

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

LIBRARY

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

1954

Vysoká škola:

Katedra:

Fakulta:

Školní rok:

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro

obor

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu:

Pokyny pro vypracování:

Autorské právo se řídí směrnici
MŠK pro státní závěrečné zkoušky
zpracování za účelem
převzetí. Tato směrnice
zpracování závěrečných zkoušek.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TĚŽEBNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 6
FSC 401 17

Vysoká škola: strojn^í a textiln^í
Fakulta: strojn^í

Katedra: tváření a plastů
Školní rok: 1980/81

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro s. Vlastislava P o k o r n ě h o
obor strojírenská technologie

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: " Měření vzpěrné pevnosti skořepin nerotačních
tvarů z plastů."

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte příslušnou literaturu o vzpěrné pevnosti skořepin nerotačních zvarů .
2. Navrhněte vhodnou metodiku zkoušení skořepin.
3. Posuďte dosažené výsledky měření s teoretickými výpočty.
4. Posuďte dosažené výsledky vlastních měření.
5. Analyzujte výsledky a vyvoďte závěr pro praxi.

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962. Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

V 179/1989 S
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
FSC 461 17

Rozsah grafických prací: --

40 - 50 stran včetně dokumentace

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

1. WINDHAUS, G.: Verpackung-Rundschau. Str. 61-66 č. 8. 1977
2. - Norma DIN 53 121
3. STRÍŽ : Přiřazenost a pevnost-učební texty VŠST Liberec, 1979.
4. PLACAK, V.-KUNA, J.: Výpočet napjatosti skořepin. SNITL, Praha 1966
5. GOREA TOV, N.-VALENTA, J.: Statika skořepin a skořepinových částí, SNITL Praha 1972.

Vedoucí diplomové práce: Ing. J. Krebs, CSc

Konsultanti: Ing. Anna Šolcová

Datum zadání diplomového úkolu: 6.10.1980

Termín odevzdání diplomové práce: 22.5.1981

Doc. Ing. J. Těš, CSc
Vedoucí katedry



Doc. RNDr. B. Stríž, CSc
Děkan

v Liberci dne 6.10. 1980.

* Historiografická příloha k 100. výročí narození
rybnického básníka a publicisty Karla Litvina *

V Jaroslavi, dne 13. srpna 1997

Vladislav Pokorný

Obsah

1. Seznam použitých zkratek a symbolů
- 1.1. Úvod
2. Elastické kusky v obalové technice
- 2.1. Vyráběné kusky vyfukovaných obalů
- 2.2. Druhy plastů pro vyfukované obaly
3. Skončení a skoušení vyfukovaných obalů
- 3.1. Společné označení
- 3.2. Skončení vyfukovaných výrobků
- 3.3. Návrh metody skoušení skořepin narostlých tvrdě z plastů, měření a výpočet vzpěrné pevnosti
- 3.3.1. Postup zjištění ohybové tuhosti
4. Aplikace návrhu metody skoušení vzpěrné pevnosti
- 4.1. Volba výrobku ke skončení
- 4.2. Experimentální část
- 4.2.1. Zjišťování specifické ohybové tuhosti
- 4.2.2. Měření tloušťky stěn skořepin
- 4.2.3. Měření rozměru skořepin
- 4.2.4. Výsledky řešení vzpěrné pevnosti pro zvolené výrobky
- 4.2.5. Stanovení kritické síly stráty stability a její závislosti na výšce skořepin
5. Zhodnocení výsledků
- 5.1. Porovnání vypočtených hodnot s výsledky měření
6. Závěr
7. Seznam použitých literatury
8. Seznam příloh

1. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

- E ... modul pružnosti /MPa/
B ... délka bočních stěn skořepiny /mm/
H ... šířka bočních stěn skořepiny /mm/
L ... výška bočních stěn skořepiny /mm/
t ... tloušťka stěn skořepiny /mm/
S_e ... specifická ohybová tuhost ve směru rovnoběžném s podélnou osou skořepiny /N mm/
S_q ... specifická ohybová tuhost ve směru kolmém k podélné ose skořepiny /N mm/
T_e ... tuhost stěny o délce B /N mm²/
T_q ... tuhost stěny o šířce H /N mm²/
b ... šířka zkušebního tělesa /mm/
l₀ ... délka zkušebního tělesa /mm/
ΔF ... přírůstek síly /N/
Δy ... přírůstek průhybu /mm/
l ... vzdálenost podpor /mm/
F_{kr} ... kritická síla /N/
P_{vz} ... vzpěrná pevnost /N/

1.1. ÚVOD

Trvalý rozvoj a posilování materiálně technické základny, při budování naší rozvinuté socialistické společnosti, jsou jednou z nejdůležitějších podmínek pro upevnění ekonomické základny.

XVI. sjezd KSČ ve svých závěrečích jasně formulovala směrnice dalšího rozvoje našeho národního hospodářství. Jednou z hlavních složek dynamického rozvoje je strojírenský průmysl, který nemalou měrou přispívá k intenzivnímu růstu celé průmyslové základny.

Na plastické hmoty, které v současné době patří k nejdůležitějším materiálům uplatňujícím se ve všech sférách národního hospodářství, se klade stále větší důraz. Mezi nejvýznamnější ekonomické důvody uplatnění plastických hmot patří náhrada a úspora deficitních materiálů, především neželezných kovů a speciálních slitin. Dalším ekonomickým činitelem je životnost plastů ve srovnání s životností kovů, který je zejména v korozním prostředí mnohonásobně vyšší. Neméně důležitým faktorem je nízká měrná hmotnost plastů, která se projevuje zejména v přepravní technice, kde umožňuje šetřit pohonné hmoty našemu hospodářství.

