch
- Dobrá svařitelnost a dobré elektrické izolační schopnosti
- Normálně zápalný dále ovšem nehoří a nedoutná
- Rázová houževnatost do -35 °C

Použití: fólie a desky, izolace elektrických vodičů, podlahoviny, potahy na sedadla, vstřikované výrobky, hračky, těsnění, rukavice atd.

PVC-C: Vlastnosti: - Teploty pro trvalé použití jsou -15 °C až +90 °C

- Dobrá chemická odolnost
- Špatně zápalný
- Dobré elektrické izolační vlastnosti

Použití: trubky na teplou vodu, textilní vlákna a mnoho dalších.

2.2.2 Polyethylén (PE) [1], [3], [7], [8]

Polyethylén patří do skupiny polyolefinů a vzniká polymerací ethylénu, což je za normálních podmínek bezbarvý, nasládlé páchnoucí plyn. Nejdůležitějším zdrojem ethylénu je ropa, zemní plyn a uhlí.

Vlastnosti polyethylénu jsou velmi citlivé na jeho strukturu, podle které rozlišujeme několik druhů polyethylénu.

Zkratka	Název
PE-LD	nízkohustotní (rozvětvený, vysokotlaký) polyethylén
PE-HD	vysokohustotní (lineární, nízkotlaký) polyethylén
PE-MD	středohustotní polyethylén
PE-LLD	lineární nízkohustotní polyethylén
PE-VLD	velmi nízkohustotní polyethylén
MPE-LLD	metallocenový lineární nízkohustotní polyethylén
PE-HMW	vysokomolekulární polyethylén
PE-UHMW	ultravysokomolekulární polyethylén
PE-X	zesíťovaný polyethylén

Tab. 1 Druhy polyethylénů[1]

PE-LD : Jedná se o měkký, pevný a ohebný druh polyethylénu, jehož hustota se pohybuje okolo 0,920 g/cm³ . Polymerace probíhá při vysokém tlaku a dochází k ní v autoklávu nebo trubkovém reaktoru.

Použití: fólie, dopravní pytle, balicí materiál, víka, atd..

PE-HD : Jde o polyethylén s vysokou hustotou, přesahující $0,940 \text{ g/cm}^3$. Polymerace probíhá při relativně nízkém tlaku a je při ní využit buď Ziegler-Nattův typ katalyzátoru (založen na titanu) nebo Phillipsův typ, který je založený na chromu. PE-HD je velmi tvrdý, málo ohebný a má vynikající odolnost proti chemikáliím.

Použití: fólie, trubky, bedýnky, láhve, konstrukce chemických přístrojů, zařízení a nádrží. PE-HD je hojně využíván při vyfukovacích a vstřikovacích aplikacích.

PE-UHMW : Typ polyethylénu, který má maximální molekulovou hmotnost, což má za příčinu velmi vysokou odolnost proti oděru. Dále se vyznačuje velmi vysokou houževnatostí a tvarovou stálostí a to i při velmi nízkých teplotách (odolnost proti teplotám do $-200 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Použití: ložiska, ochranné lišty, šnekové dopravníky a transportéry, ozubená kola, atd..

PE-LLD : Má podobnou strukturu jako PE-HD, jeho hustota se ovšem pohybuje kolem $0,920 \text{ g/cm}^3$. Této struktury je dosaženo použitím Ziegler-Nattových katalyzátorů a to k polymeraci ethylénu s 5-10% hexenu, butenu či oktenu. Je pevný a zachovává si svůj tvar

Použití: různé typy fólií.

2.2.3 Polypropylén (PP) [1], [3], [8], [9] [10]

Polypropylén stejně jako polyethylén patří mezi polyolefiny a svým chemickým složením je polyethylénu velmi podobný.

Všeobecné použití PP: obaly, fólie, desky, vlákna, sterilizované lékařské potřeby, kufrы, v automobilovém průmyslu, trubky, mořící vany, ventilátory, konstrukční díly pro chemická zařízení a přístroje, atd. .



Obr. 3 Výrobky z PP [9], [10]

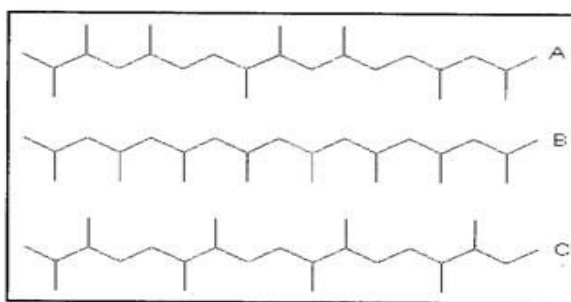
Rozlišujeme tři druhy polypropylénu podle jeho struktury a to ataktický, izotaktický a syndiotaktický polypropylén.

Izotaktický a ataktický PP

Při polymeraci propylénu vždy vznikají dva typy molekul, které mají různou takticitu. Výsledný produkt obsahuje izotaktický a ataktický podíl. Poměr těchto dvou druhů je ovlivněn použitým katalyzátorem, rozpouštědlem a podmínkami polymerace. V praxi je vyžadováno, aby byl podíl izotaktické složky alespoň 90%. Postupem času a vývojem nových katalyzátorů došlo k potlačení ataktické složky až pod 1% a zároveň došlo ke zvýšení poptávky po ataktické formě, jelikož se pro ni našly nové aplikace, jako jsou například trvalé plastické tmely, lepidla atd. .

Syndiotaktický PP

Tento druh polypropylénu umožňují vyrobit v zajímavém množství metallocenové katalyzátory. Jeho největší předností je velmi vysoká průzračnost. Většímu rozšíření zatím brání velké ceny, které jsou ovlivněny především výrobními kapacitami.



Obr. 4 Molekulární struktura PP

A- ataktický PP B- izotaktický PP, C- syndiotaktický PP [8]

Kopolymery polypropylénu

Rozlišujeme tři druhy kopolymerů polypropylénu, kterými jsou homopolymer PP, blokový kopolymer a statistický kopolymer.

Homopolymer PP (PP-H)

Polymerací samotného propylénu se získá homopolymer. Tento homopolymer je mnohostranně využitelný plast, který má vysokou odolnost proti chemikáliím a zároveň i výbornou tepelnou odolnost. Nevýhodou tohoto typu polypropylénu je, že křehne při teplotě pod 0 °C .

Blokový kopolymer (PP-B)

Výroba blokového kopolymeru probíhá způsobem, kdy v jednom reaktoru dojde k výrobě homopolymeru, který je převeden do druhého reaktoru, kam je přivedena i směs monomerů ethylénu a polypropylénu. Dojde ke kopolymeraci a vzniku ethylén-propylénového kaučuku (E/P), který se naváže na polypropylenový řetězec. Hlavní výhodou PP-B oproti PP-H je odolnost proti nárazu i při mrazu

Statistický kopolymer (PP-R)

Tento druh kopolymeru vzniká při náhodné kopolymeraci propylénu s dalším monomerem (komonomerem), který může být například hexen, okten nebo ethylén. Vlastnosti PP-R jsou závislé na obsahu komonomeru. Hlavní výhodou PP-R oproti PP-H je zvýšená rázová houževnatost. Současně má ovšem nižší pevnost a tuhost.

2.2.4 Polyethyléntereftalát (PET) [1], [3], [11], [12]

Polyethyléntereftalát patří z chemického hlediska mezi polyestery. Je to semykristalický polymer, který se využívá především v amorfnní formě. Polyestery nejsou většinou typické termoplasty, ale jsou známé spíše jako reaktivní pryskyřice. Jedná se o průhledný plast s malou hmotností.

Všeobecné použití PET: lahve, obaly, ložiska, ozubená kola, spojky, součásti čerpadel, izolační součásti.



Obr.5 Výrobky z PET [11], [12]

Vlastnosti PET: Amorfnní forma se vyznačuje především svojí vysokou houževnatostí při zachování vysoké tuhosti. Další vlastností PET je velmi malá propustnost pro plyny, které je využíváno při výrobě obalů. Z důvodu vyšších požadavků na pevnost a žáruvzdornost byly vyvinuty kopolymerní typy PET, ve kterých dochází k částečné náhradě teraftalové kyseliny kyselinou isoftalovou a ethylénglykol je částečně nahrazen 1,4-cyklohexandimethanolem. Tyto druhy PET mají nižší bod tání krystalické fáze. Kopolyestery obsahující ve struktuře větší vystoupení komonomerních jednotek jsou označovány jako PETG.

