

Studium mechanických charakteristik desek a konstrukčních prvků ze strukturního PP

Bc. Dana Bašná

Diplomová práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Dana BAŠNÁ**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Studium mechanických charakteristik desek
a konstrukčních prvků ze strukturního PP**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii k dané problematice
2. Experimentálně vyšetřujte závislost tuhosti a pevnosti v tahu a ohybu stěn desek a konstrukčních stěnových prvků ze strukturního PP na tloušťce a struktuře stěny
3. Sestavte FEM modely namáhání strukturního – vrstevnatého prvku v tahu a ohybu
4. Získané výsledky vyhodnoťte a stanovte doporučení pro praktické aplikace strukturního PP

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] Šuba, O.: Dimenzování a navrhování výrobků z plastů, UTB ve Zlíně, 2001

[2] Doležel, B.: Odolnost plastů a pryží, Státní nakladatelství technické literatury Praha, 1981

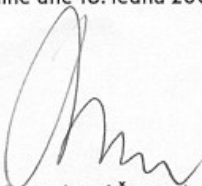
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Oldřich Šuba, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **14. února 2006**

Termín odevzdání diplomové práce: **31. května 2006**

Ve Zlíně dne 18. ledna 2006


prof. Ing. Josef Šimoník, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo určit mechanické vlastnosti PP-H a lehčeného PP-H. Z těchto výsledků byla zpracována závislost tuhosti a pevnosti v tahu a ohybu stěn desek na tloušťce a struktuře stěny.

Získané hodnoty byly použity při sestavování modelu čistírny odpadních vod v programu COSMOS. Model byl vystaven třem případům zatížení:

1. krátkodobá tlaková zkouška – plná nádoba na povrchu
2. mimořádný dlouhodobý stav (1 rok) – prázdná nádoba v zemi
3. provozní stav (25 let) – plná nádoba v zemi

Klíčová slova: mechanické vlastnosti

PP-H

ABSTRACT

The object of this work was specified mechanical properties of PP-H and of Lightening PP-H. Of this outcomes was processed dependence of tensile and bend stiffness and of tensile and bend strength on thickness and structure of wall.

Obtained values were applied on modeling of sewage disposal plant in programme COSMOS/M. The model was exposed to three cases of strain:

1. short-term pressure – full receptacle, which is on surface
2. exceptional long-time situation (1 year) – empty receptacle, which is in soil
3. practised situation (25 years) – full receptacle, which is in soil.

Keywords: mechanical properties

PP-H

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří přispěli ke vzniku této diplomové práce. Zvláště doc. Ing. O. Šubovi, CSc. za odborné vedení a za poskytnuté cenné rady. Dále pak doc. Ing. I. Lukovicsovi, CSc. a Ing. J. Šálkovi při přípravě vzorků, Ing. M. Žaludkovi, PhD za instruktáž k trhacímu stroji a Mgr. R. Dlabajovi z ITC, a. s. za odborné rady, možnosti nahlédnout do výsledků dlouhodobých zkoušek a za poskytnutí materiálu na zkušební vzorky.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uvedena jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně 29. 5. 2006

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VÝROBA POLYPROPYLÉNU ZIEGLER - NATTA	11
1.1 IZOTAKTICKÝ PP	11
1.2 SYNDIOTAKTICKÝ PP	12
1.3 ATAKTICKÝ PP	12
2 KOPOLYMERY POLYPROPYLÉNU.....	13
2.1 HOMOPOLYMER PP	13
2.2 BLOKOVÝ KOPOLYMER.....	13
2.3 STATISTICKÝ KOPOLYMER	14
3 VLASTNOSTI POLYPROPYLÉNU	15
4 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY NA BÁZI POLYPROPYLÉNU	17
4.1 POLYPROPYLÉN S ČÁSTICOVÝM PLNIVEM	17
4.1.1 Vlastnosti.....	17
4.2 POLYPROPYLÉN MODIFIKOVANÝ KAUČUKEM	18
4.2.1 Vlastnosti.....	18
4.3 POLYPROPYLÉN VYZTUŽENÝ VLÁKNY	19
5 ZPRACOVÁNÍ POLYPROPYLÉNU	20
5.1 ZVLÁKŇOVÁNÍ	20
5.2 VYFUKOVÁNÍ FÓLIÍ.....	20
5.3 VSTŘIKOVÁNÍ.....	20
5.4 MEDICINÁLNÍ APLIKACE	21
5.5 AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL	21
5.6 VYFUKOVÁNÍ NÁDOB	22
5.7 VYTLAČOVÁNÍ	22
6 KRÁTKODOBÉ MECHANICKÉ CHOVÁNÍ PLASTŮ	23
6.1 ZÁKLADNÍ MATERIÁLOVÉ PARAMETRY	23
6.1.1 Pevnost	23
6.1.2 Tuhost.....	23
7 SENDVIČOVÁ STRUKTURA LEHČENÝCH PLASTŮ	24
8 STATICKE TAHOVÉ ZKOUŠKY	26

8.1	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY	26
8.2	ZKUŠEBNÍ TĚLESA	29
8.3	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ.....	31
9	STATICKÉ OHYBOVÉ ZKOUŠKY	32
9.1	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY	32
9.2	ZKUŠEBNÍ TĚLESA	33
9.3	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ.....	33
10	ZÁKLADNÍ POJMY A VZTAHY MATEMATICKÉ STATISTIKY	35
11	CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY PRO SVAŘOVANÉ KONSTRUKCE.....	36
12	STANOVENÍ CÍLŮ	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST	38
13	TAHOVÉ VLASTNOSTI.....	39
13.1	TAHOVÉ VLASTNOSTI PP-H.....	40
13.2	TAHOVÉ VLASTNOSTI LEHČENÉHO PP-H	41
13.3	TECHNOLOGICKÉ ASPEKTY	42
13.3.1	Vzorky z desky tloušťky 8 mm	43
13.3.2	Vzorky z desky tloušťky 15 mm	46
13.4	SHRNUTÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ	48
14	OHYBOVÉ VLASTNOSTI.....	50
14.1	OHYBOVÉ VLASTNOSTI PP-H	50
14.2	OHYBOVÉ VLASTNOSTI LEHČENÉHO PP-H.....	52
14.3	SHRNUTÍ OHYBOVÝCH VLASTNOSTÍ.....	53
15	STATICKÝ VÝPOČET ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD.....	55
15.1	GEOMETRIE KONSTRUKCE	55
15.2	PROVOZNÍ PODMÍNKY	55
15.3	HODNOTY VOLENÉ Z ČSN EN 1778	56
15.4	VÝPOČET DOVOLENÝCH NAPĚTÍ	57
15.5	VÝPOČET.....	57
15.5.1	Kontrola na pevnost	57
15.5.2	Kontrola deformace.....	59
15.5.3	Kontrola na stabilitu	60
15.6	DOPORUČENÍ.....	62
ZÁVĚR	65	
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	66	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	67	

SEZNAM OBRÁZKŮ	69
SEZNAM TABULEK.....	71
SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

Polypropylén je klasický představitel komoditních polymerů. Přesto je už od svého objevu začátkem padesátých let trvale předmětem zájmu vědy i průmyslu. Výsledkem intenzivního výzkumu a navazujících marketingových studií je nejen lepší porozumění vztahům mezi strukturou a vlastnostmi polypropylénu, ale také zlepšené postupy polymerace, nové způsoby zpracování a podstatné rozšíření jeho aplikací.

Z velkotonážních plastů (PVC, PS, PE, PP) se izotaktický polypropylén začal průmyslově vyrábět až po roce 1953, kdy Giulio Natta úspěšně použil organokovové katalyzátory k syntéze izotaktického polypropylénu. Tyto katalyzátory původně využil už v roce 1952 Karl Ziegler k nízkotlaké polymerizaci ethylénu. Za tyto průkopnické práce v oblasti stereospecifických polymerizací si Ziegler s Nattou v roce 1963 rozdělili Nobelovu cenu za chemii.

Výhodná kombinace ceny s dobrými užitnými vlastnostmi zajistila izotaktickému polypropylénu pevné postavení mezi komoditními plasty. Některé jeho aplikace jej však řadí i mezi konstrukční materiály. Mezi nejvýznamnější aplikace polypropylénu patří vlákna, obalová technika, díly automobilů, domácích spotřebičů a různé spotřební zboží.

Je zajímavé, že v posledních letech význam polypropylénu znovu zřetelně roste. Důvodem jsou jednak nově vyvinuté modifikace a kompozity na jeho základě, nové pozoruhodné aplikace a také důraz na snadnou recyklovatelnost polymerních výrobků. Za zmínku zde stojí netkané textilie typu spun-bond a melt-blown, polypropylénové trubky pro rozvody vody s výrazným ekonomickým i ekologickým dopadem. Konečně nové možnosti polypropylénu naznačují i nedávno vyvinuté metallocenové katalyzátory. Polypropylén, materiál s úspěšnou čtyřicetiletou historií, překvapuje neustále svými aplikačními možnostmi.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝROBA POLYPROPYLÉNU ZIEGLER - NATTA

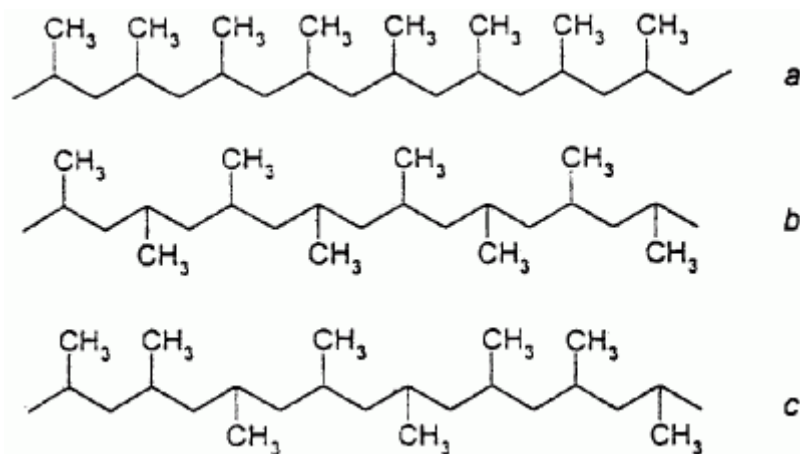
Dle [1] jsou klasickými katalyzátory polymerace propylénu Zieglerovy-Nattovy katalyzátory tvořené nejčastěji komplexem $TiCl_3$ s diethylaluminiumchloridem. Jde o heterogenní katalyzátory, které představují tuhé částice rozptýlené v polymerujícím prostředí.

Při výrobě polypropylénu vznikají molekuly s různou takticitou.

Z hlediska molekulární struktury jsou možné tři odlišné typy polypropylénu:

- izotaktický
- syndiotaktický
- ataktický

U prvního, izotaktického typu (Obr.1a) jsou postranní methylové skupiny umístěny vždy na jedné straně hlavního polymerního řetězce, pokud si jej představíme v idealizované natažené podobě, zatímco v syndiotaktickém polypropylénu (Obr.1b) se postranní methylové skupiny pravidelně střídají po obou jeho stranách. Třetí, ataktický typ (Obr.1c) má zcela náhodnou statistickou molekulární strukturu.



Obr. 1 Schéma větví stereoizomerů polypropylénu

1.1 Izotaktický PP

Produkt obsahuje vedle izotaktického vždy určitý ataktický podíl. Jejich vzájemný poměr je ovlivněn použitým katalyzátorem, rozpouštědlem a také podmínkami polymerace. Přítomnost ataktického podílu je nežádoucí, protože zhoršuje mechanické vlastnosti. Jak uvá-

dí [1] je v praxi důležité, aby podíl izotaktické složky (index izotakticity) byl alespoň 90 %, v případě vláken nejméně 95 až 97 % . Při výrobě se ataktický podíl odstraňuje hexanem nebo kapalným propanem pod tlakem.

1.2 Syndiotaktický PP

Při polymeraci pomocí Ziegler - Nattových katalyzátorů vznikají makromolekulární řetězce různé délky. Stavba metallocenových katalyzátorů umožňuje připravit jednodušší polymer, který potom vykazuje nové, výhodnější vlastnosti, jako například vyšší houževnatost a průzračnost. Ze zpracovatelského hlediska je však nevýhodná. Způsobuje totiž špatnou zpracovatelnost vzhledem k reologickým charakteristikám.

Metallocenové katalyzátory umožňují připravit nejen izotaktický polypropylén s mnohem dokonalejší strukturou a vlastnostmi, ale také syndiotaktický polypropylén, jehož význačným rysem je vysoká průzračnost. Desky ze syndiotaktického polypropylénu mají čtvrtinovou úroveň zákalu oproti deskám z izotaktického polypropylénu. Jejich velkému rozšíření zatím brání poměrně vysoké ceny, které jsou ovlivněny nízkými výrobními kapacitami.

1.3 Ataktický PP

Mezitím však pokračoval vývoj katalytických systémů druhé a třetí generace až k současným metallocenovým katalyzátorům. Dle [1] se tím posléze podařilo potlačit podíl ataktické složky až pod jedno procento. Nejdokonalejší polymerační postupy tak sice poskytují kvalitní izotaktický polypropylén, ale současně vyvolaly zvýšenou poptávku po ataktické formě. Pro ni se totiž postupně našly zajímavé aplikace s perspektivním odbytem (trvale plastické tmely, modifikátory bitumenů apod.) Proto se tento původně vedlejší odpadový produkt nyní paradoxně vyrábí speciálními postupy.

2 KOPOLYMERY POLYPROPYLÉNU

Kopolymerace je pochod, při kterém probíhá současně polymerace dvou nebo více různých monomerů. Dle [2] probíhá tím snadněji, čím podobnější složení, reaktivitu, event. podobné vlastnosti (dielektrické apod.) mají výchozí monomery.

Kopolymerace má podobný účinek na změnu fyzikálně chemických vlastností makromolekulárních látek jako přídavek změkčovadel k čistým polymerům. Toto vnitřní změkčení se projevuje na vlastnostech kopolymeru, který je pružnější a má nižší teplotu měknutí než čistý polymer. Přitom si kopolymer podržuje svoje elastické vlastnosti, kdežto vlastnosti směsi polymeru se změkčovadlem jsou ovlivněny těkavostí změkčovadla.

2.1 Homopolymer PP

Jak je uvedeno v [1], získáváme polymerací samotného propylénu homopolymer, označovaný PP-H. Pro praktické použití je nejčastější homopolymer s molární hmotností mezi 2.105 až 6.105 a poměrně úzkou distribucí. Jsou to vysoce krystalické a dobře tekuté typy. Zvyšuje-li se molární hmotnost a rozšiřuje distribuce, získáme méně tekuté typy se sníženou krystalinitou. a dobrou houževnatostí použitelné pro vstřikování, vyfukování dutých nádob a vytlačování fólií.

Bohužel, tento typ polypropylénu křehne, klesne-li teplota pod 0 °C. Snahy odstranit tento nedostatek vyústily v syntézu kopolymerů propylénu s ethylénem. Praktické využití našly dva typy kopolymerů: blokové a statistické.

2.2 Blokový kopolymer

Pro výrobu blokového kopolymeru, označovaného jako PP-B, se dle [1] nejprve v jednom reaktoru vyrobí homopolymer. Ten se převede do druhého reaktoru, kam se přidá zároveň směs monomerů ethylénu a propylénu. V něm proběhne jejich kopolymerace za vzniku ethylén-propylénového (EP) kaučuku, který se jako makromolekulární blok naváže na polypropylénový řetězec. Obsah kaučukových bloků kolísá mezi 10 až 40 % a významným způsobem modifikuje vlastnosti PP. Zejména se sníží teplota skelného přechodu amorfni

fáze na $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, aniž by se omezila krystalinita. Získá se tak polypropylén odolný proti nárazu i za mrazu. Dynamikou spotřeby předčí dnes tento typ klasický PP-H.

2.3 Statistický kopolymer

Statistický kopolymer PP-R vzniká dle [1] náhodnou kopolymerací propylénu smíchaného s dalším monomerem (komonomerem), kterým může být například ethylén, ale také některé vyšší α -olefiny (hexen, okten). Vlastnosti statistického kopolymeru PP-R jsou závislé na obsahu komonomeru. Je-li jeho obsah vysoký, klesne index izotakticity pod 75, proto je nižší i krystalinita a teplota tání klesne pod $135\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tyto typy se sníženou krystalinitou se používají jako fóliové materiály pro vytváření pružných nánosů. Sníží-li se obsah komonomeru, získají se speciální typy s teplotou tání od $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro ohebné průhledné výrobky vhodné pro zdravotnictví a obalovou techniku. Ještě vyšší teplotu tání ($150\text{ }^{\circ}\text{C}$) mají vytlačovací typy na trubky a desky.

3 VLASTNOSTI POLYPROPYLENU

Polypropylén je dle [2] nejlehčí polymer, jehož hustota je $0,90\text{g/cm}^3$. Předměty z něj plavou na vodě. Je to bezbarvý polymer, fyziologicky nezávadný, bez zápachu.

Výborné mechanické vlastnosti polypropylénu souvisí s jeho pravidelnou strukturou. Ve srovnání s lineárním polyetylenem má větší pevnost v tahu, větší tvrdost, vyšší tepelnou odolnost, menší vrubovou houževnatost a menší hustotu. Pevnost v ohybu rázem u polypropylénu se pohybuje mezi hodnotami houževnatého polystyrénu a lineárního polyetylénu. Rázová pevnost však značně závisí na teplotě. Při teplotě -10°C je PP velmi křehký, kdežto už při teplotách nad $+40^\circ\text{C}$ má rázovou pevnost vysokou.

Podle [2] má polypropylén malou propustnost pro vzduch, plyny a páry. Proto je tento materiál výhodný pro použití v obalové technice.

V organických rozpouštědlech se nerozpouští. Za vyšších teplot se rozpouští v chlоровaných a aromatických uhlovodících. Odolává 80%ní kyselině sírové a konc. kyselině solné až do teploty 100°C , jak je uvedeno v [2].

Tab. 1 Charakteristické rozdíly mezi polypropylémem a polyetylenem dle [1]

Vlastnost	Jednotka	Polyethylén	Polypropylén
Hustota	g/cm^3	0,915-0,970	0,900-0,915
Teplota skelného přechodu	$^\circ\text{C}$	- 90	- 10
Teplota tání	$^\circ\text{C}$	105-135	155-165

Tab. 2 Porovnání vlastností jednotlivých stereoizomerů polypropylénu dle [1]

Vlastnost	Jednotka	Izotaktický PP	Ataktický PP	Syndiotaktický PP
Hustota	g/cm^3	0,905-0,920	0,850-0,900	0,890-0,910
Teplota tání krystalitů	$^\circ\text{C}$	165	nemá	135
Mez kluzu	MPa	vysoká	velmi nízká	střední
Rozpustnost v uhlovodících při 20°C		nerozpouští se	snadno se rozpouští	středně

4 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY NA BÁZI POLYPROPYLENU

Široké možnosti modifikace mechanických vlastností polypropylénu nabízí jeho kombinace s jinými polymery, částicovým, případně vláknitým plnivem, tedy vytváření kompozitních materiálů. Takto lze zejména vyvažovat vzájemný poměr mezi pevností a houževnatostí. Přidáním levného částicového plniva do polymerní matrice se navíc snižuje i cena výsledného materiálu.