2.2.5 Polyamidy (PA) [1], [3], [13]

Jedná se o vysokomolekulární sloučeniny, ve kterých se opakuje amidová skupina – CO-NH-. Ke vzniku polyamidů může docházet polykondenzací dikarboxylových kyselin a diaminů, 6-aminokarboxylových kyselin nebo dichloridů aromatických kyselin aromatickými diaminy. Polyamidy mohou také vznikat polymerací cyklických laktanů.

Díky kombinaci velkého množství různých dikyselin, diaminů nebo laktanů získáváme velmi širokou škálu polyamidů s různými vlastnostmi. Tyto vlastnosti jde dále modifikovat směřováním různých polyamidů, směšováním s jinými polymery nebo přidáním různých inertních či práškových plniv.

Rozdělení polyamidů:

Polyamidy se dle normy ISO značí zkratkou PA a číselným údajem, který odpovídá počtu atomu uhlíku v daném monomeru, který je použitý k syntéze daného polymeru.

Monomer	Počet atomů uhlíku	Název	Označení
Polyamidy na bázi alifatických monomerů			
Tetramethyléndiamin	4	Poly(tetramethyléndipamid)	PA 46
Kyselina adipová	6		
Hexamethyléndiamin	6	Poly(hexamethyléndipamid)	PA 66
Kyselina adipová	6		
Hexamethyléndiamin	6	Poly(hexamethylénazelmid)	PA 69
Kyselina azealová	9		
Hexamethyléndiamin	6	Poly(hexamethyléndodekanamid)	PA 612
Kyselina dodekandiová	12		
6-hexanlaktam	6	Poly(6-hexanlaktam) nebo Poly(ϵ -kaprolaktam)	PA 6
Polyamidy na bázi aromatických monomerů			
m-xylyléndiamin	MXD	Poly(m-xylyléndipamid)	MXD6
Kyselina adipová	6		
m-fenyléndiamin	-	Poly(m-fenylénisofhtalamid)	(Nomex) ^a
Dychlorid kyseliny isoftalové			
p-fenyléndiamin	-	Poly(m-fenylénisofhtalamid)	(Kevlar) ^a
Dychlorid kyseliny teraftalové			

Tab. 2 vybrané druhy polyamidů [1]

Vybrané polyamidy

PA6: Jedná se o nejvíce využívaný polyamid a to díky dobré dostupnosti suroviny (kaprolaktamu), velké univerzálnosti a jednoduché výrobě. Vyniká svojí pevností v tahu, tvrdostí a tuhostí. Často je zpracováván na vlákna.

PA66: Stejně jako PA6 vyniká svojí pevností v tahu, tvrdostí a tuhostí. Často se také zpracovává na vlákna.

Použití PA6 a PA66: technické díly - ozubená kola, šroubky, pastorky, matice, části čerpadel, kryty, ložiska a mnoho dalších technických dílů.

Díly pro automobilový průmysl- součásti karburátorů, sací potrubí, ventilátory.

Monofily- výplety tenisových raket, štětiny, vlasce.

Fólie, opláštění kabelů, duté předměty.

PA12: Jedná se o polyamid, který se vyznačuje minimálním pohlcováním vlhkosti a tedy i nejvyšší rozměrovou stálostí. Má ovšem nejnižší pevnost v tahu ze všech polyamidů.

Použití PA12: armatury na rozvod vody, součástky pro elektrotechnický průmysl, hadice, hnací řemeny, fólie,

2.2.6 Polykarbonát (PC) [1], [3]

Polykarbonát patří stejně jako polyethyltereftalát do skupiny polyesterů. Jedná se o polyester kyseliny uhličitě s bisfenolem.

Všeobecné použití PC: elektrotechnika, kancelářská technika, ochranné průhledné kryty strojů, balkónové zasklení, ochranné štíty, zastřešení, optika (využití u dalekohledů, fotoaparátů atd.), automobilová světla, ve stavebnictví (desky a folie nahrazující sklo) a mnoho dalších využití

Vlastnosti PC

- nejvyšší houževnatost ze všech plastů, díky níž je při úderu prakticky nerozbitný
- vyznačuje se také vysokou tvrdostí, pevností, tuhostí a to při vcelku nízké hustotě $1,20 \text{ g/cm}^3$
- amorfni a nekystalizující, díky čemuž má vynikající optické vlastnosti, propustnost světla je mezi 85 a 90%
- mechanické vlastnosti zůstávají téměř stejné v rozmezí teplot $-150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+135 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- dobře odolává povětrnostním podmínkám
- dobrý elektrický izolant
- horší chemická odolnost a odolnost vůči korozi za napětí
- náročnější zpracování

2.2.7 Polystyrén (PS) [1]

Objem spotřeby polystyrénu je ve světě obrovský a společně s PE, PP a PVC patří mezi velkotonážní, komoditní plasty.

Polystyrén se vyrábí v různých formách s různými vlastnostmi.

- Standardní PS
- Houževnatý a rázuvzdorný PS
- Polymery ABS
- Zpěnovatelný- obsahuje nadouvadlo a má výborné izolační a tepelné vlastnosti
- Kopolymery- mají vyšší odolnost vůči teple

Standardní polystyrén (PS,GPPS)

PS se většinou vyrábí polymerizací styrénu blokovou metodou. Jeho hustota se pohybuje kolem $1,05 \text{ g/cm}^3$.

Výhody PS

- tvrdý a tuhý
- mimořádně průhledný s vysokým leskem
- dobré dielektrické a elektrické vlastnosti
- dobrá zpracovatelnost
- nízká nasákavost

Nevýhody PS

- nízká odolnost vůči chemikáliím, především proti organickým rozpouštědlům
- křehký se sklonem ke korozi za napětí

Použití PS: kelímky, krabičky, kuchyňské nádoby, obaly na CD, psací potřeby, elektrotechnika, hračky, kuchyňské potřeby a mnoho dalších využití.

Houževnatý a rázuvzdorný PS (PS-HI, S/B)

Ukázalo se, že pro některé aplikace je zapotřebí odstranit nevýhody polystyrénu a to především jeho křehkost. Jedním ze způsobů jak toho docílit je modifikace polystyrénu na houževnatý polystyrén. Jedná se o kopolymer styrénu s 5 až 15% butadienu. "

Porovnání vlastností se standardním polystyrénem

- zvýšená houževnatost i za nízkých teplot a odolnost vůči korozi za napětí
- ztráta křehkost
- zhoršené optické vlastnosti, neprůhlednost
- snížení tuhosti a tvrdosti
- mírně horší chemická odolnost a odolnost vůči povětrnostním podmínkám

Použití: obaly, kelímky, nábytkové profily, kryty elektronických a elektrických přístrojů, vnitřky chladniček, klávesnice a mnoho dalších využití.

Polymer akrylonitril-butadién-styrén (ABS)

Další možností jak zlepšit některé vlastnosti polystyrénu je výroba a zpracování ABS. Vlastnosti ABS určuje především množství jednotlivých složek a to především obsah akrylonitrylu. ABS s velmi nízkým obsahem akrylonitrylu se podobá houževnatému polystyrénu. Produkty, které obsahují kolem 15% akrylonitrylu mají vyšší chemickou odolnost než houževnatý polystyrén a produkty s obsahem akrylonitrylu kolem 20 až 35% se od houževnatého PS výrazně liší.

Porovnání vlastností se standardním polystyrénem

- vysoká rázuvzdornost a houževnatost i za nízkých teplot
- lepší teplotní vlastnosti a to především tvarová stálost
- lepší chemická odolnost a odolnost vůči poškrábání
- nižší nasákavost

Použití: vnitřní a vnější díly motorových vozidel, výrobky pro domácnost (vysavače, žehličky), fotoaparáty, klávesnice, kancelářské stroje a mnoho dalších, především technických využití.

2.2.8 Polyoxomethylén (POM) [1], [3]

Polyoxomethylen, se kterým se můžeme také setkat pod názvy polyacetal či polyformaldehyd, patří do skupiny polyéterů. Tento plast je vyráběn polymerací formaldehydu. Polyoxomethylén se také vyskytuje ve formě homopolymeru, ale také ve formě kopolymeru.

Všeobecné použití POM: ozubená kola, součástky v automobilovém průmyslu, ložiska, těsnění, kryty, součásti převodů, domácí spotřebiče, elektronika, kluzné prvky atd.