Kompozity a směsi na bázi polypropylénu dosahují dle [1] takových vlastností, že se řadí do skupiny konstrukčních plastů vhodných jako náhrada za kovové materiály nebo konstrukční plasty s vyšší cenou. K nejvýznamnějším již komerčně zavedeným modifikacím patří přidání částicového plniva, elastomeru nebo krátkých skleněných vláken.

4.1 Polypropylén s částicovým plnivem

Mezi nejčastěji používaná částicová plniva patří vápenec, mastek a slída. Do polypropylénové matrice se tyto anorganické látky přidávají ve formě prášku, jehož zrnitost dle [1] obvykle nepřesahuje 10 μm . S rostoucím podílem plniva roste modul pružnosti E, hodnoty tažnosti naopak ve většině případů klesají. Přidáním asi 20 objemových procent anorganického prášku lze dosáhnout 1,5 až 2 násobné hodnoty modulu pružnosti proti hodnotě čistého polypropylénu.

4.1.1 Vlastnosti

Houževnatost kompozitu je dle [1] obvykle proti matrici nižší. Práškové plnivo totiž snižuje podíl polymerní složky, která je schopna pohltit dodávanou mechanickou energii, a tím zvyšuje teplotu křehnutí materiálu. Rozhraní mezi plnivem a polymerem navíc zavádí do materiálu defekty. Experimentální výsledky však ukazují, že malé množství mikromletého vápence (do 10 %), může zvýšit současně jak pevnost v tahu tak i houževnatost. Ukázalo se také, že při záporných teplotách (zejména při $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) zvyšují i poměrně velké koncentrace plniv pravidelného tvaru schopnost pohlcovat energii a tím dochází ke zvýšení houževnatosti polypropylénového kompozitu i při nízkých teplotách. Avšak příliš vysoká koncentrace plniva (20 % a více) zavede do materiálu tolik defektů, že jejich účinek převládne nad mechanismy brzdícími rozvoj lomu a houževnatost opět klesne.

Některá plniva umožňují dle [1] také zlepšit další vlastnosti, například teplotní stabilitu, tepelnou, případně elektrickou vodivost. Výsledné vlastnosti částicového kompozitu jsou ovlivněny objemovou koncentrací plniva, velikostí a dispergací jeho částic i kvalitou mezi-fázového rozhraní. Řada anorganických plniv působí zároveň jako nukleační činidla, a ovlivňuje tedy stupeň krystalinity i celkovou morfologii materiálu, což se ovšem projeví na výsledných mechanických vlastnostech. Vhodným plnivem lze vyvažovat i cenu materiálu, případně vzájemný poměr mezi cenou a kvalitou.

4.2 Polypropylén modifikovaný kaučukem

Nízkoteplotní houževnatost běžného homopolymeru propylénu lze, jak je uvedeno v [1], zvýšit modifikací polypropylénové matrice vhodným kaučukem, tedy přidáním polymeru s nízkou teplotou skelného přechodu. Ten je v oblasti teplot použití v kaučukovitě elastickém stavu. Nejčastěji se používají ethylén-propylénové kopolymery (EPM) nebo ethylén-propylén-dienové terpolymery (EPDM). Teplota skelného přechodu statistických kopolymerů EPDM, které jsou amorfní, leží kolem $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.2.1 Vlastnosti

Jak je uvedeno v [1], s rostoucím obsahem kaučuku klesá výrazně teplota křehnutí. K prudkému poklesu houževnatosti s klesající teplotou dochází až při teplotě $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, což zřejmě souvisí s teplotou skelného přechodu elastomeru. Pro zvýšení odolnosti proti nárazu je důležitá detailní morfologie směsi. Je žádoucí, aby polypropylén tvořil s elastomerem disperzní globulární systém, v němž částice elastomeru jako minoritní fáze (tj. do 40 %) mají poměrně jednotnou velikost a jsou dobře rozptýleny. Aby se dodaná energie při nárazu snadno a rychle pohlcovala, je nutné, aby částice byly velmi jemné, mezi 0,1 až $1\text{ }\mu\text{m}$, maximálně však do $5\text{ }\mu\text{m}$. Rozměr kaučukových částic dispergovaných v polypropylénové matrici lze ovlivnit intenzitou míchání při výrobě směsi, ale především závisí na poměru viskozit tavenin. Na druhé straně částice kaučuku snižují hodnoty modulu pružnosti, meze kluzu i pevnosti v tahu nejen přímo, ale i ovlivněním celkové krystalinity matrice, která klesá s rostoucí koncentrací kaučuku.

4.3 Polypropylén vyztužený vlákny

Kombinace termoplastů s vlákny přináší zvýšení tuhosti, pevnosti, tvarové stálosti a odolnosti při vyšších teplotách. Termoplastické matrice se vyztužují krátkými vlákny skleněnými, uhlíkovými, aramidovými, případně jejich kombinací. Vlastnosti těchto kompozitů lze rozdělit podle toho, zda o nich rozhodují především vyztužující vlákna (tuhost, pevnost) nebo matrice (houževnatost). Kromě samotných vlastností vláken, především jejich pevnosti a tuhosti, záleží na jejich objemovém zastoupení, orientaci, na soudržnosti mezi maticí a vlákny. Výrobní postup ovlivňuje rozložení vláken, jejich orientaci, případně stupeň porušení, a tím i distribuci délek vláken.

Pro zvýšení pevnosti je dle [1] důležité, aby délka vláken byla větší než kritická délka l_c . Kritická délka vlákna o průměru 12 μm , tedy délka, která teoreticky ještě může vyztužovat kompozit, je pro běžné termoplasty asi 0,13 až 0,33 mm. Ve skutečnosti by však výchozí délka vláken neměla být nižší než asi 0,75 mm, protože v průběhu zpracování dochází k výrazné mechanické degradaci (rozlamování) vláken. Zpevňující účinek krátkých vláken je vždy menší než u vláken dlouhých.

S rostoucím podílem vláken vzrůstá modul pružnosti a naopak klesá s rostoucí teplotou.

Jak uvádí [1], vliv koncentrace vláken a teploty na houževnatost polypropylénu vyztuženého krátkými skleněnými vlákny se podstatně neliší od účinku částicových plniv, kdy s rostoucí koncentrací tuhé nepoddajné fáze roste teplota křehnutí. Praktická houževnatost výrobku obsahujícího krátká skleněná vlákna může být za nízkých teplot i vyšší než je tomu u výrobku z čistého polypropylénu.

5 ZPRACOVÁNÍ POLYPROPYLENU

Izotaktický polypropylén se zpracovává prakticky všemi technologiemi vyvinutými pro termoplasty. Zvlákňuje se, vyfukováním se vyrábějí jak fólie, tak duté nádoby, vstřikování produkuje drobné i rozměrné výrobky, vytlačováním se zhotovují trubky, profily a desky, které lze dodatečně svařovat nebo omezeně i tepelně tvarovat. O vhodnosti polypropylénu pro jednotlivé technologie rozhoduje především tekutost taveniny vyjádřená indexem toku. S rostoucí molární hmotností polymeru klesá tekutost taveniny, roste viskozita, klesá tekutost taveniny a index toku taveniny.

5.1 Zvlákňování

Jak uvádí [1], je polypropylén s nejvyšším indexem toku určen pro zvlákňování z taveniny. Zcela extrémní požadavky na tekutost taveniny má technologie melt-blown, která „odfukováním“ z trysky produkuje netkaná rouna složená z mikrovláken.

Polypropylén pro běžné zvlákňování z taveniny může mít poněkud nižší tekutost, ale požaduje se úzká distribuce molárních hmotností. Speciálně pro zvlákňování se připravují polymery s řízenou reologií odbouráváním za přítomnosti peroxidů.

5.2 Vyfukování fólií

Dále v pořadí tekutosti následují typy vhodné pro vyfukování fólií a vstřikování. Průhledné fólie se vyrábějí z typů PP-H a PP-R se střední tekutostí. Průhlednosti fólií z PP-H se dosahuje prudkým ochlazením vodní sprchou. Tím se potlačí vývoj rozměrnějších krystalických oblastí a sférolitů, které by rozptylovaly světlo.

5.3 Vstřikování

Zejména pro vstřikování byly z vysoce izotaktického PP-H, statistického PP-R i z mrazuvzdorného PP-B vyvinuty nukleované typy s řízenou reologií. Mají vysokou tekutost a používají se k hromadné výrobě kelímků a dalších potravinářských obalů. Typy PP-B jsou

mimoto používány pro velkoplošné technické výstřiky do tloušťek stěny 3 mm, typy z PP-H nalézají využití u malých domácích spotřebičů.

5.4 Medicinální aplikace

Pro průhledné sterilizovatelné lékařské potřeby (např. injekční stříkačky na jedno použití), tělesa i funkční díly domácích strojů s vysokými nároky na tuhost se dává přednost typům PP-H. Speciální aditivace umožňuje provádět sterilizaci i γ -zářením.

Typy se střední tekutostí, zejména PP-B, se používají pro vstřikování rozměrnějších výrobků, jako jsou tělesa autobaterií, přepravky, vědra, cestovní kufry, kufříky na náradí nebo také zahradní nábytek. Pro ten jsou vhodné i typy plněné mastkem. Polypropylén s mastkem má vyšší tvarovou stálost za tepla a současně je odolný i vůči pracím prostředkům. Proto je vhodný pro součásti fritovacích hrnců, fénů, praček, myček nádobí apod.

Kopolymery PP-R plněné mastkem se používají pro součásti strojů, kde je nutné mechanické a akustické tlumení, jako jsou sekačky na trávu. Typy vyztužené krátkými skleněnými vlákny jsou určeny pro vysoce tepelně a mechanicky namáhané technické díly, např. oběžná kola ventilátorů.

5.5 Automobilový průmysl

Automobilový průmysl je hned po obalové technice největším spotřebitelem polypropylénu. Díly z polypropylénu šetří hmotnost a nekorodují. Obsahují-li vhodné plnivo, např. mastek, mají uspokojivou tuhost i při malé tloušťce stěny. Příkladem vyztužených typů jsou zadní kryty světlometů, nádržky, rozvody chladicí kapaliny i díly topení. Pro venkovní použití se vyžaduje nízkoteplotní houževnatost, kterou splňují pružné kopolymery nebo směsi PP/EP(D)M. Ty vyhoví i pro nárazníky a spoilery. Stejně typy se používají také pro sportovní výzbroj a lyžařské boty.

5.6 Vyfukování nádob

Pro vyfukování nádob se hodí méně tekuté typy PP-H, PP-B a PP/EP(D)M. Na elektronicky řízených vyfukovacích strojích se vyrábějí v malých i velkých sériích nádoby s hladkým vnějším povrchem až do objemu 5 litrů. Vyfukováním však lze vyrobit i rozměrné tenkostěnné skořepiny, například surfingové plováky, které se poté vyplní tuhou pěnou.

5.7 Vytlačování

Typy polypropylénu s nejnižším indexem toku jsou určeny pro vytlačování trubek, profilů nebo desek. Polypropylénové trubky se používají pro domovní sanitární rozvody studené a teplé vody. Dobrá chemická odolnost polypropylénu umožňuje svařovat z desek vany pro chemické lázně. Úzký teplotní interval měknutí však poněkud omezuje tepelné tvarování desek.

6 KRÁTKODOBÉ MECHANICKÉ CHOVÁNÍ PLASTŮ

Kladeným požadavkům na vlastnosti materiálu výrobku lze vyhovět výrobou různých polymerních směsí a plněním či lehčením polymerů. Takto je možné např. zvyšovat tuhost a pevnost, snižovat křehkost, zlepšovat odolnost proti povětrnostním a chemickým vlivům, tepelnou a elektrickou vodivost, tvarovou stálost atd. Základní rozdělení materiálu podle [3] je na základní typy, speciální typy (např. polymery s retardéry hoření) a plněné typy. Plněné plasty jsou tzv. částicovými kompozity – částice plniva jsou rozptýleny v polymerní matrici. Jako plniva se nejčastěji používají krátká skleněná vlákna, mletá minerální plniva, grafit atd. Tyto tuhé částice zvyšují tuhost, méně již pevnost, zhoršují houževnatost plasty. Za zvláštní případ částicových kompozitů lze považovat lehčené plasty, které se používají zejména pro své tepelně izolační vlastnosti a nízkou hmotnost.

6.1 Základní materiálové parametry

6.1.1 Pevnost

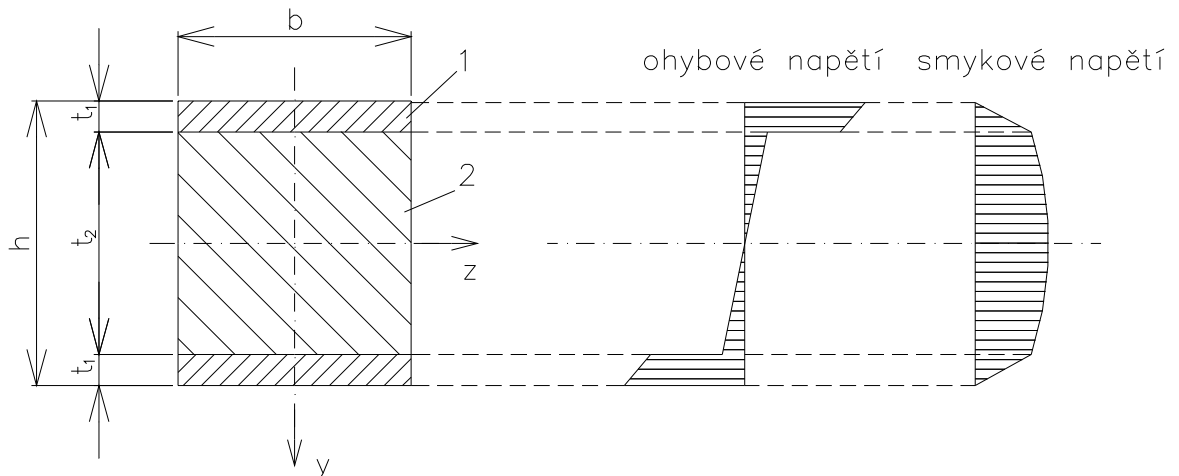
Rozlišujeme pevnost tahovou a ohybovou a jak je uvedeno v [3], je pevnost plasty ovlivněna některými technologickými faktory. Orientací struktury při zpracování dochází obecně ke zvýšení pevnosti ve směru orientace a snížení v příčném směru. Na snížení pevnosti v místě studeného spoje se podílí vysoká koncentrace napjatosti.

6.1.2 Tuhost

Tuhost lze definovat jako směrnici tečny v počátku závislosti napětí n a deformaci při jednoosé tahové či ohybové zkoušce. Hodnota směrnice se v praxi označuje jako (Youngův) modul pružnosti.

7 SENDVIČOVÁ STRUKTURA LEHČENÝCH PLASTŮ

Použitím třívrstvého sendvičového průřezu (Obr.2) je možné dosáhnout vysoké tuhosti při minimální hmotnosti. Veškerá ohybová namáhání přenáší vnější vrstvy 1, ale smyková namáhání převážně jádro 2.



Obr. 2 Sendvičový průřez

Vnější tuhé a pevné vrstvy 1 jsou odděleny lehčným pěnovým jádrem 2 o malé tuhosti. Jde tedy o zvláštní případ složeného prutu. Průběh a velikost ohybových napětí vyplývají z rovnice

$$\sigma_i(y) = E_i \frac{1}{r} y = \frac{E_i}{E_1} \frac{M}{J_R} y \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

Pro $E_1 \gg E_2$ a $t_1 \ll t_2$ je ohybová tuhost dána jednoduchým výrazem

$$K_o = E_1 \frac{bh^2 t_1}{2} \quad [\text{Nmm}^2] \quad (2)$$

Označíme-li ρ jako hustotu, bude hmotnost m dána vztahem

$$m = b[h\rho_2 + 2t_1(\rho_1 - \rho_2)] \quad [\text{kg}] \quad (3)$$

Základem optimalizace sendvičových struktur je najít takovou, která má při co nejmenší hmotnosti, co největší tuhost.

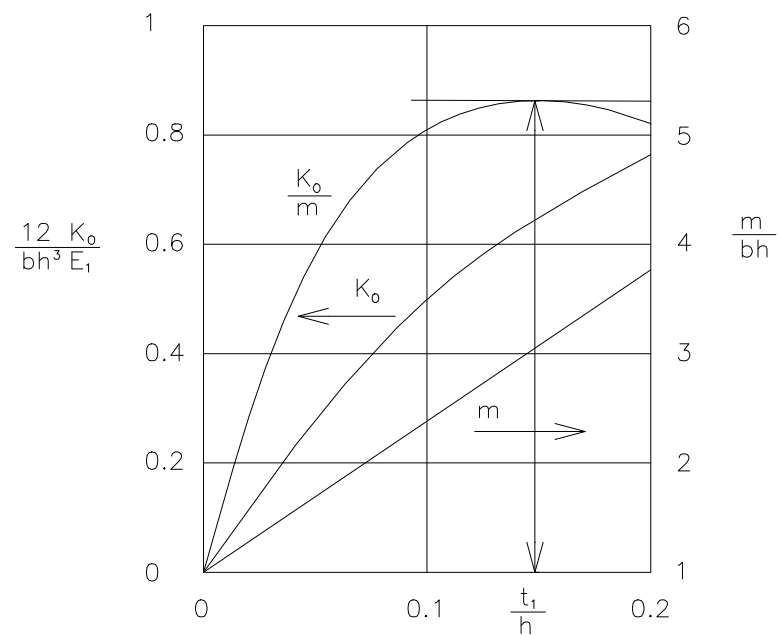
Optimální tloušťku vnějších vrstev t_1 pro dané b, h lze nalézt určením extrému funkce K_0/m . Po úpravách dostaneme vztah

$$\frac{E_1}{E_1 - E_2} = \left(\frac{2t_1}{h} - 1 \right)^2 \left(4 \frac{t_1}{h} + 1 + \frac{3\rho_2}{\rho_1 - \rho_2} \right) \quad [1] \quad (4)$$

A platí-li $E_1 \gg E_2$, můžeme vztah zjednodušit na následující tvar

$$1 = \left(\frac{2t_1}{h} - 1 \right)^2 \left(4 \frac{t_1}{h} + 1 + \frac{3\rho_2}{\rho_1 - \rho_2} \right) \quad [1] \quad (5)$$

Průběh funkcí K_0/m , K_0 , m je zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 3 Průběh funkcí K_0/m , K_0 , m

8 STATICKÉ TAHOVÉ ZKOUŠKY

Základní zkouškou, která stanovuje mechanické parametry určitého termoplastu, je takzvaná tahová zkouška neboli zkouška napětí-deformace.

Na zkušební těleso působí ve směru jeho podélné osy stále se zvětšující síla až do okamžiku, při kterém dojde po určité deformaci k jeho přetržení, tj. destrukci, nebo kdy měřené parametry (zatížení, prodloužení) dosáhnou zvolených hodnot.