Vlastnosti POM

- patří mezi plasty s největší pevností a tuhostí
- vysoká houževnatost a tvrdost
- vysoká teplotní odolnost a tvarová stálost za tepla
- nízká nasákavost
- snadné zpracování
- dobrá odolnost vůči korozi

2.2.9 Polytetrafluorethylén (PTFE/teflon) [1], [3]

Polytetrafluorethylén vzniká při vysokotlaké polymeraci předestilovaného tetrafluorethylénu, který je vyráběn z minerálu kazivce. Tato polymerace se z důvodu nebezpečí výbuchu provádí ve vodném prostředí a to způsobem emulzním nebo suspenzním.

Všeobecné použití PTFE: povlaky povrchů (například pánve), těsnění, ložiska, izolace vodičů, trubky, implantáty



Obr.6 Výrobky z PTFE []

Vlastnosti PTFE: Jedná se o částečně krystalický fluoroplast, který má výbornou chemickou a tepelnou odolnost, což je způsobeno především jeho molekulovou strukturou. Jeho rozsah použití je od -200 °C do 250 °C až 300 °C (krátkodobě). Vyznačuje se také tím, že má nejnižší součinitel tření ze všech pevných látek. Je to pružný a houževnatý plast, který má ovšem malou tvrdost a pevnost. Jeho hustota je mezi 2,15 a 2,30 g/cm³.

Příklady:

Sklo- zvyšuje pevnost a mez pevnosti při tečení.

Uhlí/koks- snižuje počáteční opotřebení.

Grafit- zvyšuje odolnost kluzných uložení proti opotřebení způsobeného oděrem.

Ocel- zvyšuje odolnost vůči opotřebení a tepelnou vodivost.

Bronz- zvyšuje pevnost, mez pevnosti při tečení, odolnost způsobenou opotřebením a tepelnou vodivost

MoS₂- zvyšuje odolnost proti opotřebení a sypné vlastnosti.

3. TEPLOTNÍ ODOLNOST PLASTŮ

3.1 Tepelné vlastnosti [16]

Tepelné vlastnosti charakterizujeme za pomoci tepelných konstant, kterými jsou například: měrné tepelná kapacita, tepelná vodivost, délková teplotní roztažnost.

3.1.1 Měrná tepelná kapacita [16]

Jedná se o teplotně závislou konstantu, u které je nutné vymezit si teplotní oblast. Měření probíhá způsobem, kdy je vzorek plastu vysušen a vytemperován na příslušnou teplotu. Poté je vložen do kalorimetru, který má rozdílnou teplotu. Vzorek předá část tepla kalorimetru a následně se vypočítá měrná tepelná kapacita.

$$C = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT} \quad [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}] \quad (1)$$

kde c je měrné teplo, m je hmotnost

3.1.2 Měrná tepelná vodivost [16]

Jedná se o hustotu tepelného toku, která je podělena gradientem teploty.

$$\lambda = \frac{q}{\frac{dT}{dl}} \quad (2)$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti, q je hustota tepelného toku

Přičemž hustota tepelného toku je množství tepla, které projde za jednotkový čas jednotkovou plochou, která je kolmá vůči směru toku.

$$q = \frac{Q}{A \cdot t} \quad (3)$$

kde Q je tepelná energie, A je jednotková plocha a t je čas

Měrnou tepelnou vodivost pro určitou tloušťku plochy tedy spočítáme:

$$\lambda = \frac{Q}{A \cdot t} \cdot \frac{dh}{dT} \quad [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}] \quad (4)$$

3.1.3 Délková teplotní roztažnost [16]

Polymery na rozdíl od jiných konstrukčních materiálů mají velkou teplotní roztažnost. Teplotní roztažnost se měří na dilatometrech.

$$\alpha_{t1}^{t2} = \frac{l}{l_0} \cdot \frac{dl}{dt} \quad [K^{-1}] \quad (5)$$

kde α je teplotní součinitel, l je délka tělesa a l_0 je délka tělesa po prodloužení

3.2 Hořlavost [16], [17]

Jedná se o schopnost zapáleného materiálu hořet. Z důvodu bezpečnosti při reálných aplikacích plastů se jedná o jednu z nejdůležitějších vlastností. Při zkoušení hořlavosti se zkouší nejen vlastní spalování, ale i například uvolňování jedovatých látek.

Z hlediska hořlavosti dělíme materiály na tři kategorie:

- nehořlavé – zkoušené těleso po vytažení z plamene nehoří
- samozhášivé – zkoušené těleso po vytažení z plamene nehoří déle než 15 sekund
- hořlavé – zkoušené těleso po vytažení z plamene hoří déle než 15 sekund nebo shoří úplně

Zkušební metody hořlavosti

Nejpoužívanější metody jsou UL 94 a metoda kyslíkového čísla LOI.

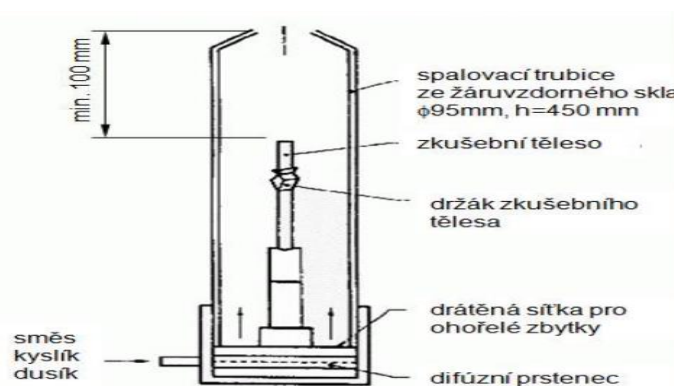
3.2.1 Metoda kyslíkového čísla [16] [17]

Přítomnost kyslíku podporuje hoření organických látek, proto plasty obsahující ve své molekule kyslík patří mezi vysoce hořlavé. Halogeny naopak patří mezi prvky, které hoření redukuje, čímž klesá hořlavost plastů, které halogeny obsahují.

Tato metoda je založená na stanovení minimální koncentrace kyslíku, při které zkoušený plast ještě hoří. K této metodě je využívána směs kyslíku a dusíku. Koncentrace kyslíku se určí za pomoci tzv. kyslíkové čísla podle vztahu:

$$\text{kyslíkové číslo} = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \cdot 100 \quad [\% \text{ obj.}] \quad (6)$$

Zkušební zařízení (obr. 7) je složeno ze žáruvzdorné skleněné trubice o délce alespoň 400 mm a průměru alespoň 55 mm. V této trubici je umístěný vertikálně vzorek a je do ní přiváděna směs kyslíku a dusíku. Počáteční hodnota kyslíku bývá 21%. Poté se trubice promývá, alespoň 30 sekund a poté se vzorek zapálí. Pokud hoří déle jak 180 sekund, tak se obsah kyslíku redukuje, pokud do 180 sekund pohasne, tak se naopak zvýší koncentrace kyslíku. Výslednou koncentrací se určí ta koncentrace, při které těleso hoří méně než 180 sekund a při zvýšení o 0,5% objemu kyslíku hoří těleso déle než 180 sekund. Tato koncentrace se dosadí do vzorce pro kyslíkové číslo.



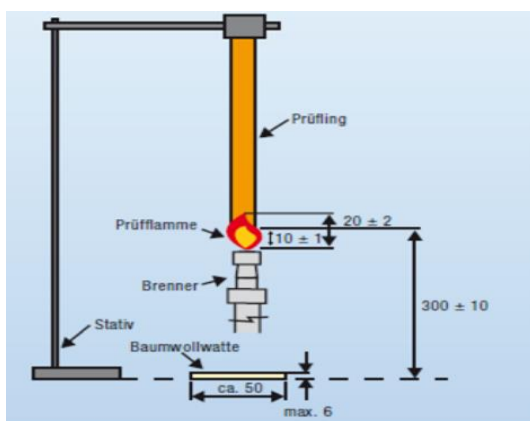
Obr. 7 Zařízení pro stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla [17]

3.2.2 Metoda UL94 [16], [17]

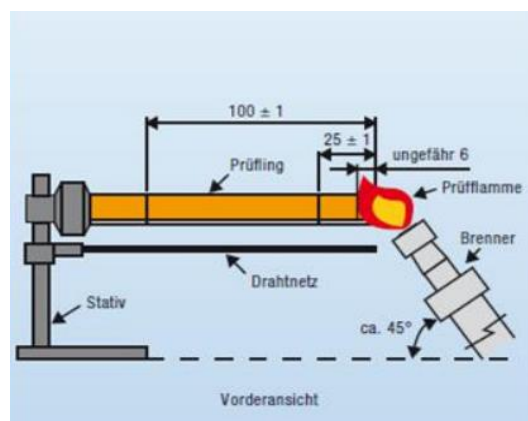
Metodu UL94 dělíme na UL94 V (vertikální uspořádání zkoušky) a UL94 HB (horizontální uspořádání zkoušky).