Provádí se pomocí trhacího stroje. Podstatou tohoto zařízení jsou dvě čelisti, z nichž jedna, obvykle ta horní, je spojena se siloměrným čidlem a druhá se může od první vzdalovat konstantní rychlostí. Mezi tyto čelisti se upne zkušební těleso, vyrobené buď přímo vstříkáním do formy, nebo vyseknuté, případně vyfrézované z destičky. Výsledkem tahové zkoušky je pak diagram síla-protažení, který se ovšem musí přepočítat do souřadnic napětí-deformace. Moderní trhací stroj tento přepočít provádí automaticky ze zadaných rozměrů tělesa.

8.1 Základní charakteristiky

Působí-li v průběhu zkoušky na počáteční plochu zkušebního tělesa A_0 v jednosměrném tahu síla F , začne se těleso vzniklým napětím v tahu s deformovat:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad [\text{MPa}] \quad (6)$$

Pokud vztahujeme sílu na původní průřez zkušebního tělesa, používáme termín smluvní napětí; při vztažení síly na okamžitý průřez zkušebního tělesa používáme termín efektivní napětí.

S prodloužením zkušebního tělesa se mění jeho původní délka l_0 na délku l a tuto délkovou změnu definujeme jako tzv. poměrné (relativní) prodloužení ε :

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad [1] \quad (7)$$

Zmenšení průřezu zkušebního tělesa ve směru kolmém k ose protažení vyjadřujeme obdobně poměrným zúžením ε_b (šířky b), nebo ε_h (tloušťky h):

$$\varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b_0} \qquad \varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h_0} \qquad [1] \qquad (8)$$

Vztah mezi poměrným zúžením a poměrným prodloužením je tzv. Poissonův poměr μ . Čím je jeho hodnota vyšší, tím je polymer poddajnější:

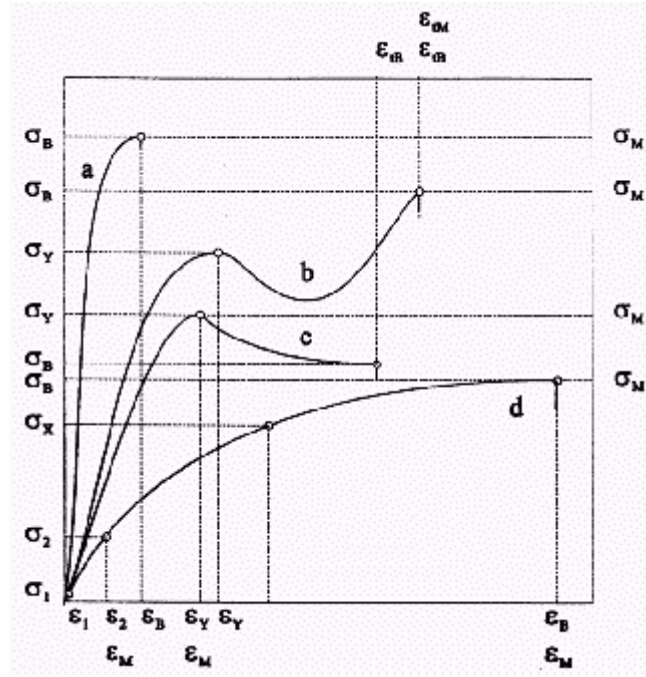
$$\mu = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon} \qquad [1] \qquad (9)$$

Podobně se označuje mezní hodnota deformace - protažení při přetržení, krátce označovaná jako tažnost ε_t . Je důležitou fyzikální veličinou z hlediska konstrukčních vlastností:

$$\varepsilon_t = \frac{l_t - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l_t}{l_0} \qquad [1] \qquad (10)$$

kde l_t je délka zkušebního tělesa při přetržení.

Výsledkem tahových zkoušek jsou tahové křivky napětí - deformace. Příklady průběhu obecných tahových křivek plastů (a - křehké plasty; b, c - houževnaté plasty s mezí kluzu; d - houževnaté plasty bez meze kluzu), na kterých se vyskytují všechny možné napěťové a deformační meze a jejich vyhodnocení, jsou uvedeny v Obr. 4.



Obr. 4 Obecné tahové křivky

Úsek křivky z jejího počátku do bodu označeného jako σ_2 je přímkový, vztah napětí - deformace je lineární. Konstantu úměrnosti mezi napětím a deformací nazýváme modulem pružnosti v tahu E_t (Youngovým modulem) a Hookovým zákonem vztah:

$$\sigma = E_t \cdot \varepsilon \quad [\text{MPa}] \quad (11)$$

Modul E_t lze vypočítat ze vztahu

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad [\text{MPa}] \quad (12)$$

a je dán hodnotou směrnice přímky. Čím je přímka strmější, tím je zapotřebí k určitému jednotkovému protažení větší napětí, materiál je soudržnější, tužší. Je tedy mírou tuhosti pružných materiálů, tvarové stálosti a odolnosti vůči napětím. Bod na křivce σ_2 , ve kterém končí hookovské chování, je mez úměrnosti a vyjadřuje se smluvním napětím:

$$\sigma_2 = \frac{F_2}{A_0} \quad [\text{MPa}] \quad (13)$$

Zakřivení vznikající v dalším průběhu křivky, zahrnuje již časově závislou elastickou a plastickou deformaci. Místo, do kterého je ještě tato deformace vratná, tzn. že po uvolnění napětí se vrací deformace po celé křivce do původního bodu, je mez pružnosti σ_X .

V úseku za mezí pružnosti nastává převážně nevratná plastická deformace. Tomuto bodu říkáme mez kluzu σ_Y (projeví-li se na křivce za tímto bodem snížené napětí, je to horní mez kluzu σ_{Yh} , zatímco na pokračující křivce bod minimálního napětí je dolní mez kluzu σ_{Yd}).

Za dolní mezí kluzu vzrůstá opět napětí do určité maximální hodnoty σ_M , kde se těleso buď přetrhne nebo nastává další pokles napětí až k σ_B , kdy dojde k lomu.

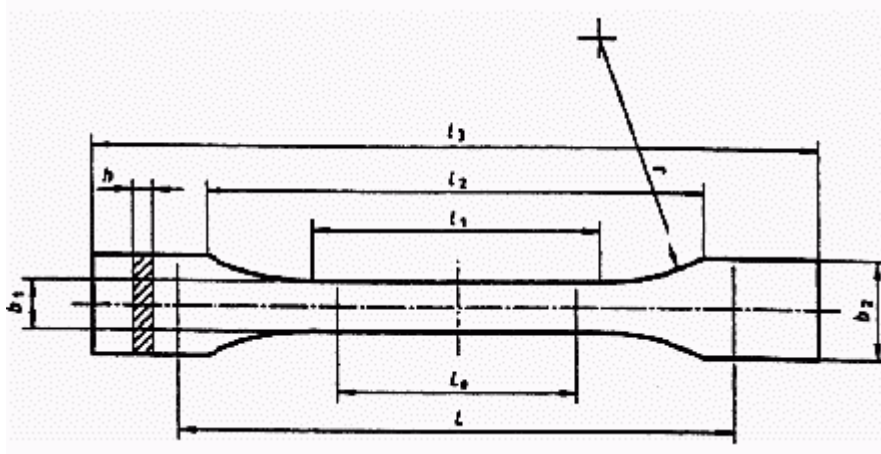
Nastává-li destrukce za mezí pružnosti, kdy ještě nedochází k tak velkému protažení materiálu, označujeme tento lom jako křehký lom. Předchází-li však velká deformace, dochází k tzv. tažnému lomu.

Mez pevnosti v tahu, krátce nazývaná pevnost v tahu, je definována jako napětí potřebné k přetržení, vztažené na původní průřez, nebo krátce jako smluvní napětí potřebné k přetržení. Pro výpočet se dosazuje vždy maximální hodnota F_M , i když k destrukci došlo později při nižším napětí:

$$\sigma_B = \frac{F_M}{A_0} \quad [\text{MPa}] \quad (14)$$

8.2 Zkušební tělesa

Zkušební tělesa musí vyhovovat specifickým požadavkům příslušné materiálové normy, případně všeobecným podmínkám ze souboru norem pro jejich přípravu. Pro tahové zkoušky se používají standardní zkušební tělesa z termoplastů ve tvaru oboustranných lopatek, jejichž vlastnosti jsou dobře reprodukovatelné. Jejich tvar a přesné rozměry (mm) udává norma ČSN EN ISO 527-2.



Obr. 5 Zkušební tyčinka pro tahovou zkoušku

Rozměry dvou nejpoužívanějších typů 1A a 1B uvádí následující tabulka.

Tab. 3 Rozměry nejpoužívanějších typů zkušebních těles

Typ tělesa	Symbol	1A	1B
Celková délka	l_3	≥ 150	
Délka zúžené rovnoběžné části	l_1	80 ± 2	$60 \pm 0,5$
Poloměr	r	20 až 25	≥ 60
Rozpětí mezi širokými rovnoběžnými částmi	l_2	104 až 113	106 až 120
Šířka konců	b_2	$20 \pm 0,2$	
Šířka zúžené rovnoběžné části	b_1	$10 \pm 0,2$	
Doporučená tloušťka	h	$4 \pm 0,2$	
Počáteční měřená délka	L_0	$50 \pm 1,5$	
Počáteční vzdálenost čelistí	L	115 ± 1	$l_2 + 5$

Není-li stanoveno jinak, musí být pro každou hodnocenou vlastnost zkoušeno minimálně pět zkušebních těles.

8.3 Zkušební zařízení

Při tahových zkouškách je většina typů univerzálních zkušebních přístrojů (trhacích strojů) konstruována tak, že jedna z čelistí je spojena s mechanickým posuvem a druhá s měřením síly. Ideální stav je takový, při němž čelist spojená s měřením síly je naprosto nepohyblivá, zatímco druhá se pohybuje konstantní rychlostí nezávislou na napětí. Nové elektronické zkušební přístroje se siloměrnými snímači a průtahoměry již graficky zaznamenávají tahové křivky se skutečnými deformacemi a se současnou kontrolou skutečné rychlosti deformace.

Zkušební tělesa se upínají do čelistí tak, aby jejich podélná osa byla shodná s osou stroje. Rychlost oddalování posuvné čelisti je měnitelná v požadovaném rozmezí od 1 mm/min do 500 mm/min a nastavuje se podle příslušné normy, která se týká zkoušeného materiálu. Zatížení se zvětšuje rovnoměrně až do přetržení vzorku.

V průběhu zkoušky se trvale zaznamenává síla a prodloužení zkušebního tělesa. Při použití moderních elektronických zkušebních přístrojů s automatickým záznamovým systémem získáme kompletní tahové křivky efektivní napětí - poměrné prodloužení. Všechny charakteristické hodnoty ze zkoušky tahem se vyhodnocují z těchto křivek.

Normovaná zkušební metoda pro hodnocení tahových vlastností plastů je uvedena v ČSN EN ISO 527-1 z 8/1997; zkušební tělesa, používaná v rámci této metody, jsou uvedena v ČSN EN ISO 527-2 z 4/1998.

9 STATICKÉ OHYBOVÉ ZKOUŠKY

Zkušební těleso, volně položené na dvou podpěrách, je uprostřed mezi nimi za definovaných podmínek krátkodobě zatěžováno až do svého rozlomení nebo do dosažení stanovené hodnoty.

9.1 Základní charakteristiky

Při ohybové zkoušce se jedná vlastně o namáhání tlakem a tahem současně. Napětí je v principu rozloženo tak, že v horních vrstvách je tahové, směrem k neutrální ose se zmenšuje a přes nulové napětí se mění v dolní polovině průřezu na tlakové. Napětí v ohybu σ_o se určí podle rovnice:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad [\text{MPa}] \quad (15)$$

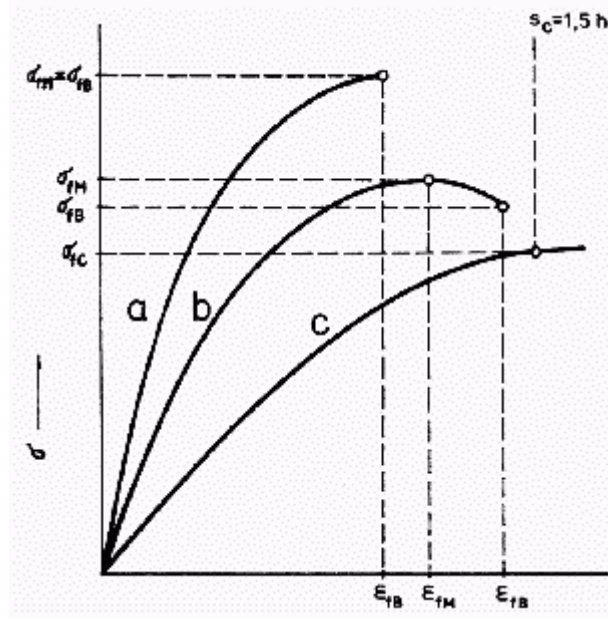
kde M_o je ohybový moment (N.mm) při zatížení F a W je modul průřezu zkušebního tělesa (mm^3).

Modul pružnosti v ohybu E_o lze vypočítat ze vztahu

$$E_o = \frac{\sigma_{o2} - \sigma_{o1}}{y_2 - y_1} = \frac{\Delta\sigma_o}{\Delta y} \quad [\text{MPa}] \quad (16)$$

kde σ_{o1} je napětí v ohybu stanovené pro průhyb y_1 , σ_{o2} je napětí v ohybu stanovené pro průhyb y_2 . Průhyb představuje vychýlení (mm) plochy tělesa ze své původní polohy uprostřed rozpětí obou podpěr.

Výsledkem ohybových zkoušek jsou ohybové křivky napětí - průhyb (deformace). Příklady průběhu obecných ohybových křivek plastů (a - plasty se zlomí před mezí kluzu; b - plasty se zlomí před dosažením smluvního průhybu; c - plasty nemají mez kluzu a nezlomí se před dosažením smluvního průhybu, tj. 1,5 násobku tloušťky tělesa) jsou uvedeny v Obr. 6.



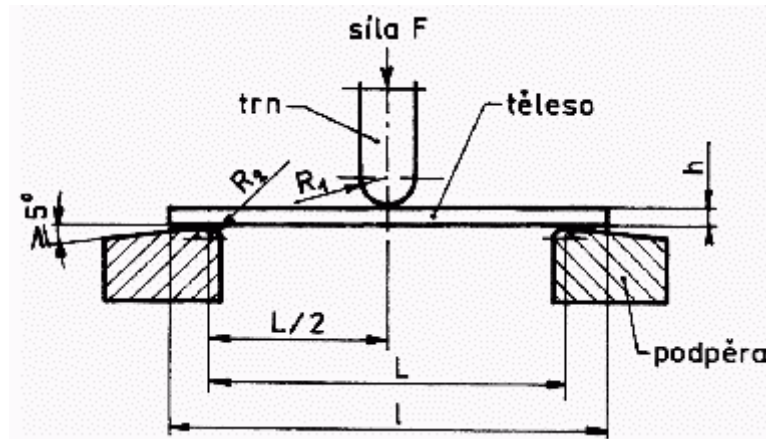
Obr. 6 Obrázek obecných ohybových křivek

9.2 Zkušební tělesa

Zkušební tělesa ve tvaru hranolu (trámce), musí vyhovovat specifickým požadavkům příslušné materiálové normy. Platí podmínka, že poměr délky a tloušťky zkušebního tělesa musí být v poměru 20 : 1. Přednostní typ zkušebního tělesa má rozměry: délka 80 ± 2 mm, šířka 10 ± 2 mm a tloušťka 4 ± 2 mm. V každém směru orientace se zkouší nejméně 5 těles.

9.3 Zkušební zařízení

Vlastní uspořádání ohybové zkoušky může být různé, nejčastěji se používá tzv. tříbodový systém, který je uveden na následujícím obrázku.



Obr. 7 Obrázek třibodového systému ohybové zkoušky

Zkušební těleso je umístěno na dvou podpěrách, vzdálených od sebe v určité vzdálenosti. Rozpětí podpěr je nastavitelné, poloměr zatěžovacího trnu je $5 \pm 0,1$ mm, poloměr podpěr je podle tloušťky tělesa $2 \pm 0,2$ mm nebo $5 \pm 0,2$ mm. Síla, způsobující průhyb tělesa, působí uprostřed mezi podpěrami. Nová konstrukce průtahoměrů umožňuje umístit je i na více místech zkušebních těles a měřit tak deformaci v různých místech. To umožňuje stanovit mez kluzu v ohybu, což je takové napětí, které způsobí první známky průtažnosti (trvalé deformace) vnější vrstvy namáhané na tah.

Zkušební těleso se umístí symetricky na obě podpěry a plynule se uprostřed mezi nimi zatěžuje. Rychlost pohybu mezi podpěrami a zatěžovacím trnem se pohybuje v rozmezí od 1 do 500 mm/min. V průběhu zkoušky se zaznamenává síla (napětí) působící na těleso a velikost odpovídajícího průhybu zkušebního tělesa.

Výsledkem zkoušky jsou ohybové křivky síla (napětí) - průhyb, z kterých se vyhodnocují všechny potřebné charakteristické hodnoty (napětí, průhyby, deformace) ze zkoušky ohybem.

Zkouška ohybem dává konstrukční podklady pro plasty, které jsou při aplikaci namáhány na ohyb. Je zvláště vhodná pro křehké plasty, pro které je provedení tahové zkoušky obtížné.

Normovaná zkušební metoda pro hodnocení ohybových vlastností plastů je uvedena v ČSN EN ISO 178 z 8/1998.

10 ZÁKLADNÍ POJMY A VZTAHY MATEMATICKÉ STATISTIKY

Statistický soubor – je to konečná neprázdná množina prvků, které mají z daného hlediska určité společné vlastnosti (např. všechny polypropylénové vzorky, vyřezané z jedné desky). Ty nazýváme znakem (např. tahová pevnost PP-H vzorků). Podle základního souboru rozlišujeme statistiku: a) popisnou – zjišťujeme vlastnosti všech prvků základního souboru

b) matematickou – zjišťujeme vlastnosti jen malé části základního souboru, tzv. výběrového souboru

Abychom mohli základní soubor nahradit výběrovým souborem, musíme zajistit náhodnost výběru a dostatečnou velikost souboru.

Prvky – předměty patřící do statistického souboru (např. PP-H vzorky).

Rozsah – celkový počet všech předmětů statistického souboru (např. počet PP-H vzorků).

Z naměřených hodnot je možno určit hodnotu nejmenší a největší. Rozdíl mezi nimi se nazývá variální rozpětí.

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (17)$$

kde x_{\max} = maximální x_i pro $1 \leq i \leq n$

x_{\min} = minimální x_i pro $1 \leq i \leq n$

Výběrový průměr – vyjadřuje v jistém smyslu nejtypičtější hodnotu statistického souboru, tzv. těžiště dat

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (18)$$

Výběrový rozptyl – charakterizuje variabilitu statistického souboru

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right) \quad (19)$$

Výběrová směrodatná odchylka – určuje velikost intervalu $(\bar{x} - S; \bar{x} + S)$, ve kterém se nachází přibližně 2/3 naměřených údajů.

$$S = \sqrt{S^2} \quad (20)$$

11 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY PRO SVAŘOVANÉ KONSTRUKCE

Norma ČSN EN 1778 uvádí metodu pro stanovení charakteristických hodnot nutných pro výpočet svařovaných konstrukcí jako jsou na př. nádoby a vany, ventilační vedení a zařízení. Normu je možné použít pro širokou oblast termoplastů na př. Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinyl Chlorid (PVC), Polyvinyliden Fluorid (PVDF). Příloha A pak uvádí minimální hodnoty pro určité typy těchto materiálů. Použití jiného termoplastu je povoleno za předpokladu, že jeho kríповé vlastnosti přesahují minimální hodnoty uvedené v příloze A pro známé materiály. Vlastnosti mají být určeny dle platných ISO a EN standardů.

Jak uvádí [4], vychází statické výpočty svařovaných konstrukcí z dlouhodobých hodnot. V závislosti na způsobu zatížení existují obecně tři kritéria, dle kterých je prováděn výpočet:

1. Napětí
2. Deformace (např. průhyb)
3. Stabilita (např. boulení po krátké resp. dlouhé době)

Výpočet napětí představuje řešení stavu víceosé napjatosti a musí operovat s danými hodnotami časové pevnosti. Maximální napětí nesmí překročit spolehlivou hodnotu časové pevnosti.

Spolehlivé resp. dovozené hodnoty se obdrží použitím opravných faktorů, které závisí na materiálu, faktoru vlivu spojení a bezpečnostním faktoru.

Hodnoty pro výpočet na stabilitu a deformaci jsou moduly tečení. Tyto hodnoty jsou vzaty pro daný materiál v závislosti na teplotě a čase z příslušných diagramů.

Pro řešení stabilitních problémů se použijí odpovídající koeficienty bezpečnosti.

Norma ČSN EN 1778 udává pro výpočet hodnoty dovozeného napětí vztah:

$$\sigma_{Dov} = \frac{K \cdot f}{A_1 \cdot A_{2K} \cdot S} \quad [\text{MPa}] \quad (21)$$

12 STANOVENÍ CÍLŮ

Cíle diplomové práce:

1. Stanovení tahových a ohybových vlastností PP-H a lehčeného PP-H, který má sendvičovou strukturu. Vyhodnocení modulu pružnosti a pevnost v tahu a ohybu z tahových a ohybových křivek. Z těchto získaných hodnot bude vyjádřena závislost tuhosti a pevnosti v tahu a ohybu na tloušťce a struktuře vzorku.
2. Vytvoření modelu konstrukce čistírny odpadních vod v programu COSMOS/M. Návrh žeber na konstrukci tak, aby sledované hodnoty deformace, napětí a stability nepřekročily dovolenou mez.

Model konstrukce bude vystaven třem případům zatížení:

1. krátkodobá tlaková zkouška – plná nádoba na povrchu
2. mimořádný dlouhodobý stav (1 rok) – prázdná nádoba v zemi
3. provozní stav (25 let) – plná nádoba v zemi

II. PRAKTICKÁ ČÁST

13 TAHOVÉ VLASTNOSTI

Tahovou zkoušku jsem prováděla na přístroji Zwick 145 665 s použitím extenziometru.

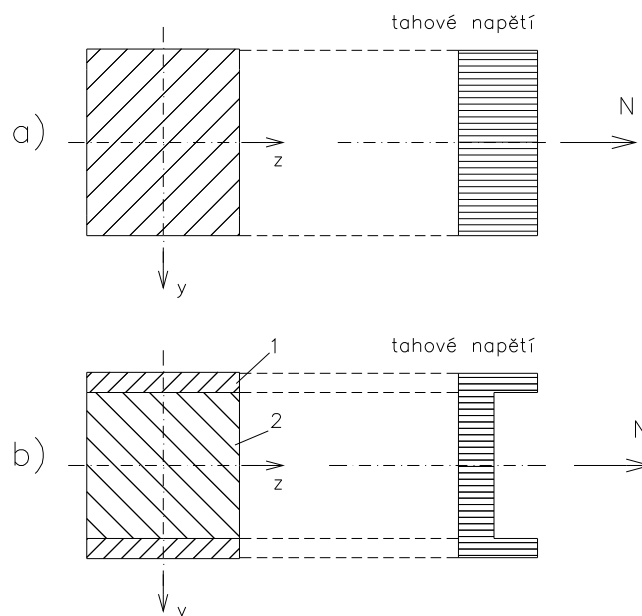
Univerzální program (dodávaný s přístrojem) pro zkoušky tahem, tlakem a ohybem je vhodný pro:

- zkoušky tahem a tlakem plastů, pěnových materiálů, textilu, vlákniny zpevněných kompozitů, laminátů, tkaninových popruhů, papíru, lepenky, dřeva a dentálních materiálů
- zkoušky tahem a tlakem kovů (bez speciálního hodnocení plastických vlastností)
- zkoušky tří a čtyřbodovým ohybem (pro všechny typy materiálů)
- určení max. dvou elastických modulů
- nastavení a regulace teploty pro teplotní komory

Tento program není doporučen pro automatické systémy transportu vzorků.

Zkušební program 7092.105 je vhodný pro provádění zkoušek ve spojení s univerzálními zkušebními stroji Zwick řady 14xx. Program musí být instalován na osobních počítačích PC-IBM a kompatibilních.

Průběh tahového napětí dle [3], je uveden na následujícím obrázku.



Obr. 8 Průběh tahového napětí; a) homogenní prvek, b) sendvičový prvek

13.1 Tahové vlastnosti PP-H

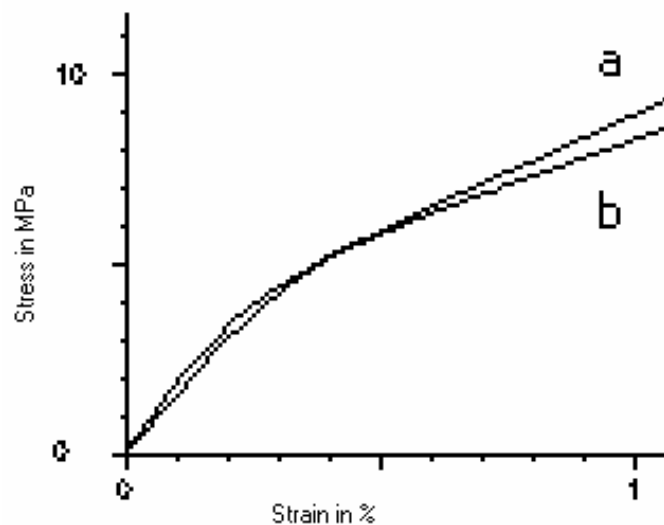
Vzorky byly připraveny z PP-H desek tloušťky 8 mm a 15 mm. Z nich bylo připraveno dle ČSN EN ISO 527-2 10 ks zkušebních vzorků o rozměrech 15 x 200 (v mm) pro tloušťku 8 mm a 10 ks vzorků o rozměrech 20 x 200 (v mm) pro tloušťku 15 mm.

Tab. 4 Tahové vlastnosti PP-H tloušťky 8 mm

	a_0 [mm]	b_0 [mm]	R_m [MPa]	E [MPa]	R_m [mm]	ϵR_m [%]	ϵF_{max} [mm]	R_m [N]
x	8,01	14,66	26,28	1385,22	12,41	8,96	1,79	3081,94
S	0,05	0,09	0,43	47,61	0,53	0,36	0,07	64,60

Tab. 5 Tahové vlastnosti PP-H tloušťky 15 mm

	a_0 [mm]	b_0 [mm]	R_m [MPa]	E [MPa]	R_m [mm]	ϵR_m [%]	ϵF_{max} [mm]	R_m [N]
x	15,10	18,98	25,69	1499,07	12,80	8,98	1,80	7364,35
S	0,07	1,25	0,25	27,45	0,23	0,16	0,03	524,76



Obr. 9 Tahové křivky PP-H

a – vzorky tloušťky 8 mm; b – vzorky tloušťky 15 mm

Výsledky jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze P I.

S tloušťkou vzorku vzrostl modul pružnosti v tahu a tahová pevnost je téměř stejná.

13.2 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H

Vzorky byly připraveny ze vstřikovaných desek z lehčeného PP-H tloušťky 8 mm a 15 mm. Z nich byly připraveny dle ČSN EN ISO 527-2 zkušební vzorky o rozměrech (v mm) 15 x 200 pro tloušťku 8 mm a 20 x 200 pro tloušťku 15 mm.

Desky jsou lehčené z 20-ti %.

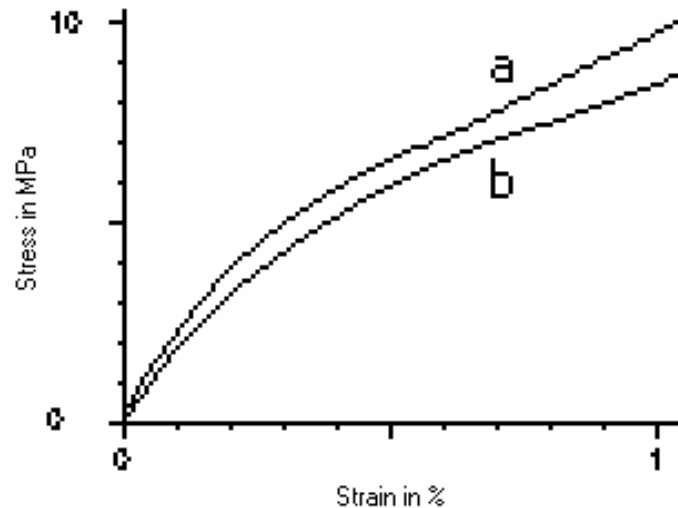
Vzorky jsou dále od místa vstříku, tudíž zde zanedbáváme směr toku.

Tab. 6 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm

	a_0 [mm]	b_0 [mm]	Rm [MPa]	E [MPa]	Rm [mm]	ϵ Rm [%]	ϵ F _{max} [mm]	Rm [N]
x	8,01	14,73	27,98	1453,02	11,54	8,4	1,68	3297,78
S	0,04	0,16	0,62	54,58	1,04	0,81	0,16	78,02

Tab. 7 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm

	a_0 [mm]	b_0 [mm]	Rm [MPa]	E [MPa]	Rm [mm]	ϵ Rm [%]	ϵ F _{max} [mm]	Rm [N]
x	14,54	19,65	26,35	1472,07	15,60	11,13	2,23	7526,23
S	0,05	0,64	0,83	66,49	0,44	0,36	0,07	262,13



Obr. 10 Tahové křivky lehčeného PP-H

a – vzorky tloušťky 8 mm; *b* – vzorky tloušťky 15 mm

Výsledky jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze P II.

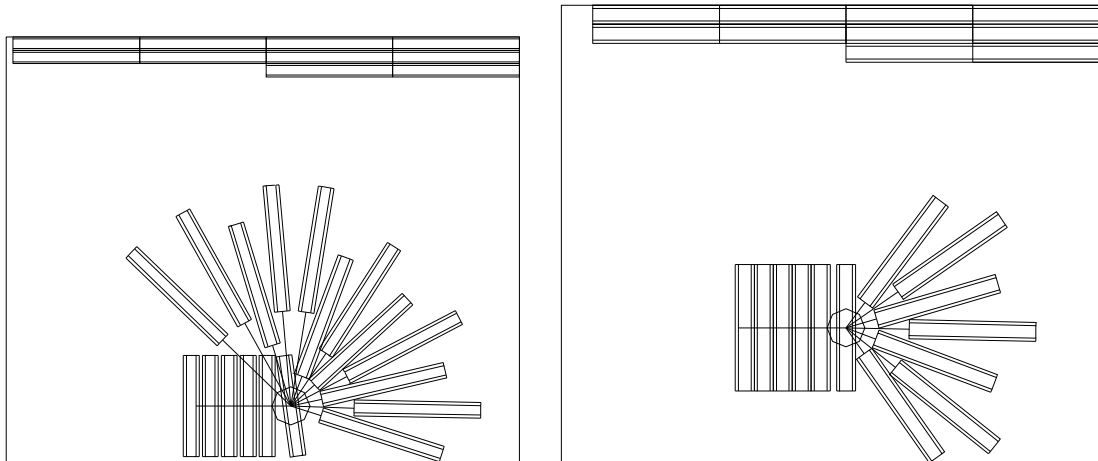
S větší tloušťkou vzorku mírně klesla tahová pevnost a modul pružnosti v tahu je téměř stejný.

13.3 Technologické aspekty

Tato kapitola se zabývá závislostí tahových vlastností na směru toku.

Místa odběru vzorků:

1. vzorek z místa vstříku – 1 ks
2. vzorky kolmé na směr toku (směr T), jejichž vzdálenost od místa vstříku je daná násobky 30-ti mm – 5 ks
3. vzorky ve směru toku (směr L) ve vzdálenosti 50 mm – 4 ks, vzorky ve vzdálenosti 100 mm – 4 ks, a u desky tloušťky 8 mm vzorky ve vzdálenosti 150 mm – 4 ks.



deska tloušťky 8 mm

deska tloušťky 15 mm

Obr. 11 Rozmístění vzorků na deskách

13.3.1 Vzorky z desky tloušťky 8 mm

Tab. 8 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, v místě vstřiku

a_0	b_0	Rm	E	Rm	ϵ Rm	ϵ F _{max}	Rm
[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[%]	[mm]	[N]
7,62	15,74	26,42	1916,36	6,31	4,11	0,83	3169,30

Tab. 9 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, ve směru L a vzdálenosti 50 mm od místa vstřiku

	a_0	b_0	Rm	E	Rm	ϵ Rm	ϵ F _{max}	Rm
	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[%]	[mm]	[N]
x	7,97	15,70	32,32	1789,94	10,18	5,77	1,16	4044,64
S	0,04	0,23	0,35	24,54	0,36	0,40	0,08	102,85

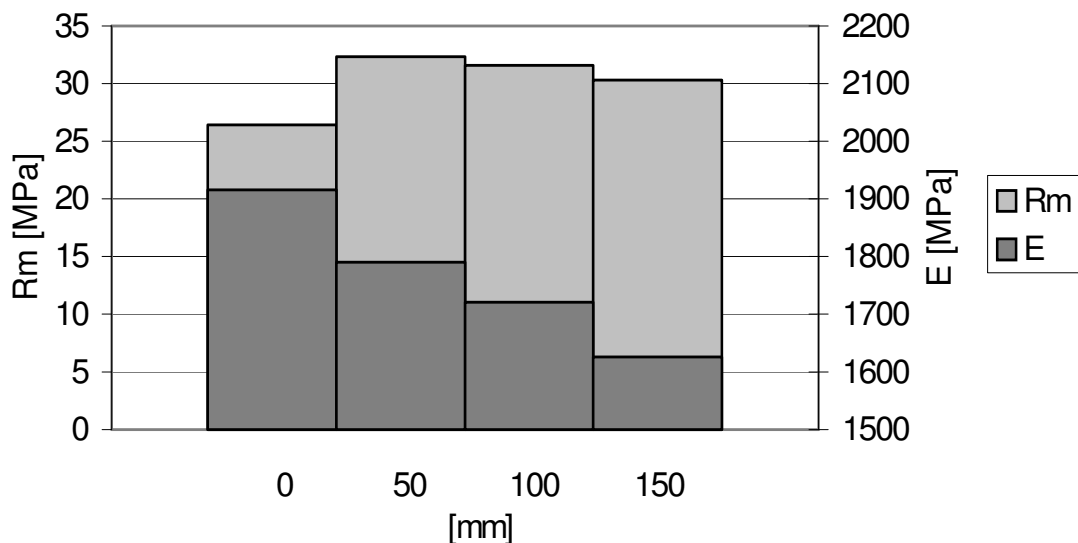
Tab. 10 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, ve směru L a vzdálenosti 100 mm od místa vstřiku

	a_0	b_0	Rm	E	Rm	ϵ Rm	ϵ F _{max}	Rm
	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[%]	[mm]	[N]
x	7,97	15,77	31,62	1721,29	10,68	6,38	1,28	3975,78
S	0,04	0,13	0,16	71,43	0,24	0,35	0,07	25,78

Tab. 11 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, ve směru L a vzdálenosti 150 mm od místa vstřiku

	a_0	b_0	Rm	E	Rm	ϵ Rm	ϵ F _{max}	Rm
	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[%]	[mm]	[N]
x	7,99	15,43	30,33	1625,43	11,48	6,74	1,35	3740,21
S	0,01	0,21	0,29	27,60	1,46	0,94	0,19	76,39

Z naměřených hodnot vzorků ve směru L plyne, že s rostoucí vzdáleností od místa vstřiku desky klesá tahová pevnost i modul pružnosti v tahu. Vzorek z místa vstřiku má nejnižší tahovou pevnost, ale nejvyšší modul pružnosti v tahu.



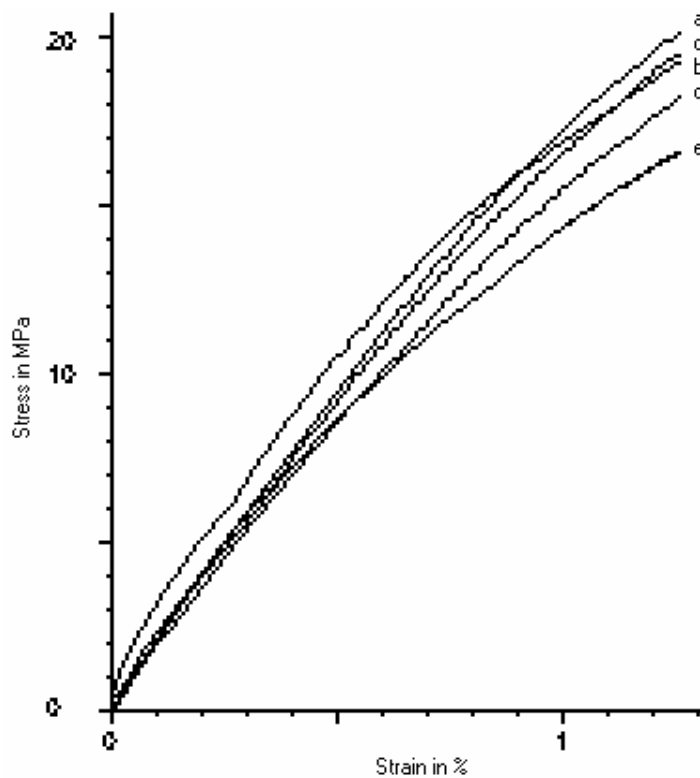
Obr. 12 Graf závislosti Rm a E na vzdálenosti od místa vstřiku pro tloušťku 8 mm

Z důvodu nedostatku materiálu byly vzorky ve směru T po jednom kuse v pěti různých vzdálenostech od místa vstříku desky.