Zkouška ve vertikální poloze (obr. 8) se provádí u plastů, které jsou samozhášivé a po oddálení hořáku mají tendenci samy zhášet.

Zkouška v horizontální poloze (obr. 9) se provádí u plastů, které jsou hořlavé a nemají tendenci zhášet po oddálení hořáku.



Obr.8 Zkouška ve vertikální poloze [18]



Obr.9 Zkouška v horizontální poloze [18]

Hodnocení hořlavosti dle UL94 V:

- V-Q: vzorek nescapává a plamen zháší do 10 sekund.
- V-1: vzorek nescapává a plamen zháší do 30 sekund.
- V-2: vzorek skapává a zapaluje bavlnu, která je umístěná pod zkušebním místem.
Zháší do 30 sekund

Hodnocení hořlavosti dle UL94 HB:

Kritériem je uhořelá délka vzorku, respektive rychlost hoření mezi 25 mm a 100mm.

3.3 Teplotní odolnost [16], [18]

Teplotní rozsah materiálu je vždy charakteristický pro daný plast a odvíjí se od jeho struktury. Plasty s lineární strukturou bývají například citlivější vůči teplotním změnám než například zesíťované plasty. Vliv teploty se nejčastěji pozoruje u mechanických vlastností plastů, které jsou měřeny statickými zkouškami, jako je například tahová nebo rázová zkouška. Tyto zkoušky však nedokáží predikovat chování plastů při dlouhodobém působení teplot a při trvalých deformacích.

Teplotní odolnost se zjišťuje různými typy zkoušek. Mezi tyto typy patří například teplotní odolnost podle Vicata, či teplotní odolnost podle Martense.

3.3.1 Teplotní odolnost podle Vicata [16], [18]

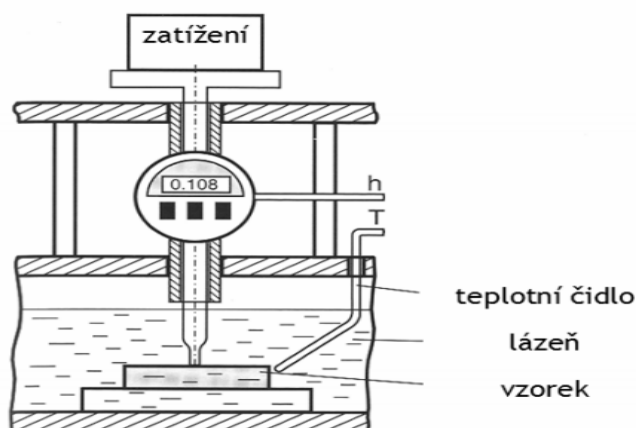
Teplotní odolnost podle Vicata se definuje jako teplota, při níž dochází za předem definovaných podmínek ke vtlačení předepsaného hrotu do 1mm vzorku. Sleduje se tím měknutí materiálu, které hraje výraznou roli při jednotlivých aplikacích.

Tuto zkoušku lze provádět pouze u čistých materiálů, které například neobsahují textilní výztuž.

Zkušební zařízení podle Vicata (obr. 10) je složeno z tyče, která je uchycená na tuhém rámu tak, aby se tyč mohla volně pohybovat ve svislém směru. Horní část tyče má opěrné zařízení pro závaží, které se volí tak, aby bylo zkušební zatížení 0,1 MPa nebo 0,5 MPa .V dolní části je připevněna zkušební jehla, která je z kalené ocele.

Velikost vzorku musí být alespoň 10 x 10 mm a tloušťka se musí pohybovat od 3mm do 6,4 mm, přičemž pokud je tloušťka nedostatečná, můžou se vrstvit až 3 vrstvy zkoušeného vzorku.

Měření začíná při ponoření zkoušeného tělesa do lázně (voda či olej) a to alespoň 35 mm pod hladinu lázně. Teplota lázně musí být zpočátku alespoň o 50 °C nižší než je předpokládaná teplota měknutí. Lázeň následně rovnoměrně zvyšuje svojí teplotu a s rostoucí teplotou jsou zaznamenávány hodnoty hloubky vtlačení jehly až do hloubky 1 mm, což je teplota měknutí podle Vicata.

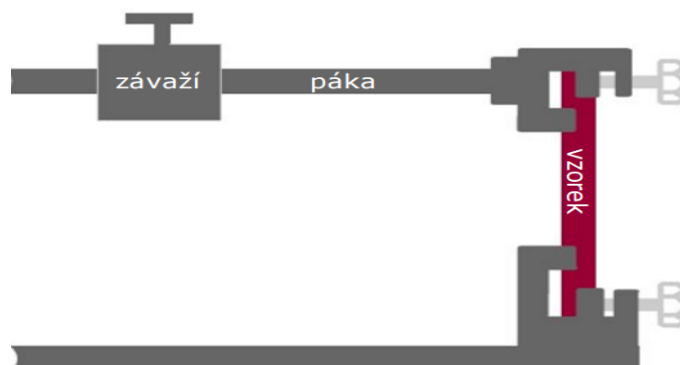


Obr. 10 Zkušební zařízení podle Vicata [17]

3.3.2 Teplotní odolnost podle Martense [16], [18], [19]

Teplotní odolnost podle Martense je definována jako teplota, při které dochází ke smluvnímu průhybu zkoušeného tělesa. Velikost definovaného průhybu je odpovídající poklesu ramena zkušebního nástroje o 6 mm.

Zkušební zařízení podle Martense (obr. 11) je složeno z čelistí, ve kterých je vzorek pevně uchycený, a páky se závažím. Zkušební tělesa jsou upnutá ve svislé poloze a mají velikost 10 x 15 x 120 mm nebo 6 x 4 x 50 mm. Vzorky jsou namáhány na ohybový moment o velikosti 5 MPa, který je způsoben závažím na páce. Toto měřicí zařízení je temperováno vzduchem, jehož teplota lineárně vzrůstá a to až do doby, kdy dojde ke smluvnímu průhybu o 6mm.



Obr. 11 Zkušební zařízení podle Mertense [19]

3.4 Přejíchodové teploty [20]

Na vlastnosti plastů má velký vliv teplota. V teplotních oblastech, které nazýváme přechodné, se vlastnosti materiálů mění skokově.

Mezi přechodové teploty patří:

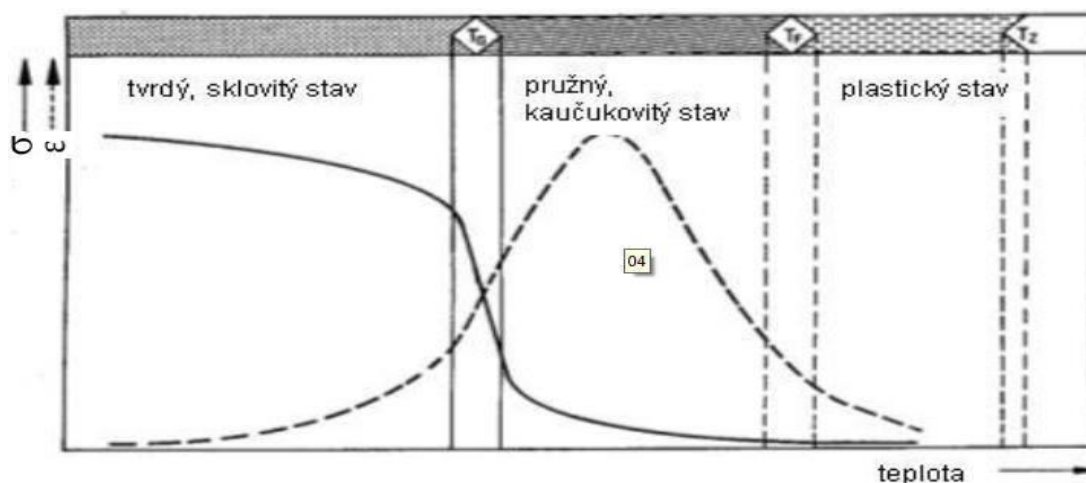
T_G – Teplota zesklennění nebo také teplota skelného přechodu. Pod touto teplotou je materiál ve sklovitém stavu, nad ní je v kaučukovitém stavu. Teplota zesklennění se obtížně zjišťuje.