Tab. 12 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, ve směru T

vzdálenost od místa vstříku	a_0 [mm]	b_0 [mm]	R_m [MPa]	E [MPa]	R_m [mm]	εR_m [%]	εF_{max} [mm]	R_m [N]
30 mm	7,90	15,76	32,68	1905,50	10,27	6,28	1,26	4068,77
60 mm	7,93	15,72	31,54	1704,84	10,08	6,69	1,34	3931,76
90 mm	7,91	15,61	31,75	1832,07	9,24	4,41	0,88	3919,79
120 mm	7,91	15,60	31,49	1771,81	9,52	6,14	1,23	3885,25
150 mm	7,91	15,74	31,54	1634,29	9,81	5,96	1,19	3926,75

Z naměřených hodnot vzorků ve směru T vyplývá, že s rostoucí vzdáleností od místa vstříku desky klesá modul pružnosti v tahu a mírněji i tahová pevnost.



Obr. 13 Tahové křivky lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, orientované vzorky;

a – směr L a vzdálenost 50 mm; b – směr L a vzdálenost 100 mm; c – směr L a vzdálenost 150 mm; d – směr T; e – v místě vstřiku

Výsledky jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze P III.

13.3.2 Vzorky z desky tloušťky 15 mm

Tab. 13 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm, v místě vstřiku

a_0	b_0	Rm	E	Rm	ϵ Rm	ϵF_{\max}	Rm
[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[%]	[mm]	[N]
14,49	20,97	16,50	1613,58	7,24	1,59	0,32	5012,25

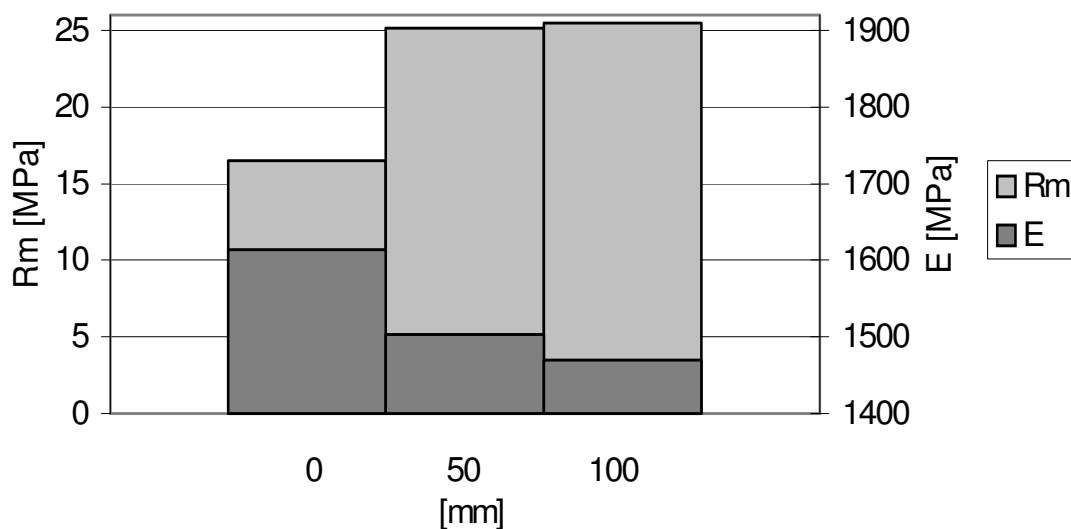
Tab. 14 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm, ve směru L a vzdálenosti 50 mm od místa vstřiku

	a_0	b_0	Rm	E	Rm	ϵ Rm	ϵF_{\max}	Rm
	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[%]	[mm]	[N]
x	14,75	20,27	25,15	1503,17	21,45	6,98	1,40	7515,36
S	0,02	0,53	0,80	69,98	1,38	1,19	0,24	160,85

Tab. 15 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm, ve směru L a vzdálenosti 100 mm od místa vstřiku

	a_0	b_0	Rm	E	Rm	ϵ Rm	ϵF_{\max}	Rm
	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[%]	[mm]	[N]
x	14,75	20,59	25,49	1469,23	20,63	6,93	1,39	7739,49
S	0,02	0,36	0,19	28,68	0,50	0,78	0,16	137,70

Z naměřených hodnot vzorků ve směru L plyne, že s rostoucí vzdáleností od místa vstříku desky klesá modul pružnosti v tahu a tahová pevnost je téměř stejná. Vzorek z místa vstříku má nejnižší tahovou pevnost, ale nejvyšší modul pružnosti v tahu.



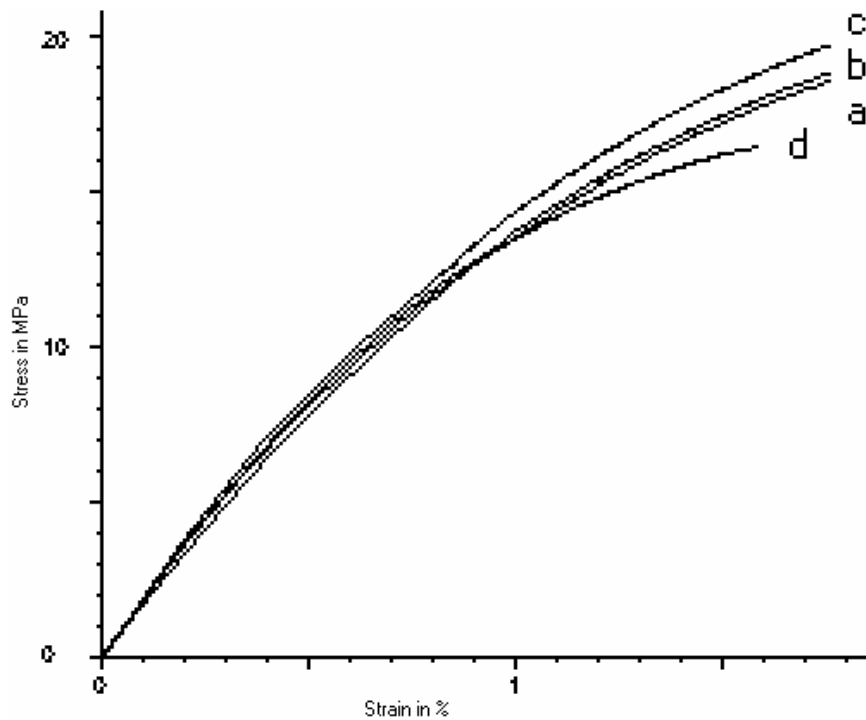
Obr. 14 Graf závislosti R_m a E na vzdálenosti od místa vstříku pro tloušťku 15 mm

Z důvodu nedostatku materiálu byly vzorky ve směru T po jednom kuse v pěti různých vzdálenostech od místa vstříku desky.

Tab. 16 Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm, ve směru T

vzdálenost od místa vstříku	a_0 [mm]	b_0 [mm]	R_m [MPa]	E [MPa]	R_m [mm]	ϵR_m [%]	ϵF_{max} [mm]	R_m [N]
30 mm	14,66	20,82	26,43	1587,64	24,87	5,20	1,04	8067,20
60 mm	14,64	20,73	26,21	1573,03	32,80	6,02	1,21	7954,77
90 mm	14,66	20,89	26,49	1504,14	26,05	6,63	1,33	8112,89
120 mm	14,66	20,79	26,28	1454,33	26,04	6,64	1,33	8010,86
150 mm	14,68	20,94	25,08	1554,69	27,35	5,35	1,07	7710,76

Z naměřených hodnot vzorků ve směru T vyplývá, že s rostoucí vzdáleností od místa vstříku desky mírně klesá, jak modul pružnosti v tahu, tak i tahová pevnost.



Obr. 15 Tahové křivky lehčeného PP-H tloušťky 15 mm, orientované vzorky;

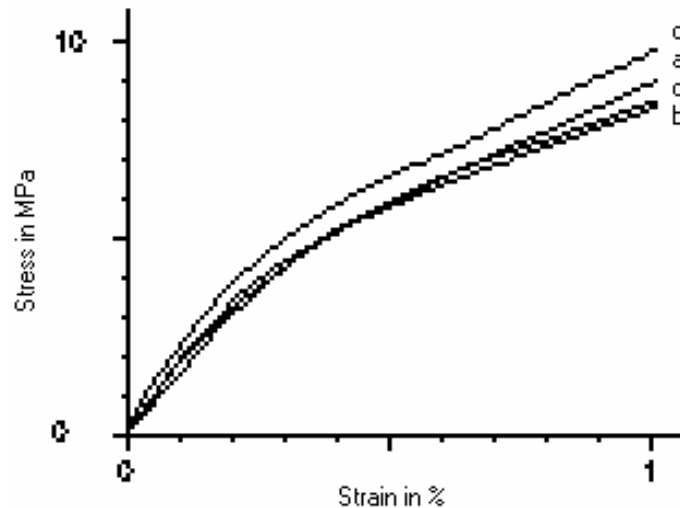
a – směr L a vzdálenost 50 mm; *b* – směr L a vzdálenost 100 mm; *c* – směr T; *d* – v místě vstříku

Výsledky jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze P III.

13.4 Shrnutí tahových vlastností

Tab. 17 Porovnání tahových vlastností PP-H a lehčeného PP-H

Deska	Rm	E	Deska	Rm	E
tloušťky 8 mm	[MPa]	[MPa]	tloušťky 15 mm	[MPa]	[MPa]
PP-H	26,28	1385,22	PP-H	25,69	1499,07
lehčený PP-H	27,98	1453,02	lehčený PP-H	26,35	1472,07



Obr. 16 Tahové křivky

a – PP-H tloušťky 8 mm; b – PP-H tloušťky 15 mm; c – lehčený PP-H tloušťky 8 mm; d – lehčený PP-H tloušťky 15 mm

Z tahových zkoušek vyplývá, že s tloušťkou vzrostl modul pružnosti v tahu a tahová pevnost je téměř stejná. Z výsledků dále plyne, že hodnoty tahové pevnosti i modulu pružnosti v tahu lehčeného PP-H jsou pro větší tloušťky téměř stejné jako u PP-H.

Tab. 18 Porovnání tahových vlastností lehčeného PP-H tloušťky 8 mm v závislosti na struktuře

Směr L vzdálenost	Rm [MPa]	E [MPa]	Směr T vzdálenost	Rm [MPa]	E [MPa]
50 mm	32,32	1789,94	30 mm	32,68	1905,50
100 mm	31,62	1721,29	60 mm	31,54	1704,84
150 mm	30,33	1625,43	90 mm	31,75	1832,07
			120 mm	31,49	1771,81
v místě vstříku	26,42	1916,36	150 mm	31,54	1634,29

Z tahových zkoušek vzorků z lehčeného PP-H, jež byly umístěny na desce v blízkosti jejího místa vstříku, vyplývá, že jak u vzorků ve směru L, tak i ve směru T, klesá s rostoucí vzdáleností od místa vstříku desky tahová pevnost i modul pružnosti v tahu nevýrazně. Nejnižší tahovou pevnost má vzorek z místa vstříku desky.

14 OHYBOVÉ VLASTNOSTI

Ohybovou zkoušku jsem provedla na tomtéž zařízení jako zkoušku tahovou, tj. na přístroji Zwick 145 665 (dle normy ČSN EN ISO 178).

Kde: - 3-bodový ohyb

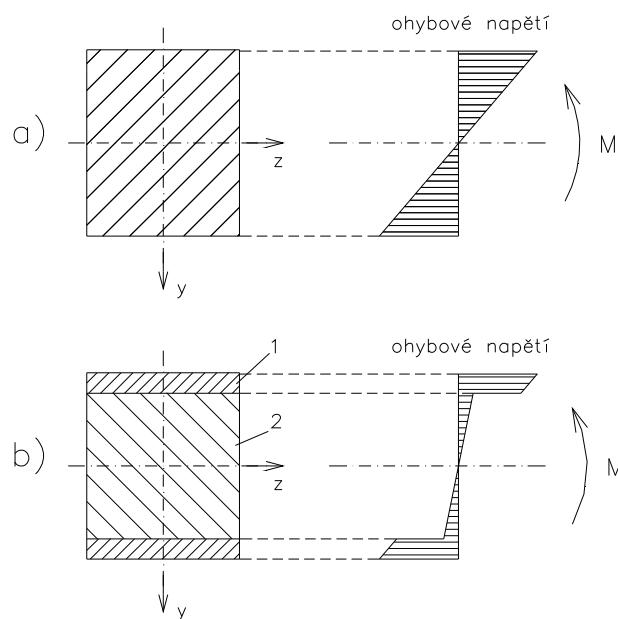
- rychlost zkoušky = 1 mm/min

- vzdálenost podpěr udává norma ČSN EN ISO 178

$$L = (16 \pm 1) \cdot h \quad [\text{mm}] \quad (22)$$

Pro tloušťku $h=8$ mm jsem určila vzdálenost podpěr $L = 128$ mm a pro tloušťku $h=15$ mm činí $L = 240$ mm.

Průběh ohybového napětí dle [3], je uveden na následujícím obrázku.



Obr. 17 Průběh ohybového napětí; a) homogenní prvek, b) sendvičový prvek

14.1 Ohybové vlastnosti PP-H

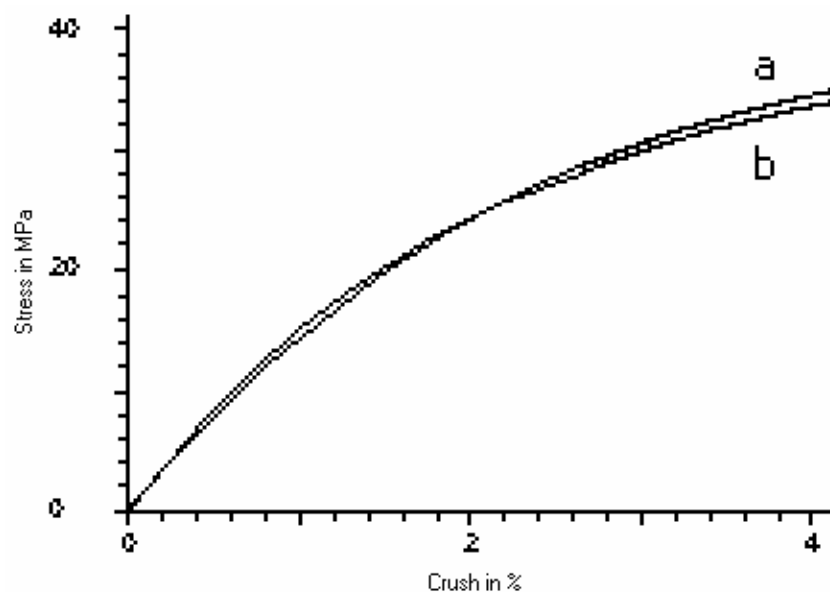
Vzorky byly připraveny z PP-H desek tloušťky 8 mm a 15 mm. Z nich bylo připraveno dle ČSN EN ISO 178 10 ks zkušebních vzorků o rozměrech 15 x 160 (v mm) pro tloušťku 8 mm a 5 ks vzorků o rozměrech 20 x 300 (v mm) pro tloušťku 15 mm.

Tab. 19 Ohybové vlastnosti PP-H tloušťky 8 mm

	a_0	b_0	R_m	$\epsilon_{F_{max}}$	$\epsilon_{F_{max}}$	E
	[mm]	[mm]	[MPa]	[%]	[mm]	[MPa]
x	8,02	14,63	38,58	6,50	22,19	1513,12
S	0,04	0,07	0,79	0,12	0,42	49,42

Tab. 20 Ohybové vlastnosti PP-H tloušťky 15 mm

	a_0	b_0	R_m	$\epsilon_{F_{max}}$	$\epsilon_{F_{max}}$	E
	[mm]	[mm]	[MPa]	[%]	[mm]	[MPa]
x	15,10	19,18	36,39	5,36	34,10	1546,45
S	0,05	0,92	0,29	0,15	1,24	7,30



Obr. 18 Ohybové křivky PP-H

a – vzorky tloušťky 8 mm; b – vzorky tloušťky 15 mm

Výsledky jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze P IV.

Z naměřených hodnot plyne, že s rostoucí tloušťkou vzorku klesá ohybová pevnost a modul pružnosti v ohybu je téměř stejný.

14.2 Ohybové vlastnosti lehčeného PP-H

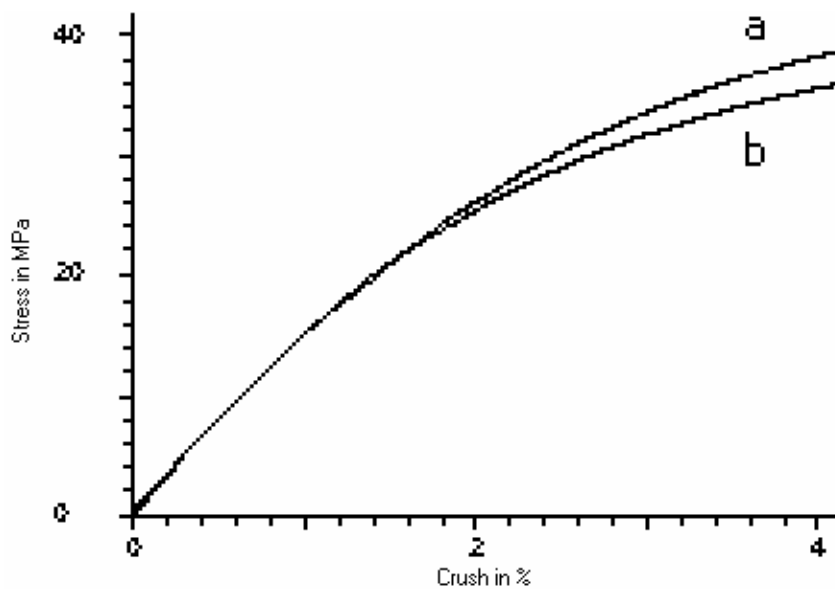
Vzorky byly připraveny z vstříkovaných desek z lehčeného PP-H tloušťky 8 mm a 15 mm. Z nich bylo připraveno dle ČSN EN ISO 178 10 ks vzorků o rozměrech 15 x 160 (v mm) pro tloušťku 8 mm a 5 ks vzorků o rozměrech 20 x 200 (v mm) pro tloušťku 15 mm.

Tab. 21 Ohybové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm

	a_0 [mm]	b_0 [mm]	R_m [MPa]	ϵF_{max} [%]	ϵF_{max} [mm]	E [MPa]
x	8,02	14,74	42,80	6,64	22,66	1469,24
S	0,05	0,08	1,96	0,36	1,24	121,71

Tab. 22 Ohybové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm

	a_0 [mm]	b_0 [mm]	R_m [MPa]	ϵF_{max} [%]	ϵF_{max} [mm]	E [MPa]
x	14,50	19,46	38,15	5,29	35,03	1575,17
S	0,05	0,89	0,38	0,08	0,57	25,17



Obr. 19 Ohybové křivky lehčeného PP-H

a – vzorky tloušťky 8 mm; b – vzorky tloušťky 15 mm

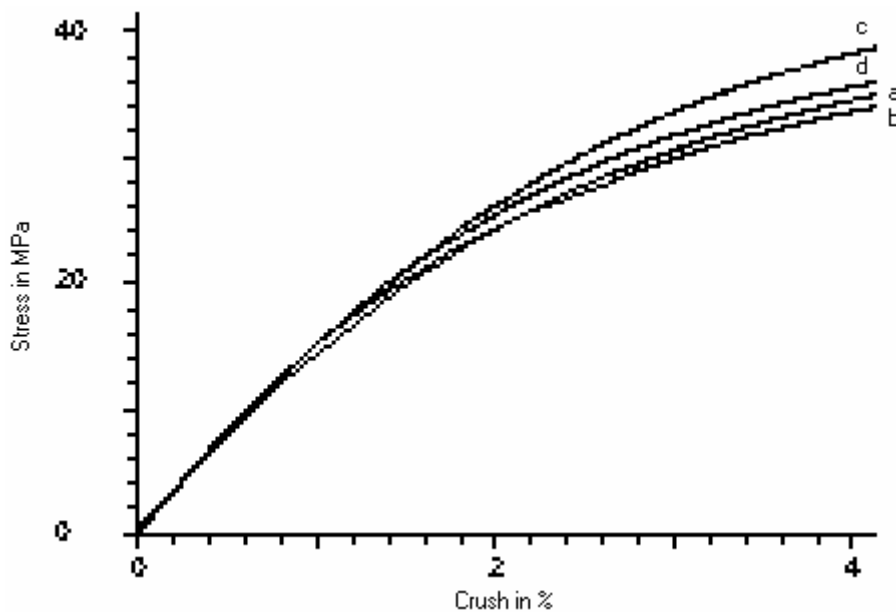
Výsledky jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze P V.

Z naměřených hodnot plyne, že s rostoucí tloušťkou vzorku klesá ohybová pevnost a roste modul pružnosti v ohybu.

14.3 Shrnutí ohybových vlastností

Tab. 23 Porovnání ohybových vlastností PP-H a lehčeného PP-H

Deska	Rm	E	Deska	Rm	E
tloušťky 8 mm	[MPa]	[MPa]	tloušťky 15 mm	[MPa]	[MPa]
PP-H	38,58	1513,12	PP-H	36,39	1546,45
lehčený PP-H	42,80	1469,24	lehčený PP-H	38,15	1575,17



Obr. 20 Ohybové křivky

a – PP-H tloušťky 8 mm; b – PP-H tloušťky 15 mm; c – lehčený PP-H tloušťky 8 mm; d – lehčený PP-H tloušťky 15 mm

Z ohybových zkoušek vyplývá, že s rostoucí tloušťkou roste modul pružnosti v ohybu a klesá ohybová pevnost. Tyto rozdíly jsou výraznější u vzorků z lehčeného PP-H.

Z výsledů ohybových zkoušek dále plyne, že hodnoty modulu pružnosti v ohybu jsou u vzorků z lehčeného PP-H stejné, jako hodnoty vzorků z PP-H. Zatímco ohybová pevnost lehčeného PP-H je vyšší než zjištěné hodnoty PP-H. Tento rozdíl s rostoucí tloušťkou však klesá.

Literatura [3] uvádí, že $\sigma_o > \sigma_t$ a jeho velikost je dána vztahem:

$$\sigma_o = (1,4 \div 1,7) \sigma_t \quad [\text{MPa}] \quad (23)$$

Tab. 24 Porovnání vypočtených a naměřených hodnot ohybové pevnosti

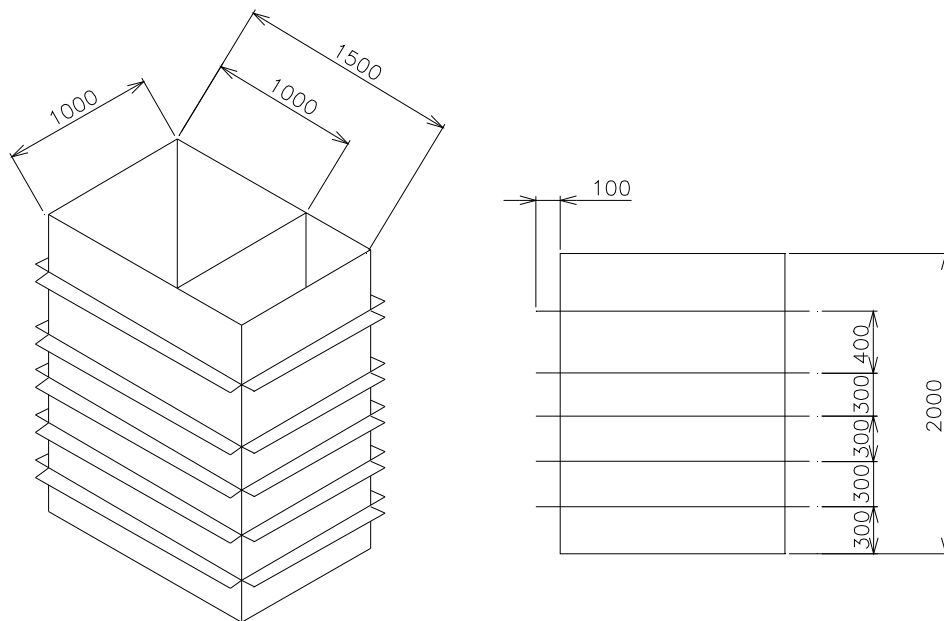
	Interval daný vztahem (23)	Naměřená hodnota ohybové pevnosti
PP-H tloušťky 8 mm	<36,8; 44,7> MPa	38,58 MPa
PP-H tloušťky 15 mm	<35,9; 43,7> MPa	36,39 MPa
Lehčený PP-H tloušťky 8 mm	<39,2; 47,6> MPa	42,80 MPa
Lehčený PP-H tloušťky 15 mm	<36,9; 44,8> MPa	38,15 MPa

Všechny naměřené hodnoty ohybové pevnosti leží v intervalu, který je dán vztahem (23).

15 STATICKÝ VÝPOČET ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

15.1 Geometrie konstrukce

Základní konstrukce čistírny odpadních vod jsou válcová a kvádrová. V tomto případě je zvolena konstrukce kvádrová. Nádoba čistírny je svařena z lehčených PP-H desek a opatřena žebry.



Obr. 21 Návrh geometrie čistírny odpadních vod

Tloušťka stěn konstrukce i žeber je 20 mm a výška žeber je 100 mm.

15.2 Provozní podmínky

Konstrukce je kontrolována na tyto provozní podmínky:

Medium – znečištěná voda, hustota 1000 kg/m³

Teplota konstrukce max. $T = \max 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Projektovaná životnost zařízení : 25 let

Materiál zásypu nádrže má hustotu 1800 kg/m³.

15.3 Hodnoty volené z ČSN EN 1778

Jelikož při tahových a ohybových zkouškách jsem dospěla k závěru, že mechanické vlastnosti lehčeného PP-H se výrazně neliší od mechanických vlastností PP-H, budu předpokládat, že se chovají stejně i při dlouhodobém zatížení. Z toho důvodu volím z ČSN EN 1778 redukční faktory, uvažované hodnoty mezních napětí a modulů tečení odpovídající PP-H. Pro krátkodobé zatížení volím hodnotu modulu pružnosti, kterou jsem určila z ohybových zkoušek.

Tab. 25 Hodnoty mezních napětí a modulů tečení

délka zatížení	K [MPa]	E [MPa]
krátkodobé	20	1575
1 rok	13	400
25 let	11	280

Poissonův poměr je uvažován (nezávisle na době zatížení) $\nu = 0,35$.

Dle ČSN EN 1778 volím:

- korekční faktor, zohledňující vlivy provozovaného media (znečištěná voda) $A_{2K} = 1,0$
- korekční faktor, zohledňující vliv specifického napětí $A_1 = 1,0$
- koeficient bezpečnosti - na pevnost $S = 1,3$
- na mez ztráty stability $S = 2$
- dlouhodobý koeficient svaru pro svařování topným tělesem, extrudérem $f = 0,6$
- krátkodobý koeficient svaru pro svařování topným tělesem, extrudérem $f = 0,8$

15.4 Výpočet dovolených napětí

Hodnotu dovoleného napětí vypočteme ze vztahu (21) pro:

1. krátkodobé zatížení:
$$\sigma_{DOV} = \frac{20 \cdot 0,8}{1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,3} = \underline{9,47MPa}$$

2. pro dobu zatížení 1 rok:
$$\sigma_{DOV} = \frac{13 \cdot 0,6}{1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,3} = \underline{4,62MPa}$$

3. pro dobu zatížení 25 let
$$\sigma_{DOV} = \frac{11 \cdot 0,6}{1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,3} = \underline{3,91MPa}$$

15.5 Výpočet

15.5.1 Kontrola na pevnost

Konstrukce je řešena pomocí programového FEM systému COSMOS/M. Řešení je provedeno jako lineárně elastická analýza napětí a deformace skořepinového modelu.

Podmínka spolehlivosti vyžaduje, aby výpočtem určené namáhání, vyjádřené hodnotou srovnávacího von Misesova napětí nepřekročilo dovolenou mez, určenou na základě dlouhodobě sledovaných dat ze standardních zkoušek dle EN 1778.

Případy zatížení:

LC1. Krátkodobý stav zatížení – zatížení hydrostatickým tlakem neobsypané nádrže

Max. hodnota hydrostatického tlaku pro:

hloubku nádrže $H = 2 \text{ m}$

hustotu zeminy $\rho_H = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$p_H = H \cdot \rho_H \cdot g = 2 \cdot 1000 \cdot 10 = 20000Pa = \underline{0,02MPa}$$

Uvažujeme lineární rozložení tlaku po výšce nádrže s nulovou hodnotou v úrovni terénu.

Vypočtená max. hodnota von Misesova napětí (viz Obr. 22): $\sigma_{MAX} = 6,20 \text{ MPa}$

Podmínka spolehlivosti $\sigma_{MAX} < \sigma_{DOV}$ $6,20 \text{ MPa} < 9,47 \text{ MPa}$ je splněna.

LC2. Mimořádný stav zatížení – vyprázdněná čistírna zatížená tlakem obsypu na stěny nádrže

Uvažuje se trvání tohoto mimořádného stavu v součtu za celou dobu životnosti zatížení max. 1 rok.

Max. hodnota tlaku zeminy pro: $k = 0,27$ (dle pr EN 12 566-3 pro šterkový zásyp)

hloubku nádrže $H = 2 \text{ m}$

hustotu zeminy $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$

$$p_z = k \cdot H \cdot \rho \cdot g = 0,27 \cdot 2 \cdot 1800 \cdot 10 = 9720 \text{ Pa} \doteq \underline{0,01 \text{ MPa}}$$

Uvažujeme lineární rozložení tlaku po výšce nádrže s nulovou hodnotou v úrovni terénu.

Vypočtená max. hodnota von Misesova napětí (viz Obr. 22): $\sigma_{MAX} = 3,10 \text{ MPa}$

Podmínka spolehlivosti $\sigma_{MAX} < \sigma_{DOV}$ $3,10 \text{ MPa} < 4,62 \text{ MPa}$ je splněna

LC3. Provozní stav – zaplněná čistírna zatížená tlakem obsypu

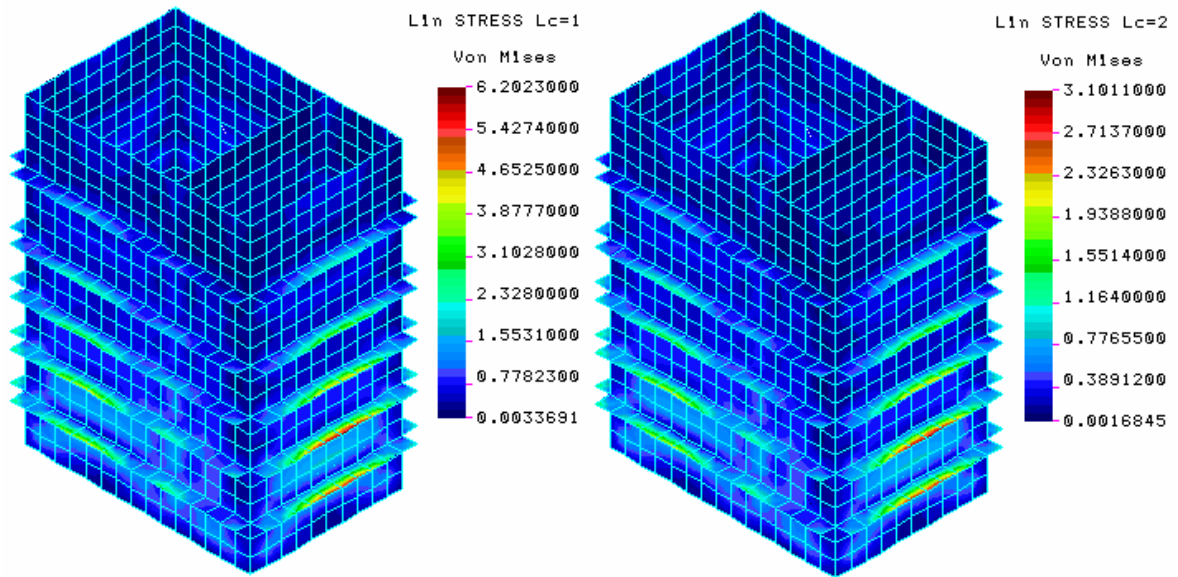
Uvažuje se namáhání po celou dobu životnosti, tj. 25 let.

Hodnota zatížení je dána součtem předchozích dvou případů, tj. tlakem 0,01 MPa ve směru zevnitř nádoby.

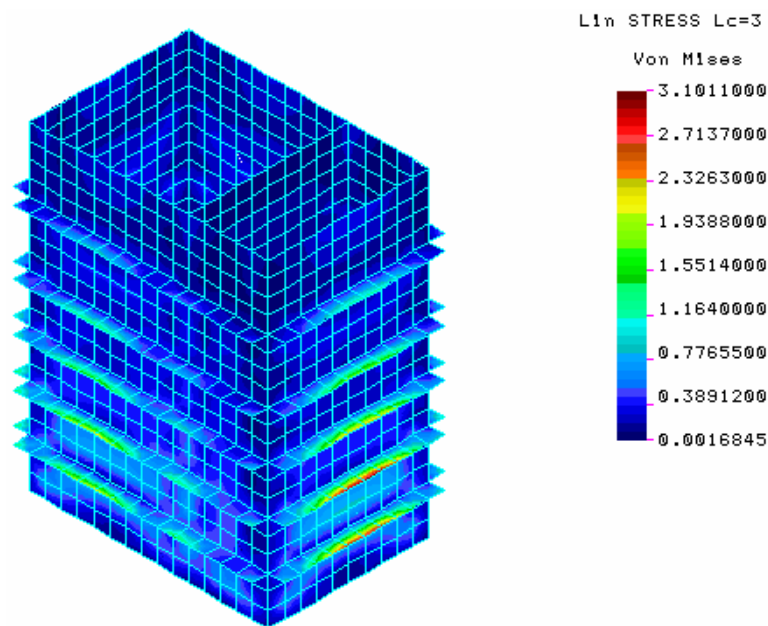
Uvažujeme lineární rozložení tlaku po výšce nádrže s nulovou hodnotou v úrovni terénu.

Vypočtená max. hodnota von Misesova napětí (viz Obr. 23): $\sigma_{MAX} = 3,10 \text{ MPa}$

Podmínka spolehlivosti $\sigma_{\text{MAX}} < \sigma_{\text{DOV}}$ $3,10 \text{ MPa} < 3,91 \text{ MPa}$ je splněna.



Obr. 22 Von Misesovo napětí pro případy zatížení LC1 a LC2



Obr. 23 Von Misesovo napětí pro případ zatížení LC3

15.5.2 Kontrola deformace

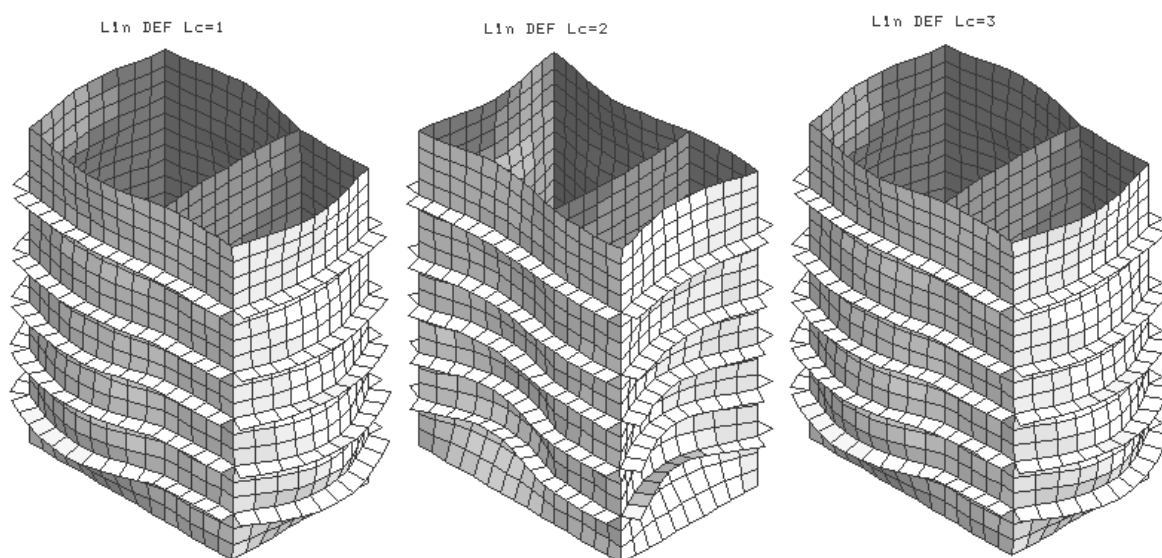
Volím hodnotu maximálního průhybu stěny rovnu tloušťce stěny ($t = 20 \text{ mm}$). Požaduje se, aby tato hodnota nebyla překročena v žádném z posuzovaných stavů zatížení.

LC1. Podmínka $y_{\text{MAX}} < t$ $5,51 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$ je splněna.

LC2. Podmínka $y_{MAX} < t$ 10,84 mm < 20 mm je splněna.

LC3. Podmínka $y_{MAX} < t$ 15,49 mm < 20 mm je splněna.

Charakter deformace pláště je vynesena na Obr. 24.



Obr. 24 Charakter deformace při zatížení LC1, LC2 a LC3

15.5.3 Kontrola na stabilitu

Konstrukce je řešena pomocí programového FEM systému COSMOS/M. Řešení je provedeno jako lineárně elastická modální analýza skořepinového modelu. Podmínka spolehlivosti vyžaduje, aby výpočtové zatížení konstrukce v uvažovaných případech zatížení nepřekročilo výpočtem určené zatížení na mezi ztráty stability pláště konstrukce.

Výpočtová hodnota modulu pružnosti je určena na základě výsledků dlouhodobého sledování hodnot modulů tečení ze standardních zkoušek dle EN 1778.

Uvažované stavy zatížení:

LC2. Mimořádný stav zatížení – vyprázdněná čistírna zatížená tlakem obsypu na stěny nádrže. Uvažuje se trvání tohoto mimořádného stavu v součtu za celou dobu životnosti zatížení max. 1 rok.