T_F – Teplota viskózního toku. Tato teplota se určuje u amorfních plastů a plast se za této teploty mění ve viskózní kapalinu.

T_M – Teplota tání krystalitů. Tato teplota se určuje u krystalických plastů.

Amorfíí plasty:

U amorfních plastů dochází k největší skokové změně vlastností v okolí teploty T_G . Z obrázku č. 12 lze vypořozovat, že v oblasti skelného přechodu dochází ke snížení pevnosti v tahu asi o tři řády (plná křivka) a zvýšení teplotní roztažnosti asi o 100% (čárkovaná křivka). Konkrétní hodnota je závislá na vlastnostech plastů. Teplotu zesklennění lze ovlivnit například přidávkem změkčovadel.



Obr. 12 Závislost mechanických vlastností na teplotě u amorfních plastů [20]

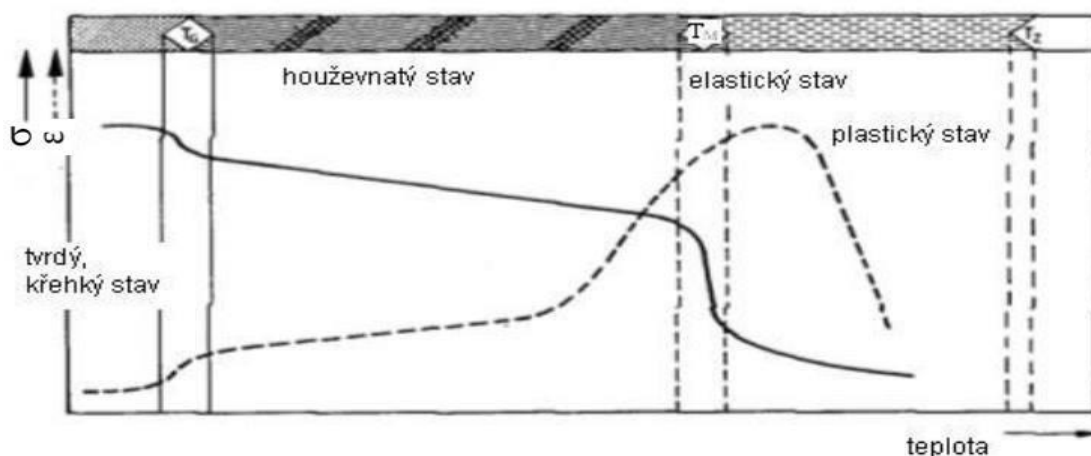
U amorfních plastů je důležitým faktorem zesítnění. Zatímco lineární amorfní polymery mění v oblasti zesítnění skokově modul pružnosti ve smyku, tak u zesíťovaných amorfních polymerů dochází při vysokých teplotách jen k relativně malému poklesu modulu pružnosti, který zůstává od určité teploty konstantní. Závislost zesítnění lze vidět v obrázku č. 13



Obr. 13 Závislost napětí na zesítnění plastu [20]

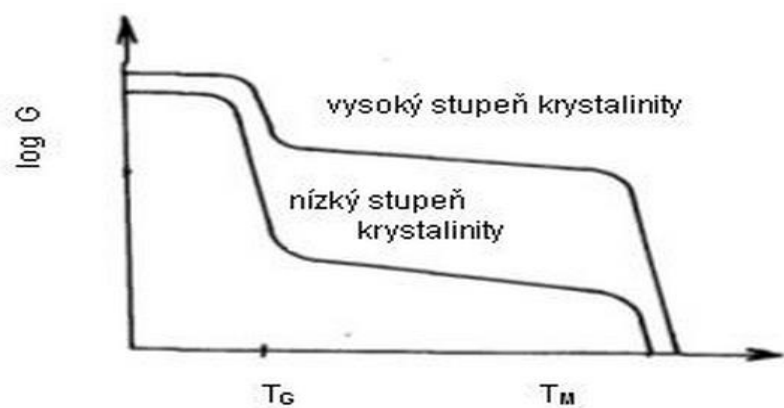
Semikrystalické plasty:

U semikrystalických plastů dochází k největší změně vlastností v oblasti tání krystalitů T_M . Při teplotě T_M dochází k tání krystalitů, což má za následek změnu z tuhého stavu do stavu kapalného. Závislost mechanických vlastností semikrystalických plastů na teplotě je znázorněn v obrázku č. 14



Obr. 14 Závislost mechanických vlastností na teplotě u semikrystalických plastů [20]

U semikrystalických plastů je důležitým faktorem stupeň krystalinity. V obrázku č. 15 lze vidět, že zatímco u plastů s nízkým stupněm krystalinity dochází k velkému poklesu modulu pružnosti už při teplotě zesítnění, tak u plastů s vysokým stupněm krystalinity dochází k největšímu poklesu modulu pružnosti při teplotě tání.



Obr. 15 Závislost modulu pružnosti na stupni krystalinity [20]

Porovnání amorfních a semikrystalických plastů:

Zatímco amorfní plasty si uchovávají své mechanické vlastnosti pouze do teploty zesklňování T_g , tak semikrystalické si je uchovávají do teploty tání T_m . Teploty tání a zesklňování pro vybrané druhy plastů jsou uvedené v tabulce č. 3.

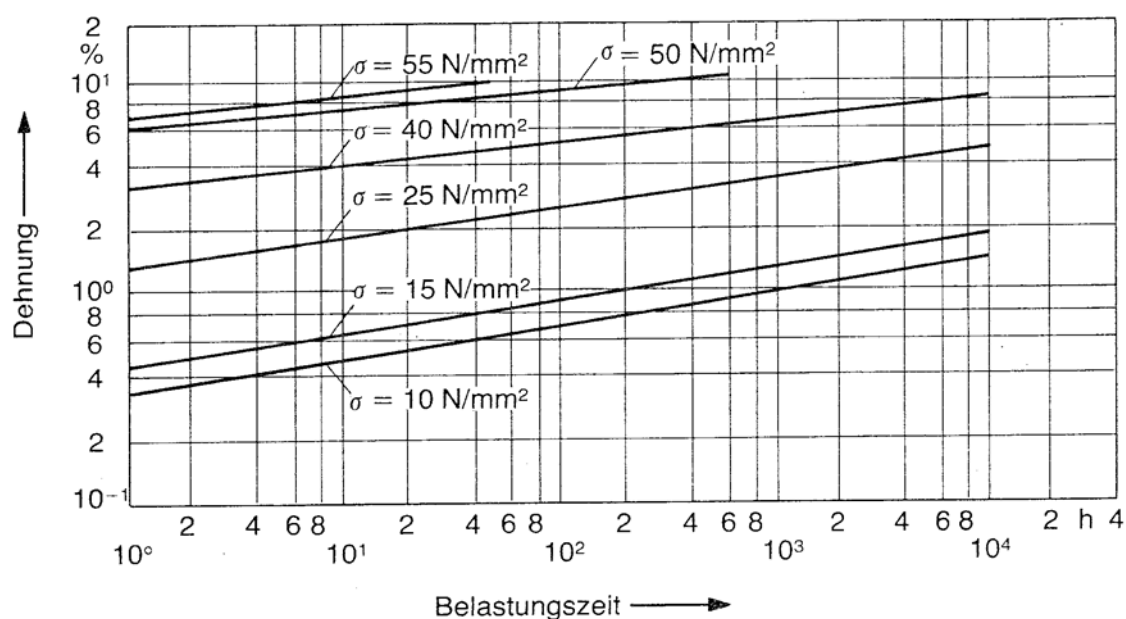
	Zkratka plastu	T_g [$^{\circ}\text{C}$]	T_m [$^{\circ}\text{C}$]
semikrystalické plasty	LDPE	-120	110
	HDPE	-120	130
	POM	-50	175
	PP	-15	170
	PA6	50	223
	PA66	50	260
	PTFE	126	327
amorfní plasty	PVC	87	-
	PS	95	-
	ABS	105	-
	PC	150	-

Tab. 3 Teploty zesklňování a teploty tání
u vybraných druhů plastů

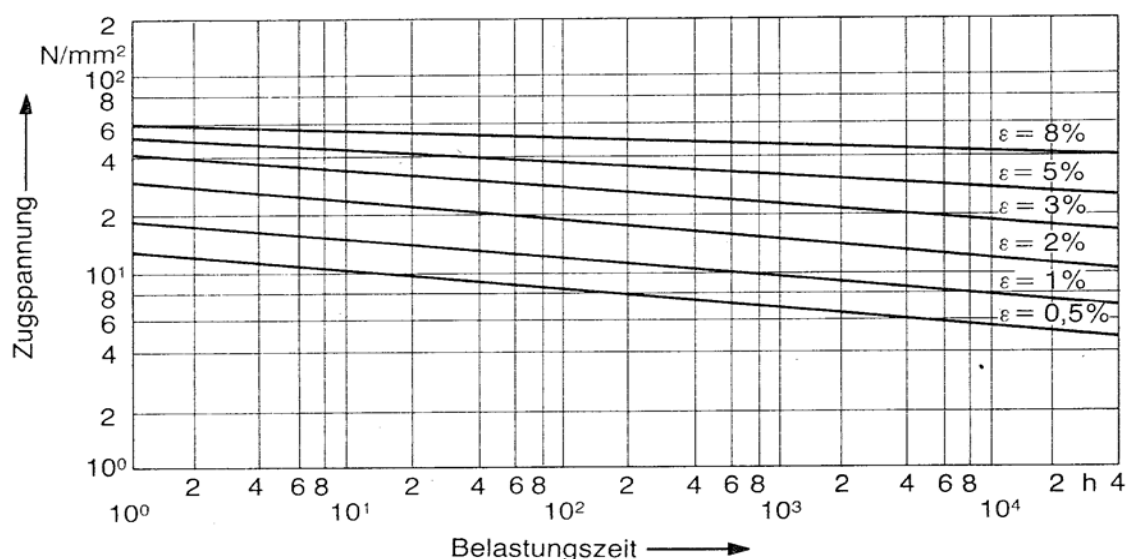
3.5 Degradace tepelně namáhaných plastů v závislosti na čase [21]

Obecně platí, že při dlouhodobém namáhání klesají mechanické vlastnosti materiálu. Stejně tomu je i u plastových materiálů. Mechanické vlastnosti při dlouhodobém konstantním namáhání se posuzují na základě závislosti tří veličin, kterými jsou napětí, deformace a čas.

V obrázku č. 16 můžeme vidět obecnou závislost prodloužení (Dehnung) na době zatěžování (Belastungszeit) pro jednotlivá napětí. V obrázku č. 17 je znázorněna závislost napětí (Zugspannung) na době zatěžování pro jednotlivá prodloužení.



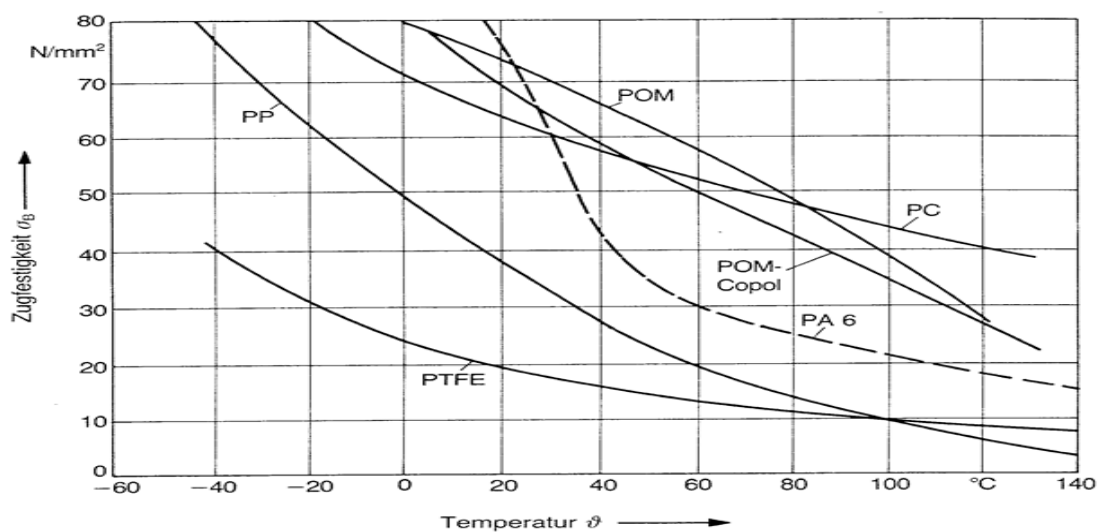
Obr. 16 Graf závislosti prodloužení na době zatěžování pro různá napětí [21]



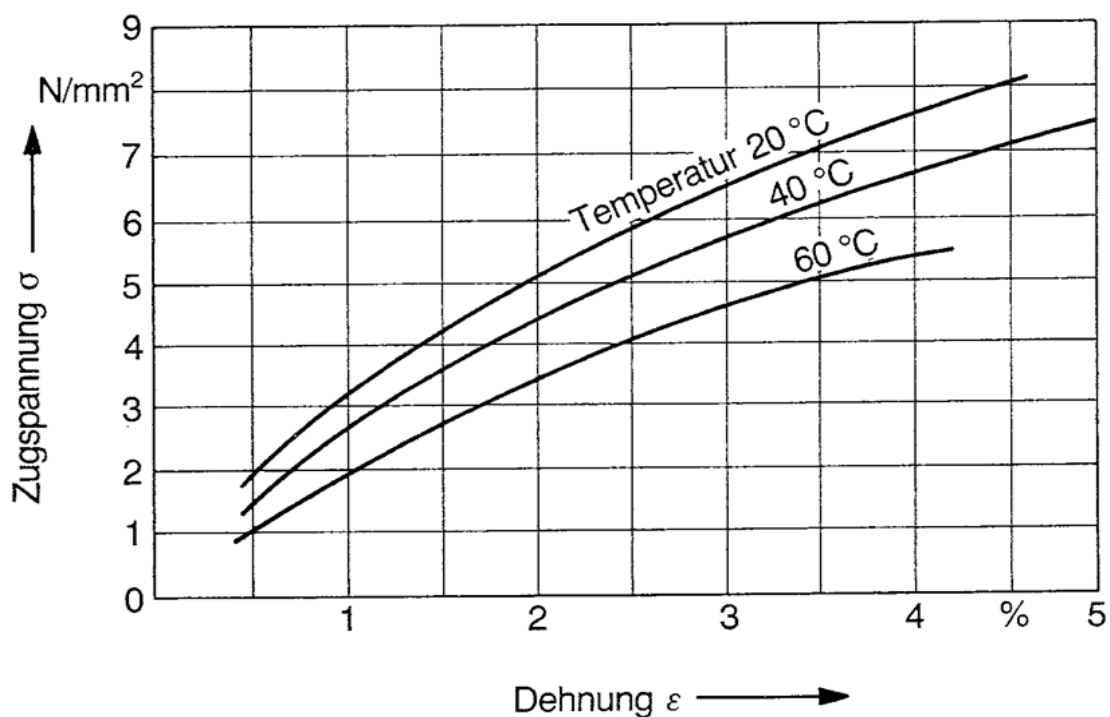
Obr. 17 Graf závislosti napětí na době zatěžování pro různá prodloužení [21]

Dalším faktorem, který ovlivňuje mechanické vlastnosti plastů je teplota. V obrázku č. 18 lze vidět závislost pevnosti v tahu (Zugfestigkeit) na teplotě (Temperatur) pro různé druhy plastů.

V obrázku č. 19 lze vidět obecnou závislost napětí na prodloužení pro různé teploty.