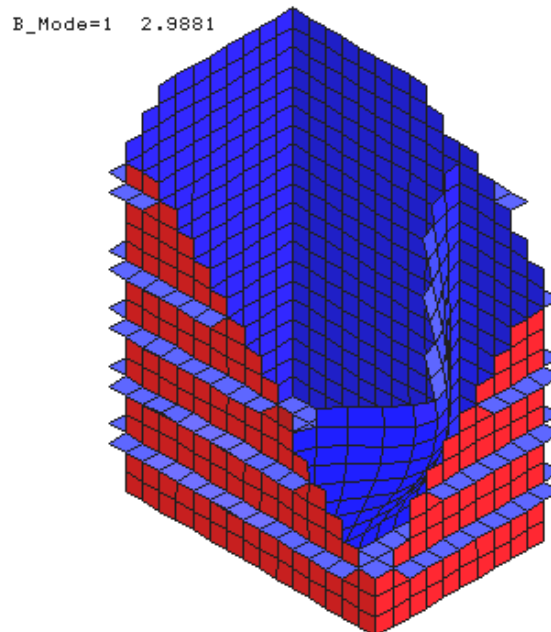
Vlastní vypočtené hodnoty představují mezní zatížení, jako násobek provozního zatížení a jsou tak hodnotou bezpečnosti na mezní stav ztráty stability konstrukce. Směrodatná je nejmenší kladná hodnota. Normou ČSN EN 1778 stanovená hodnota koeficientu bezpečnosti na ztrátu stability je 2.

Výpočtem určené vlastní hodnoty:

1.	2,9881
2.	4,60109
3.	4,61483

Podmínka spolehlivosti $2,9881 > 2$ je splněna.

Charakter vybočení pro vlastní hodnotu č.1 je uveden na Obr. 25.



Obr. 25 Stabilita

15.6 Doporučení

Nedoporučuje se volit konstrukci bez žeber, jelikož při tloušťce stěn 20 mm je deformace 4,4krát vyšší než je dovoleno. Zjištěné hodnoty napětí, deformace a stability pro dříve již uvedené způsoby zatěžování jsou uvedeny v Tab. 26.

Tab. 26 Zatěžování nádoby bez žeber

	Zjištěné hodnoty			Dovolené hodnoty		
	LC1	LC2	LC3	LC1	LC2	LC3
σ_{MAX} [MPa]	8,44	4,22	<u>4,22</u>	9,47	4,62	3,91
y_{MAX} [mm]	<u>44,53</u>	<u>87,67</u>	<u>103,52</u>	20		
stabilita	-	<u>1,98</u>	-	2		

Také není doporučeno volit menší tloušťku stěn konstrukce a žeber (viz. Tab. 27, Tab. 28).

Tab. 27 Zatěžování nádoby tloušťky 10 mm (s žebry)

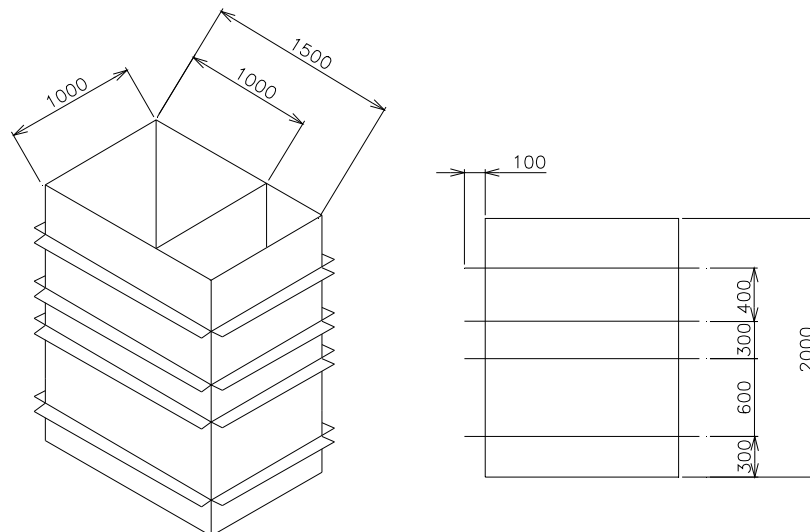
	Zjištěné hodnoty			Dovolené hodnoty		
	LC1	LC2	LC3	LC1	LC2	LC3
σ_{MAX} [MPa]	<u>15,51</u>	<u>7,76</u>	<u>7,76</u>	9,47	4,62	3,91
y_{MAX} [mm]	<u>15,44</u>	<u>30,40</u>	<u>43,43</u>	10		
stabilita	-	<u>0,35</u>	-	2		

Tab. 28 Zatěžování nádoby tloušťky 15 mm (s žebry)

	Zjištěné hodnoty			Dovolené hodnoty		
	LC1	LC2	LC3	LC1	LC2	LC3
σ_{MAX} [MPa]	8,94	4,47	<u>4,47</u>	9,47	4,62	3,91
y_{MAX} [mm]	8,49	<u>16,71</u>	<u>23,87</u>	15		
stabilita	-	<u>1,23</u>	-	2		

Použití následujících dvou typů konstrukcí nemůžeme zaručit životnost 25 let:

1. Konstrukce č.1 (viz. Obr. 26), tloušťka stěn = 20 mm



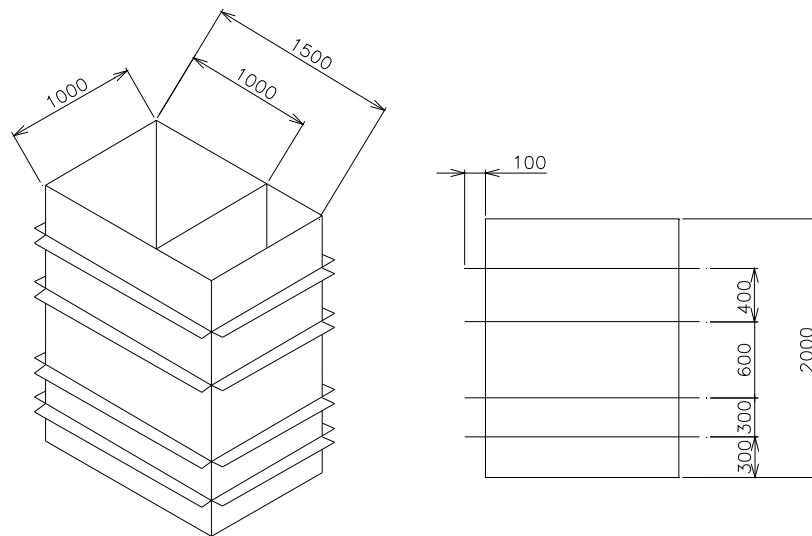
Obr. 26 Schéma konstrukce č. 1

U této konstrukce nejen nelze zaručit životnost 25 let, ale i deformace při působení zeminy na prázdnou nádobu je vyšší než dovolená.

Tab. 29 Zatěžování nádoby konstrukce č. 1

	Zjištěné hodnoty			Dovolené hodnoty		
	LC1	LC2	LC3	LC1	LC2	LC3
σ_{MAX} [MPa]	8,40	4,20	<u>4,20</u>	9,47	4,62	3,91
y_{MAX} [mm]	12,30	<u>24,21</u>	<u>34,59</u>	20		
stabilita	-	2,99	-	2		

2. Konstrukce č. 2



Obr. 27 Schéma konstrukce č. 2

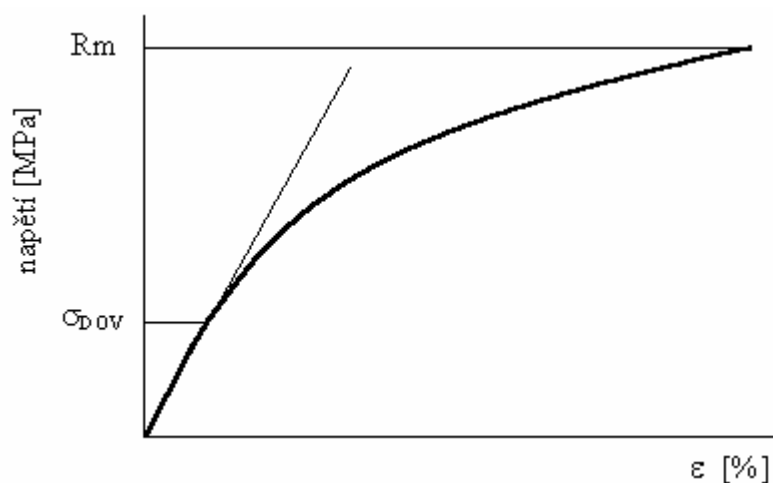
Tab. 30 Zatěžování nádoby konstrukce č. 2

	Zjištěné hodnoty			Dovolené hodnoty		
	LC1	LC2	LC3	LC1	LC2	LC3
σ_{MAX} [MPa]	8,32	4,16	<u>4,16</u>	9,47	4,62	3,91
y_{MAX} [mm]	9,63	18,95	<u>27,07</u>	20		
stabilita	-	2,97	-	2		

ZÁVĚR

Z tahových a ohybových zkoušek vyplývá, že hodnoty modulu pružnosti a pevnosti v tahu a ohybu, se od sebe liší maximálně o 10%.

Při dimenzování výrobků počítáme s maximálním dovoleným napětím, ale toto napětí leží v lineární části jeho průběhu (viz Obr. 26). Proto lze tvrdit, že 20-ti %-ní lehčení PP-H není kritické, tudíž nemá vliv na jeho chování při namáhání.



Obr. 28 Průběh napětí

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Termoplasty v praxi, Nakladatelství Verlag Dashöfer, Praha, 2001
- [2] Doležel, J. : Plastické hmoty, Technické nakladatelství, Praha, 1965
- [3] Šuba, O. :Dimenzování a navrhování výrobků z plastů, UTB, 2001
- [4] ČSN EN 1778: Charakteristické hodnoty pro svařované konstrukce z termoplastů – Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů, UNO Praha, 1999
- [5] PN 35-253-03: Charakteristika strukturně lehčených PP-H desek a stěnových prvků pro navrhování a dimenzování svařovaných konstrukcí, Silon, a.s., Planá nad Lužnicí, 2003
- [6] Kubát, S. : Matematická statistika: aplikace ve strojírenství, VUT, Brno, 1971

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

σ	MPa	napětí
F	N	zatěžující síla
A_0	mm ²	plocha průřezu před zatížením
ε	1	poměrné prodloužení
l_0	mm	délka zkušebního tělíska před zatížením
l	mm	délka zkušebního tělíska po zatížení
Δl	mm	rozdíl délek zkušebního tělíska po a před zatížením
ε_b	1	poměrné zúžení šířky
ε_h	1	poměrné zúžení tloušťky
b	mm	šířka zkušebního tělíska
h	mm	tloušťka zkušebního tělíska
μ	1	Poissonův poměr
ε_t	1	tažnost
l_t	mm	délka zkušebního tělíska při přetržení
E_t	MPa	modul pružnosti v tahu
σ_0	MPa	ohybové napětí
M_0	Nmm	ohybový moment
W_0	mm ³	ohybový modul průřezu
E_0	MPa	modul pružnosti v ohybu
ε_0	1	poměrný průhyb
J_R	mm ⁴	kvadratický moment plochy redukovaného průřezu
r	mm	poloměr zakřivení neutrální plochy
K_0	Nmm ²	ohybová tuhost
m	kg	hmotnost

ρ	kg/m ³	hustota
R		variační rozpětí
x		výběrový průměr
S ²		výběrový rozptyl
S		výběrová směrodatná odchylka
σ_{DOV}	MPa	dovolené napětí
K	MPa	dlouhodobá pevnost při navrhované teplotě a životnosti
f	1	svařovací faktor
A ₁	1	korekční faktor zohledňující vlivy specifického napětí
A _{2K}	1	korekční faktor zohledňující vlivy okolního média
S	1	koeficient bezpečnosti
R _m	MPa	mez pevnosti
T	°C	teplota konstrukce
p _H	MPa	hydrostatický tlak
H	m	hloubka nádrže
g	m/s ²	gravitační zrychlení

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Schéma větví stereoizomerů polypropylénu	11
Obr. 2	Sendvičový průřez.....	23
Obr. 3	Průběh funkcí K_O/m , K_O , m	24
Obr. 4	Obecné tahové křivky	27
Obr. 5	Zkušební tyčinka pro tahovou zkoušku	29
Obr. 6	Obrázek obecných ohybových křivek	32
Obr. 7	Obrázek třibodového systému ohybové zkoušky.....	33
Obr. 8	Průběh tahového napětí.....	39
Obr. 9	Tahové křivky PP-H.....	40
Obr. 10	Tahové křivky lehčeného PP-H	42
Obr. 11	Rozmístění vzorků na deskách.....	43
Obr. 12	Graf závislosti R_m a E na vzdálenosti od místa vstříku pro tloušťku 8 mm	44
Obr. 13	Tahové křivky lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, orientované vzorky.....	45
Obr. 14	Graf závislosti R_m a E na vzdálenosti od místa vstříku pro tloušťku 15 mm ..	47
Obr. 15	Tahové křivky lehčeného PP-H tloušťky 15 mm, orientované vzorky.....	48
Obr. 16	Tahové křivky	49
Obr. 17	Průběh ohybového napětí.....	50
Obr. 18	Ohybové křivky PP-H	51
Obr. 19	Ohybová křivka lehčeného PP-H.....	52
Obr. 20	Ohybové křivky.....	53
Obr. 21	Návrh geometrie čistírny odpadních vod	55
Obr. 22	Von Misesovo napětí pro případy zatížení LC1 a LC2.....	59
Obr. 23	Von Misesovo napětí pro případ zatížení LC3	59
Obr. 24	Charakter deformace při zatížení LC1, LC2 a LC3	60

Obr. 25	Stabilita	61
Obr. 26	Schéma konstrukce č. 1.....	63
Obr. 27	Schéma konstrukce č. 2.....	64
Obr. 28	Průběh napětí	65

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Charakteristické rozdíly mezi polypropylénem a polyetylénem	14
Tab. 2	Porovnání vlastností jednotlivých stereoizomerů polypropylénu	14
Tab. 3	Rozměry nejpoužívanějších typů zkušebních těles	28
Tab. 4	Tahové vlastnosti PP-H tloušťky 8 mm	40
Tab. 5	Tahové vlastnosti PP-H tloušťky 15 mm	40
Tab. 6	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm	41
Tab. 7	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm	41
Tab. 8	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, v místě vstříku	43
Tab. 9	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, ve směru L a vzdálenosti 50 mm od místa vstříku	43
Tab. 10	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, ve směru L a vzdálenosti 100 mm od místa vstříku	44
Tab. 11	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, ve směru L a vzdálenosti 150 mm od místa vstříku	44
Tab. 12	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm, ve směru T	45
Tab. 13	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm, v místě vstříku	46
Tab. 14	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm, ve směru L a vzdálenosti 50 mm od místa vstříku	46
Tab. 15	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm, ve směru L a vzdálenosti 100 mm od místa vstříku	46
Tab. 16	Tahové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm, ve směru T	47
Tab. 17	Porovnání tahových vlastností PP-H a lehčeného PP-H	48
Tab. 18	Porovnání tahových vlastností lehčeného PP-H tloušťky 8 mm v závislosti na struktuře	49
Tab. 19	Ohybové vlastnosti PP-H tloušťky 8 mm	51
Tab. 20	Ohybové vlastnosti PP-H tloušťky 15 mm	51

Tab. 21	Ohybové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 8 mm.....	52
Tab. 22	Ohybové vlastnosti lehčeného PP-H tloušťky 15 mm.....	52
Tab. 23	Porovnání ohybových vlastností PP-H a lehčeného PP-H	53
Tab. 24	Porovnání vypočtených a naměřených hodnot ohybové pevnosti.....	54
Tab. 25	Hodnoty mezních napětí a modulů tečení	56
Tab. 26	Zatěžování nádoby bez žeber	62
Tab. 27	Zatěžování nádoby tloušťky 10 mm.....	62
Tab. 28	Zatěžování nádoby tloušťky 15 mm.....	62
Tab. 29	Zatěžování nádoby konstrukce č. 1	63
Tab. 30	Zatěžování nádoby konstrukce č. 2	64

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výsledky tahových zkoušek PP-H

Příloha P II: Výsledky tahových zkoušek lehčeného PP-H

Příloha P III: Výsledky tahových zkoušek lehčeného PP-H s vlivem orientace tečení

Příloha P IV: Výsledky ohybových zkoušek PP-H

Příloha P V: Výsledky ohybových zkoušek lehčeného PP-H

PŘÍLOHA P I: VÝSLEDKY TAHOVÝCH ZKOUŠEK PP-H

PP-H tloušťky 8 mm

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
1	8,07	14,47	25,14	-	1381,72	13,56	9,87	-	1,98	-	2910,24
2	8	14,67	26,38	18,27	1335,59	12,29	8,9	76,15	1,78	15,23	3096,17
3	8	14,61	26,14	17,5	1451,05	11,72	8,52	93,86	1,71	18,77	3055,76
4	7,96	14,68	26,38	17,55	1319,71	11,94	8,75	63,49	1,75	12,7	3098,58
5	7,93	14,74	26,57	16,61	1416,21	12,83	9,06	60,73	1,81	12,15	3133,7
6	8	14,66	26,47	17,28	1430,81	12,45	8,99	127,66	1,8	25,53	3104,58
7	8,03	14,75	26,27	17,6	1338,5	12,14	8,81	100,38	1,76	20,08	3100,29
8	8,11	14,74	26,27	17,15	1349,35	12,29	8,77	80,31	1,75	16,06	3097,79
9	8	14,55	26,5	18,07	1391,61	12,16	8,85	67,76	1,77	13,55	3084,43
10	8	14,72	26,65	18,3	1437,63	12,75	9,05	87,47	1,81	17,5	3137,85

Sub-series #1	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
n = 10	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
{ol x}	8,01	14,66	26,28	17,59	1385,22	12,41	8,96	84,2	1,79	16,84	3081,94
s	0,051	0,09171	0,43	0,55	47,61	0,53	0,36	21,17	0,07	4,23	64,6
{ny}	0	0,63	1,63	3,15	3,44	4,24	4,01	25,14	4,01	25,14	2,1

PP-H tloušťky 15 mm

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
21	15	20,48	26,16	17,73	1542,96	13,16	9,17	115,81	1,84	23,16	8036,47
22	15,06	20,18	25,58	16,59	1508,11	12,72	8,9	123,74	1,78	24,75	7773,01
23	15,22	18,9	25,72	17,23	1465,56	12,68	8,94	135,34	1,79	27,07	7397,9
24	15,14	19,46	25,74	16,85	1524,59	12,94	9,03	115,71	1,81	23,14	7585,07

25	15,12	19,15	25,63	15,93	1479,54	12,7	8,91	125,76	1,78	25,15	7422,39
26	15,12	17,36	25,67	19,15	1490,53	12,97	9,16	357,56	1,83	71,51	6738,25
27	15,06	17,31	25,31	17,29	1482,2	12,47	8,72	144,91	1,75	28,99	6597,35