Obr. 18 Graf závislosti pevnosti v tahu na teplotě pro různé druhy plastů [21]



Obr. 18 Graf závislosti napětí na prodloužení pro různé teploty [21]

3.6 Tabulkové zhodnocení teplotní odolnosti vybraných plastů [22]

Zkratka plastu	Měrná tepelná kapacita C_p (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	Tepelná vodivost při 20 až 50 °C λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Délková teplotní roztažnost při 20 až 50 °C α (105. K ⁻¹)	Krátkodobá teplotní mez (°C)	Dlouhodobá teplotní mez (°C)	Teplota křehnutí (°C)	Tvarová stálost za tepla (°C)
PVC	0,83-0,92	0,16	7-8	70-80	55-70	-5	75
PVC-P	-	0,12	15-21	65	50-60	+5 až -40	-
IPE	2-2,3	0,38-0,48	14	95	75	-60	40-45
rPE	2,3-2,5	0,33-0,36	23	90	70	-60	35-45
PP	1,7	0,22	18	120	95	-10	66-70
PA6	1,7-2,1	0,21	7-12	120-150	80	-10	65-85
PA66	1,7	0,2	7-10	140-160	80-90	-20 až 0	80-100
PA12	1,2	0,2	8-10	110-140	70-80	-50	55
PET	1	0,24	7-8	80-170	60-110	-40	66-86
PC	1,3	0,2	6-7	135	100	-60	135-140
PS	1,17	0,14-0,16	6-8	60-90	55-80	-	70-80
ABS	1,4	0,16-0,17	5-10	85-115	75-110	-30	85-110
POM	1,47-1,5	0,29	10-14	140	85-95	-50	85-100
PTFE	-	0,23	10-16	300	260	-250	-

Tab. 4 Teplotní odolnost plastů

Zkratka plastu	Stupeň hořlavosti	Zkratka plastu	Stupeň hořlavosti
PVC	A-B	PA12	B
PVC-P	A-B	PET	C
IPE	B-C	PC	A-B
rPE	B-C	PS	C
PP	C	ABS	B
PA6	B	POM	C
PA66	B	PTFE	A

Tab. 5 Hořlavost plastů

0-nehoří, A-samozhášivý, B-velmi pomalu hoří, C-pomalu hoří, D-rychle hoří

4. CHEMICKÁ ODOLNOST PLASTŮ [23]

Chemická odolnost plastů je závislá především na chemickém složení a struktuře jednotlivých plastů. Dalším faktorem je složení prostředí a podmínky působení.

Působící prostředí lze podle vzájemného působení rozdělit na chemicky aktivní prostředí a na fyzikálně aktivní prostředí. Toto rozdělení lze vysvětlit například při působení vody na polyamid. Za normální teploty působí voda na polyamid jako fyzikálně aktivní, zatímco při teplotě varu voda působí na polyamid jako chemicky aktivní a může způsobovat jeho hydrolýzu.

4.1 Fyzikálně aktivní prostředí [23]

Toto prostředí nevyvolává s daným plastem chemickou reakci a změny, které vyvolá, jsou vratné. Fyzikálně aktivní prostředí vyvolává u plastů botnání, které může přecházet až do rozpouštění. U plastů, které obsahují přísady, může fyzikálně aktivní prostředí způsobovat vymývání některé součásti, což může vést ke změně vlastností plastů.

Odolnost vůči fyzikálně aktivnímu prostředí lze přibližně určit na základě polarit obou komponent. Platí, že polární polymery se rozpouští nebo botnají v polárních látkách, ale jsou odolné vůči nepolárním látkám. Nepolární polymery se rozpouští nebo botnají v nepolárních látkách, ale jsou odolné vůči polárním látkám. Velikost polarity se usuzuje z hodnoty hustoty kohezní energie. Tato hodnota bývá označována jako parametr rozpustnosti a značí se δ . Ve většině případů platí, že čím menší jsou rozdíly mezi hustotou kohezní energie působící sloučeniny a polymeru, tím větší nastává rozpouštění či botnání.

Hodnoty hustoty kohezní energie vybraných plastů a některých nízkomolekulárních jsou uvedeny v tab.

Parametry rozpustnosti polymerů					
Typ plastu	δ	Typ plastu	δ		
polytetrafluorethylén	6,2	polystyrén	8,7	polyamid 6.6	13,6 až 14,5
polyethylén	7,9	polyvinylchlorid	9,5 až 9,7	polyoxomethylén	-
polypropylén	8,2	polyethyléntereftalát	10,7	polykarbonát	-
Parametry rozpustnosti nízkomolekulárních sloučenin					
Sloučenina	δ	Sloučenina	δ	Sloučenina	δ
butan	6,3	toluen	8,94	amoniak	12,23 až 16,3
pentan	7,07	benzen	9,15 až 9,21	ethanol	12,8
hexan	7,25	chloroform	9,4	kresol	13,3
cyklohexan	8,2	aceton	9,89	kys. mravenčí	13,5
butylacetát	8,5	kys. octová	10,1	methanol	14,48
tetrachlormethan	8,6	sírouhlík	10,1	voda	23,41 až 24,2
xylén	8,8	kys. máselná	10,4		

Tab. 6 Hodnoty kohezní energie vybraných plastů a nízkomolekulárních sloučenin

Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje odolnost polymerů vůči fyzikálně aktivnímu prostředí je fyzikální struktura polymeru. Polymer, který má vyšší stupeň krystalinity je odolnější vůči rozpouštědlům než méně krystalický polymer. Vliv může hrát i orientace polymeru a přítomnost plniv.

4.2 Chemický aktivní prostředí [23]

Chemický aktivní prostředí s polymerem reaguje a způsobuje jeho nevratnou změnu vlastností. Při chemické reakci dochází k nejzásadnějšímu znehodnocení plastového materiálu. Pro plasty je charakteristické, že již malý stupeň chemické přeměny způsobuje výrazně změny vlastností.

Polymery jsou makromolekulární sloučeniny, jejichž chemické reakce se řídí stejnými zákony jako nízkomolekulární látky. Polymery mají ovšem mnoho reaktivních skupin, které se ale nezúčastňují reakce.

Vlivy na chemickou odolnost:

- Vysokomolekulární sloučeniny, jejichž makromolekuly tvoří uhlíkatý řetězec, jsou velmi stálé vůči kyselinám, zásadám, solím a slabým oxidačním činidlům. Jedná se například o polyethylén.
- Zavedením substituentu do polyethylenového řetězce dojde k oslabení proti korozi. Výjimku tvoří sloučeniny, u kterých je vodík nahrazen chlorem nebo fluorem (například PTFE)
- Dvojně vazby v makromolekule snižují odolnost, zejména vůči působení chemických činidel.
- Chemická degradace polymerů exponenciálně roste v závislosti na teplotě. Při teplotě nad oblastí zesklnění může docházet k dalšímu urychlování chemické reakce.
- Zvyšováním koncentrace působící látky se ve většině případů urychluje znehodnocování polymeru. Může ovšem nastat i případ, kdy zvyšující se koncentrace působící látky zapříčiní zpomalení degradace.
- Důležitým faktorem při působení chemicky agresivního prostředí je mechanické namáhání. Mechanické namáhání může samo vést k roztržení kovalentních vazeb. Při současném působení mechanického namáhání a chemicky agresivního prostředí, hovoříme o mechanickochemických procesech. Mezi tyto procesy patří například chemická relaxace, chemický creep nebo koroze za napětí.

Při současném působení chemicky agresivního prostředí a tahového napětí vznikají v plastu trhliny, které dále pronikají do hloubky materiálu, což může vést k porušení celistvosti. Tento jev, při kterém působí na plast chemické prostředí a tahové napětí, nazýváme korozi za napětí.

4.3 Nasákavost a navlhavost [22]

Dalším faktorem, který může nepřímo ovlivňovat chemickou odolnost plastů je nasákavost a navlhavost.

Nasákavost s navlhavostí je měřítkem pro odolnost materiálu proti vodě. Přijímání vody z ovzduší je označováno jako navlhavost a z vody je označováno jako nasákavost. Navlhání způsobuje zvětšování součásti a snižuje pevnost, modul pružnosti a tvrdost. Naopak se zvyšuje rázová a vrubová houževnatost a tažnost.

V tabulce č. 8 je porovnávána schopnost vybraných plastů přijímat vodu. Při této zkoušce byly plasty o průměru 50 mm a tloušťce 3 mm ponořeny do vody o teplotě 23 °C a to po dobu 4 dnů.

4.4 Tabulkové zhodnocení chemické odolnosti vybraných plastů [22]

Zkratka plastu	horká voda	kyseliny	zásady	rozpouštědla				oxidační činnidla	anorg. soli
				alifatické uhlovodíky	alkoholy	ethery	aromatické sloučeniny		
Rpe	A	A	A	D	C	E	E	E	A
Lpe	A	A	A	-	A	C	B	E	A
PP	A	A-B	A	B	A	C	D	E	A
PVC	C	A	A-B	B	A	D	D	B	A
PVC-P	C	B	B-C	-	D	D	E	B	A
PA 66	C	E	A-B	B	B	A	B	E	A
PA 6	C	E	A-B	B	B	A	B	E	A
PA 12	C	E	B	A	B	A	B	E	A
PET	D	A-B	B	A	B	A	A	A	A
PC	C	A-D	E	C	B	E	E	C	B
PS	A	A-B	A-B	D	A	D	D	C	A
ABS	A	A-B	B	C	B	E	E	D	A
POM	B	B-E	A	D	A	A	B	D	A
PTFE	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Tab. 7 Chemická odolnost vybraných plastů

A- odolává dobře, B- odolává středně až dobře, C- odolává středně,

D- odolává špatně, E- neodolává

Zkratka plastů	Přírůstek hmotnosti za 4 dny [mg]	Zkratka plastů	Přírůstek hmotnosti za 4 dny [mg]
rpe	<0,01	PA 12	30
lpe	<0,01	PET	18-20
PP	<0,01	PC	10
PVC	3-20	PS	3-4
PVC - P	20	ABS	20-70
PA 66	100-500	POM	20-30
PA 6	300-1000	PTFE	<0,01

Tab. 8 Nasákavost vybraných plastů

5. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vyhodnocení možností vybraných plastů pro použití do tepelně a chemicky namáhaného prostředí.

Na základě zjištěných údajů byly plasty obodovány na chemickou a tepelnou odolnost a výsledky byly zapsány do tabulky č. 9.

TEPELNOU ODOLNOST												
tepelná mez	tepelná křehnutí	hořlavost	ΣTEPELNOU ODOLNOST	nasákavost	odolnost vůči kyselinám	odolnost vůči zásadám	odolnost vůči ox. činidlům	odolnost vůči anorg. solím	odolnost vůči horké vodě	odolnost vůči rozpouštědlům	ΣCHEMICKÁ ODOLNOST	
Zkratka plastu	0-15	0-5	0-10	Σ 0-30	0-3	0-6	0-6	0-3	0-3	0-3	0-6	Σ0-30
rPE	4	4	3	11	3	6	6	0	3	2	1	21
IPE	5	4	3	12	3	6	6	0	3	2	4	24
PP	9	1	1	11	3	5	6	0	3	2	3	22
PVC	2	1	7	10	2	6	5	2	3	1	3	22
PVC-P	1	2	7	10	1	4	3	2	3	1	1	15
PA 66	7	1	5	13	0	0	5	0	3	1	5	14
PA 6	6	1	5	12	0	0	5	0	3	1	5	14
PA 12	5	4	5	14	1	0	4	0	3	1	5	14
PET	6	3	1	10	1	5	4	3	3	0	5	21
PC	10	4	7	21	2	3	0	1	2	1	1	10
PS	2	1	1	4	2	5	5	1	3	2	1	19
ABS	8	3	5	16	1	5	4	1	3	2	1	17
POM	8	4	1	13	1	1	6	1	3	2	4	16
PTFE	14	5	9	24	3	6	6	3	3	3	6	30

Tab. 9 Vyhodnocení tepelné a chemické odolnosti vybraných plastů

Z tabulky č. 9 lze vyčíst, že nejlepší odolnost v tepelně namáhaném prostředí bude mít polytetrafluorethylén (PTFE) a polykarbonát (PC), naopak nejhůře bude odolávat polystyrén (PS).

Nejlepší odolnost v chemicky namáhaném prostředí bude mít polytetrafluorethylén (PTFE), polyethylén (PE), polypropylén (PP) a polyvinylchlorid (PVC), naopak nejhorší chemickou odolnost bude mít polykarbonát (PC), polyamidy (PA) a měkčený polyvinylchlorid (PVC-P).

V tabulkovém vyhodnocení vyšel nejlépe polytetrafluorethylen (PTFE). Tento plast velmi dobře odolává jak prostředí s agresivními chemickými účinky, tak prostředí s vyššími teplotami. PTFE ovšem ještě není v dnešní době pro využití typickým technickým plastem a to z různých důvodů, jako jsou například cena a náročnost výroby, a technologové často vybírají jiné druhy plastů.

Při konkrétním výběru plastu pro specifickou aplikaci by bylo nutné znát maximální teploty a typy chemikálií, které by na plast působily. Na základě těchto údajů by technolog vybral nejvhodnější plast pro danou aplikaci. Kromě chemické a teplotní odolnosti by se při výběru plastu pro specifické aplikace musely uvažovat i mechanické vlastnosti plastu, jeho cena a další vlastnosti. Po vyhodnocení všech těchto aspektů, by technolog zvolil nejvhodnější plast pro danou aplikaci.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1 SOVA, Miloš a Josef, KREBS. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
- 2 *Oddělení povrchového inženýrství, ZCU: Plasty* [online]. [cit. 2015-04-6]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/plasty.pdf>
- 3 *Přehled technických plastů* [online]. [cit. 2015-04-5]. Dostupné z: http://www.feronathyssen.cz/cms_dokumenty/ftp-prehled-technickych-plastu.pdf
- 4 LEDERER, Jaromír. *Polyvinylchlorid*, Katedra chemie, UJEP [online]. [cit.2015-04-8]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/PVC07022013.pdf>
- 5 *Trends Floor idea* [online]. [cit. 2015-04-5]. Dostupné z: <http://www.trendsfloor.com/types-of-flooring/commercial-wood-imitation-pvc-flooring-pefc-certified-premium/>
- 6 *Speedline Corporation* [online]. [cit. 2015-04-5]. Dostupné z: <http://www.speedlinepvc.com/>
- 7 TOMIS, František. *Polyetylén*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961, 261 s. : il., čb. fot., tabulky, grafy 2 fólie.
- 8 *Katedra chemie, UJEP:Polyolefiny* [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/PE%20a%20PP2013.pdf>
- 9 *Milliken CHEMICAL* [online]. [cit. 2015-04-5]. Dostupné z: <http://millikenchemical.com/default.aspx>
- 10 *BONNAFIDE CHEMICALS* [online]. [cit. 2015-04-5]. Dostupné z: <http://www.bonnafidechemicals.com/pp-products.htm>
- 11 *Power Transmission Engineering* [online]. [cit. 2015-04-5]. Dostupné z: <http://www.powertransmission.com/newsletter/1012/plastics.htm>
- 12 *Ducona* [online]. [cit. 2015-04-5]. Dostupné z: <http://www.ducona.com/Products.aspx?GB-13-2>
- 13 LEDERER, Jaromír. *Polyamidy*, Katedra chemie, UJEP [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/POLYAMIDY07022013.pdf>
- 14 *Petinsurance* [online]. [cit. 2015-04-5]. Dostupné z: <https://www.petinsurance.com/healthzone/education/pet-poisons-and-toxins/household-toxins-for-pets.aspx>
- 15 *360Industrialproducts* [online]. [cit. 2015-04-5]. Dostupné z: <http://www.360indproducts.com/products/ptfe-products/>
- 16 *Ústav fyziky a materiálového inženýrství, UTB: Tepelné vlastnosti* [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_12.pdf
- 17 *Katedra strojírenské technologie, TUL: Hořlavost plastů* [online]. [cit. 2015-05-4]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/horlavost.pdf
- 18 ONDŘEJ, KEBRLE. *Zkoušení plastů*. Sborník z konference firmy KOMPOZITY Brno, 2004.
- 19 *Katedra strojírenské technologie, TUL: Tepelné vlastnosti plastů* [online]. [cit.2015-05-6]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/odolnost.pdf
- 20 AUSPERGER, Aleš: *Vlastnosti plastů. Technologické vlastnosti polymerů. Přechodové teploty*. Fakulta strojní, Technická univerzita Liberec.
21. SCHWARZ, Otto. *Kunststoffkunde*. 4. Auflage Würzburg: Vogel Verlag, 1992. 290 s. ISBN 3-8023-1449-2.

22. *Školící materiály firmy Kompozity Brno pro kurzy seřizovačů vstřikovacích strojů.*
23. DOLEŽEL, Břetislav. Odolnost plastů a pryží. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981. 710 s. ISBN DT 678.4-5-536.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Jednotková plocha	[m ²]
c	Měrné teplo	[KJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
q	Hustota tepelného toku	[W.m ⁻²]
m	Hmotnost	[kg]
l	Délka tělesa	[mm]
l ₀	Délka tělesa po prodloužení	[mm]
t	Čas	[s]
T _q	Teplota skelného přechodu	[°C]
T _m	Teplota tání	[°C]
Q	Tepelná energie	[W]
α	Teplotní součinitel	[K ⁻¹]
δ	Hustota kohézní energie	[-]
ε	Prodloužení	[%]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
ρ	Hustota	[kg.m ⁻³]
σ	Napětí	[N.m ⁻¹]