Sub-series #3	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain- Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
n = 7	mm	mm	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	mm	%	%	mm	mm	N
{ol x}	15,1	18,98	25,69	17,25	1499,07	12,8	8,98	159,83	1,8	31,97	7364,35
s	0,0706	1,25	0,25	1,01	27,45	0,23	0,16	87,81	0,03	17,56	524,76
{ny}	0,47	6,58	0,99	5,88	1,83	1,81	1,77	54,94	1,76	54,94	7,13

PŘÍLOHA P II: VÝSLEDKY TAHOVÝCH ZKOUŠEK LEHČENÉHO PP-H

Lehčený PP-H tloušťky 8 mm

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
11	8	14,62	26,82	26,62	1472,42	9,5	6,79	7,02	1,36	1,41	3136,48
12	8	14,99	27,22	27,04	1469,92	9,87	7,1	7,39	1,42	1,48	3264,09
13	7,94	14,54	27,47	26,67	1342,36	12,22	8,97	11,78	1,8	2,36	3195,87
14	7,98	14,58	28,52	27,62	1450,38	11,74	8,57	12,99	1,72	2,6	3326,09
15	8,07	14,68	28,65	27,27	1537,86	11,66	8,48	16,57	1,7	3,32	3364,2
16	8	14,83	28,4	27,84	1445,64	11,72	8,57	12,38	1,72	2,48	3369,86
17	8,02	14,75	28,43	28,4	1395,47	11,9	8,73	9,4	1,75	1,88	3355,24
18	7,98	14,96	27,78	27,11	1441,7	12,87	9,37	13,62	1,88	2,73	3324,41
19	8	14,56	28,25	25,78	1507,96	11,91	8,71	15,26	1,74	3,05	3291,04
20	8,07	14,84	28,22	27,24	1466,46	12,02	8,74	15,52	1,75	3,11	3350,54

Sub-series #2	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
n = 10	mm	mm	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	mm	%	%	mm	mm	N
{ol x}	8,006	14,73	27,98	27,16	1453,02	11,54	8,4	12,19	1,68	2,44	3297,78
s	0,0398	0,1649	0,62	0,72	54,58	1,04	0,81	3,34	0,16	0,67	78,02
{ny}	0	1,12	2,22	2,66	3,76	9,02	9,66	27,35	9,66	27,33	2,37

Lehčený PP-H tloušťky 15 mm

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	mm	%	%	mm	mm	N
28	14,43	18,68	27,8	27,63	1523,66	15,83	11,3	12,47	2,26	2,5	7492,46
29	14,59	20,3	25,88	25,83	1389,12	15,43	11,04	11,56	2,21	2,31	7664,69
30	14,55	20,14	26,93	26,93	1527,88	14,85	10,55	10,63	2,11	2,13	7891,77
31	14,57	20,05	26,59	25,91	1550,38	15,94	11,22	11,55	2,25	2,31	7767,77

32	14,57	20,08	25,38	25,12	1385,48	16,11	11,63	14,9	2,33	2,98	7425,59
33	14,53	19,25	25,67	25,45	1456,64	15,24	10,83	11,46	2,17	2,29	7181,17
34	14,53	19,06	26,22	25,88	1471,32	15,8	11,34	11,85	2,27	2,37	7260,16

Sub-series #4	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
n = 7	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
{ol x}	14,54	19,65	26,35	26,11	1472,07	15,6	11,13	12,06	2,23	2,41	7526,23
s	0,0527	0,6399	0,83	0,87	66,49	0,44	0,36	1,36	0,07	0,27	262,13
{ny}	0,36	3,26	3,15	3,35	4,52	2,85	3,2	11,32	3,19	11,3	3,48

PŘÍLOHA P III: VÝSLEDKY TAHOVÝCH ZKOUŠEK LEHČENÉHO PP-H S VLIVEM ORIENTACE TEČENÍ

Lehčený PP-H tloušťky 8 mm ve směru T

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
56	7,9	15,76	32,68	32,38	1905,5	10,27	6,28	8,29	1,26	1,66	4068,77
57	7,93	15,72	31,54	31,37	1704,84	10,08	6,69	8,95	1,34	1,79	3931,76
58	7,91	15,61	31,75	31,18	1832,07	9,24	4,41	4,79	0,88	0,96	3919,79
59	7,91	15,6	31,49	30,84	1771,81	9,52	6,14	10,83	1,23	2,17	3885,25
60	7,91	15,74	31,54	30,64	1634,29	9,81	5,96	11,75	1,19	2,35	3926,75

Sub-series #7	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
{ol x}	7,912	15,69	31,8	31,28	1769,7	9,79	5,9	8,92	1,18	1,79	3946,46
s	0,011	0,07537	0,5	0,68	105,92	0,42	0,87	2,7	0,17	0,54	70,75
{ny}	0,14	0,48	1,58	2,17	5,99	4,26	14,79	30,22	14,77	30,18	1,79

Lehčený PP-H tloušťky 8 mm ve směru L a vzdálenosti 50 mm

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
61	7,99	15,75	32,39	31,58	1803,3	10,59	6,32	6,35	1,27	1,28	4075,56
62	7,99	15,38	31,88	31,34	1753,47	9,75	5,38	6,51	1,08	1,3	3917,25
63	7,99	15,92	32,73	31,83	1797,59	10,33	5,69	8,71	1,14	1,75	4163,24
64	7,92	15,74	32,27	31,68	1805,4	10,06	5,68	7,38	1,14	1,48	4022,6

Sub-series #8	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
n = 4	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
{ol x}	7,973	15,7	32,32	31,61	1789,94	10,18	5,77	7,24	1,16	1,45	4044,66
s	0,035	0,2272	0,35	0,21	24,54	0,36	0,4	1,08	0,08	0,22	102,85
{ny}	0,44	1,45	1,09	0,66	1,37	3,52	6,87	14,93	6,98	14,86	2,54

Lehčený PP-H tloušťky 8 mm ve směru L a vzdálenosti 100 mm

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
65	7,99	15,68	31,43	30,23	1696,36	10,51	6,84	10,08	1,37	2,02	3937,66
66	7,99	15,67	31,81	31,31	1800,47	11,02	6,08	7,96	1,22	1,59	3982,98
67	7,99	15,78	31,64	30,6	1753,08	10,7	6,48	12,85	1,3	2,57	3988,84
68	7,92	15,95	31,61	31,4	1635,25	10,49	6,13	7,28	1,23	1,46	3993,65

Sub-series #9	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
n = 4	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
{ol x}	7,973	15,77	31,62	30,88	1721,29	10,68	6,38	9,54	1,28	1,91	3975,78
s	0,035	0,1299	0,16	0,56	71,43	0,24	0,35	2,51	0,07	0,5	25,78
{ny}	0,44	0,82	0,49	1,82	4,15	2,27	5,55	26,28	5,51	26,27	0,65

Lehčený PP-H tloušťky 8 mm ve směru L a vzdálenosti 150 mm

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
69	7,97	15,52	30,01	29,56	1599,84	13,54	7,41	10,24	1,48	2,05	3712,22
70	8	15,34	30,47	30,27	1637,13	10,07	5,35	5,58	1,07	1,12	3739,32
71	7,99	15,19	30,19	29,56	1605,95	11,13	7,22	11,14	1,45	2,23	3664,37
72	8	15,68	30,65	30,32	1658,79	11,19	6,96	9,97	1,39	1,99	3844,94

Sub-series #10	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain- Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
n = 4	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
{ol x}	7,99	15,43	30,33	29,93	1625,43	11,48	6,74	9,23	1,35	1,85	3740,21
s	0,0141	0,2131	0,29	0,43	27,6	1,46	0,94	2,48	0,19	0,5	76,39
{ny}	0,18	1,38	0,94	1,43	1,7	12,74	13,99	26,9	14,01	26,91	2,04

Lehčený PP-H tloušťky 8 mm v místě vstříku

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
86	7,62	15,74	26,42	25,76	1916,36	6,31	4,11	4,15	0,83	0,84	3169,3

Lehčený PP-H tloušťky 15 mm ve směru T

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	mm	%	%	mm	mm	N
73	14,66	20,82	26,43	26,31	1587,64	24,87	5,2	5,86	1,04	1,17	8067,2
74	14,64	20,73	26,21	25,96	1573,03	32,8	6,02	6,46	1,21	1,29	7954,77
75	14,66	20,89	26,49	26,35	1504,14	26,05	6,63	7,84	1,33	1,57	8112,89
76	14,66	20,79	26,28	25,29	1454,33	26,04	6,64	8,55	1,33	1,71	8010,86
77	14,68	20,94	25,08	24,93	1554,69	27,35	5,35	5,58	1,07	1,12	7710,76

Sub-series	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
#11	mm	mm	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	mm	%	%	mm	mm	N
{ol x}	14,66	20,83	26,1	25,77	1534,76	27,42	5,97	6,86	1,19	1,37	7971,29
s	0,0141	0,08264	0,58	0,63	54,92	3,13	0,69	1,29	0,14	0,26	157,29

{ny}	0,1	0,4	2,22	2,45	3,58	11,42	11,49	18,76	11,41	18,69	1,97
------	-----	-----	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Lehčený PP-H tloušťky 15 mm ve směru L a vzdálenosti 50 mm

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm ^{hi 2}	N/mm ^{hi 2}	N/mm ^{hi 2}	mm	%	%	mm	mm	N
78	14,73	20,62	24,1	23,92	1495,47	21,62	5,34	5,69	1,07	1,14	7319,61
79	14,78	20,61	25,02	24,31	1459,82	22,6	6,89	7,27	1,38	1,45	7620,78
80	14,76	20,35	25,54	25,22	1604,36	22,1	7,61	11,75	1,52	2,35	7670,32
81	14,73	19,49	25,95	25,65	1453,02	19,47	8,07	12,2	1,62	2,44	7450,71

Sub-series	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
#12	mm	mm	N/mm ^{hi 2}	N/mm ^{hi 2}	N/mm ^{hi 2}	mm	%	%	mm	mm	N
{ol x}	14,75	20,27	25,15	24,77	1503,17	21,45	6,98	9,23	1,4	1,85	7515,36
s	0,0245	0,5332	0,8	0,8	69,98	1,38	1,19	3,24	0,24	0,65	160,85

{ny}	0,17	2,63	3,18	3,22	4,66	6,41	17,12	35,11	17,07	35,07	2,14
------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	------

Lehčený PP-H tloušťky 15 mm ve směru L a vzdálenosti 100 mm

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	mm	%	%	mm	mm	N
82	14,75	20,61	25,63	25,32	1444,71	20,48	7,35	9,95	1,47	1,99	7791,91
83	14,76	21,08	25,42	25,08	1446,01	20,93	7,82	10,66	1,56	2,13	7910,04
84	14,76	20,44	25,25	25,07	1502,79	20	6,34	6,88	1,27	1,38	7618,21
85	14,72	20,24	25,64	25,5	1483,39	21,11	6,2	6,69	1,24	1,34	7637,81

Sub-series	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
#13	mm	mm	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	N/mm{hi 2}	mm	%	%	mm	mm	N
n = 4											
{ol x}	14,75	20,59	25,49	25,24	1469,23	20,63	6,93	8,55	1,39	1,71	7739,49

s	0,0189	0,3585	0,19	0,21	28,68	0,5	0,78	2,06	0,16	0,41	137,7
{ny}	0,13	1,74	0,73	0,82	1,95	2,41	11,32	24,07	11,32	24,07	1,78

Lehčený PP-H tloušťky 15 mm v místě vstříku

	a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	{epsilon} Rm	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	{epsilon} Break	Rm
Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
87	14,49	20,97	16,5	16,47	1613,58	7,24	1,59	1,59	0,32	0,32	5012,25

PŘÍLOHA P IV: VÝSLEDKY OHYBOVÝCH ZKOUŠEK PP-H

PP-H tloušťky 8 mm

	a0	b0	Rm	{epsilon} FMax	RB	{epsilon} Break	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	E	F-E1	F-E2
Nr	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	N	N
1	8	14,7	39,25	6,64	-	-	-	22,66	1559,19	6,14	21,42
2	8,06	14,75	39,38	6,52	-	-	-	22,27	1555,69	6,48	21,78
{wd U}3	8,11	14,68	-	12,73	-	-	-	43,44	1481,91	6,04	20,55
4	8	14,6	38,5	6,41	-	-	-	21,87	1532,51	6,28	21,2
5	7,97	14,6	39,14	6,43	-	-	-	21,93	1548,66	6,48	21,55
6	8,03	14,59	38,84	6,45	-	-	-	22,01	1492,07	6,65	21,17
7	7,99	14,57	39,05	6,55	-	-	-	22,36	1538,31	6,18	21,12
8	8	14,57	37,81	6,4	-	-	-	21,84	1467,86	6,52	20,78
9	8,04	14,7	38,33	6,73	-	-	-	22,98	1514,74	6,12	20,97
10	8	14,57	36,95	6,37	-	-	-	21,75	1409,01	6,39	20,08

Sub-series #1	a0	b0	Rm	{epsilon} FMax	RB	{epsilon} Break	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	E	F-E1	F-E2
n = 9	mm	mm	N/mm{hi 2}	%	N/mm{hi 2}	%	mm	mm	N/mm{hi 2}	N	N
{ol x}	8,0182	14,63	38,58	6,5	-	-	-	22,19	1513,12	6,36	21,12
s	0,0395	0,0692	0,79	0,12	-	-	-	0,42	49,42	0,19	0,49
{ny}	0	0,47	2,05	1,88	-	-	-	1,88	3,27	2,97	2,33
P({my} {le}) = 0,95	8	14,68	39,19	6,59	-	-	-	22,51	1551,17	6,51	21,5
P({le} {my}) = 0,95	8	14,57	37,97	6,41	-	-	-	21,87	1475,06	6,21	20,74

PP-H tloušťky 15 mm

	a0	b0	Rm	{epsilon} FMax	RB	{epsilon} Break	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	E	F-E1	F-E2
Nr	mm	mm	N/mm{hi 2}	%	N/mm{hi 2}	%	mm	mm	N/mm{hi 2}	N	N
22	15,03	20,07	36,63	5,39	-	-	-	34,4	1553,92	12,15	51,29
23	15,12	18,78	36,62	5,48	-	-	-	34,81	1551,07	11,27	48,27
24	15,15	18,26	36	5,2	-	-	-	32,96	1536,58	10,91	46,68

25	15,06	18,51	36,53	5,53	-	-	-	35,22	1541,08	11,25	47,19
26	15,12	20,26	36,17	5,21	-	-	-	33,08	1549,62	11,76	51,63

Sub-series #3	a0	b0	Rm	{epsilon} FMax	RB	{epsilon} Break	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	E	F-E1	F-E2
n = 5	mm	mm	N/mm{hi 2}	%	N/mm{hi 2}	%	mm	mm	N/mm{hi 2}	N	N
{ol x}	15,1	19,18	36,39	5,36	-	-	-	34,1	1546,45	11,47	49,01
s	0,0493	0,9238	0,29	0,15	-	-	-	1,02	7,3	0,49	2,31
{ny}	0,33	4,82	0,79	2,8	-	-	-	3	0,47	4,26	4,71
P({my} {le}) = 0,95	15,16	20,32	36,75	5,55	-	-	-	35,37	1555,53	12,07	51,88
P({le} {my}) = 0,95	15,03	18,03	36,03	5,17	-	-	-	32,83	1537,37	10,86	46,14

PŘÍLOHA P V: VÝSLEDKY OHYBOVÝCH ZKOUŠEK LEHČENÉHO PP-H

Lehčený PP-H tloušťky 8 mm

	a0	b0	Rm	{epsilon} FMax	RB	{epsilon} Break	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	E	F-E1	F-E2
Nr	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	N	N
12	8,11	14,79	39,07	7,52	-	-	-	25,66	1352,54	6,19	19,53
13	8,06	14,66	41,7	6,59	-	-	-	22,49	1485,76	6,17	20,69
14	8,08	14,75	43,28	6,26	-	-	-	21,36	1592,72	6,2	21,86
15	7,99	14,59	41,72	6,69	-	-	-	22,83	1467,81	4,7	18,98
16	7,98	14,76	42,7	6,58	-	-	-	22,45	1441,85	5,85	20,04
17	8,06	14,83	44,05	6,61	-	-	-	22,57	1363,12	6,11	19,59
{wd U}18	8	14,74	-	12,93	-	-	-	44,14	1510,21	6,39	21,23
19	8	14,67	42,12	6,73	-	-	-	22,98	1285,67	5,89	18,47
20	7,96	14,84	44,98	6,38	-	-	-	21,78	1610,62	6,66	22,59
21	7,96	14,73	45,54	6,41	-	-	-	21,86	1623,07	6,65	22,59

Sub-series #2	a0	b0	Rm	{epsilon} FMax	RB	{epsilon} Break	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	E	F-E1	F-E2
n = 9	mm	mm	N/mm{hi 2}	%	N/mm{hi 2}	%	mm	mm	N/mm{hi 2}	N	N
{ol x}	8,02	14,74	42,8	6,64	-	-	-	22,66	1469,24	6,05	20,48
s	0,0531	0,0828	1,96	0,36	-	-	-	1,24	121,71	0,58	1,54
{ny}	0	0,56	4,58	5,47	-	-	-	5,47	8,28	9,55	7,53
P({my} {le}) = 0,95	8	14,8	44,31	6,92	-	-	-	23,62	1562,95	6,49	21,67
P({le} {my}) = 0,95	8	14,67	41,29	6,36	-	-	-	21,71	1375,53	5,6	19,29

Lehčený PP-H tloušťky 15 mm

	a0	b0	Rm	{epsilon} FMax	RB	{epsilon} Break	{epsilon} Break	{epsilon} Fmax.	E	F-E1	F-E2
Nr	mm	mm	N/mm{hi 2}	%	N/mm{hi 2}	%	mm	mm	N/mm{hi 2}	N	N
27	14,5	19,56	37,62	5,16	-	-	-	34,18	1576,81	11,19	47,22
28	14,54	19,3	38,51	5,38	-	-	-	35,55	1587,93	10,36	46,36
29	14,51	18,04	37,88	5,28	-	-	-	34,9	1534,81	9,27	41,66

30	14,51	20,27	38,37	5,29	-	-	-	34,98	1602,34	11,99	49,98
31	14,42	20,13	38,35	5,34	-	-	-	35,56	1573,95	11,8	48,4

Sub-series #4	a0	b0	Rm	$\{\epsilon\}$ FMax	RB	$\{\epsilon\}$ Break	$\{\epsilon\}$ Break	$\{\epsilon\}$ Fmax.	E	F-E1	F-E2
n = 5	mm	mm	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	N	N
{ol x}	14,5	19,46	38,15	5,29	-	-	-	35,03	1575,17	10,92	46,72
s	0,0451	0,8884	0,38	0,08	-	-	-	0,57	25,17	1,12	3,14
{ny}	0,31	4,57	0,99	1,57	-	-	-	1,62	1,6	10,27	6,72
P({my} {le}) = 0,95	14,55	20,56	38,61	5,39	-	-	-	35,74	1606,46	12,32	50,63
P({le} {my}) = 0,95	14,44	18,36	37,68	5,19	-	-	-	34,33	1543,88	9,53	42,82