Zavádění plastických hmot jako plnohodnotného konstrukčního materiálu se všemi jeho výhodami je podmíněno zvýšením úrovně technické dokumentace, vytvoření potřebných norem, směrnic a předpisů, jinak nastává nezbytně zaostávání za světovým vývojem a tím dochází i ke značným národohospodářským ztrátám.

Široké uplatnění plastických hmot je nejen ve strojírenství, stavebnictví apod., ale i obalové technice, kde si získává dominantní postavení.

Obalové materiály z plastů umožňují optimální volbu z velké škály druhů s rozdílnými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi. Jejich rozšíření závisí na volbě způsobu jejich zpracování. Jednou z velmi progresivních metod je technologie vyfukování. Vývojem si získala pevnou pozici mezi ostatními technologiemi zpracování plastů. Vlastnosti vyfukovaných výrobků jsou ovlivněny různými faktory, mezi které patří zejména: materiál, geometrický tvar, tloušťka stěny a její rovnoměrnost.

Rychlý rozvoj výroby plastů způsobuje, že se v některých oblastech teoretický výzkum opožďuje za praktickým využitím plastů a teorie dosud není schopna některé jevy uspokojivě vysvětlit.

Úkolem diplomové práce je navrhnout vhodnou metodiku zkoušení vzpěrné pevnosti u nerotačních výrobků z plastů. Problematika nerotačních výrobků nebyla dosud dostatečně zkoumána, jak bylo možno posoudit z dostupných materiálů.

2. PLASTY V OBALOVÉ TECHNICE

Z plastů lze vyrobit obaly různých tvarů a velikostí, které mohou být: tuhé, polotuhé, měkké, lehčené, s hladkým nebo profilovaným povrchem. Jsou to materiály, které se v obalové technice prosadily i pro své specifické vlastnosti: tažnost, smrštitelnost, tvárnost, odolnost proti mechanickým namáháním a klimatickým vlivům. V posledních letech plasty stále více vytlačují v obalové technice klasické materiály např. papír, celofán, sklo atd..

Na výrobky z plastů jsou kladeny požadavky z hlediska uživatele na plnění všech funkcí na požadované úrovni. S tím souvisí, vysoká provozní jistota, optimální životnost a estetické řešení. V neposlední řadě i nízké výrobní náklady a hlavně cena úměrná technické úrovni. Musí být respektovány podmínky na bezpečnou přepravu.

2.1. VYRÁBĚNÉ TVARY VYFUKOVANÝCH OBALŮ /8/

Duté nádoby vyfukované z plastů mají rozdílnou velikost a tvar, podle toho pro jaké účely jsou určeny. Nádoby lze takto rozdělit do dvou hlavních skupin.

Do 1. skupiny se zařazují nádoby s převažujícím technickým charakterem a posláním vytvořit spolehlivý obal pro přepravu kapalných či sypkých hmot. Jejich velikost bývá většinou nad objem 1l a hlavní pozornost při konstrukci se soustřeďuje na účelnost výrobku.

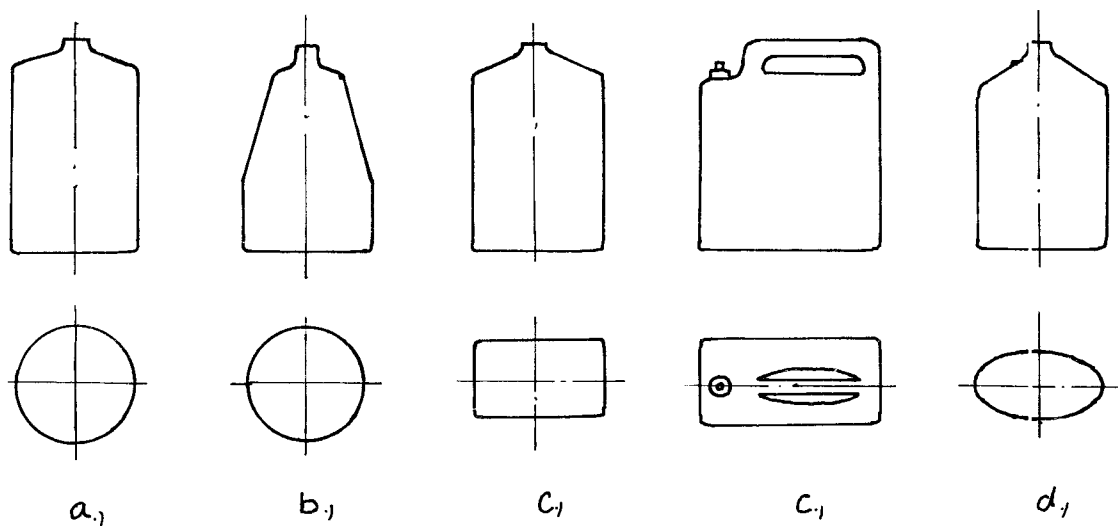
Do 2. skupiny se zařazují nádoby u nichž kromě funkce obalu je nutné respektovat i vzhled výrobku. Jedná se o různé lahve, k balení kosmetických a čistících prostředků, rozmanitých tvarů.

Podle tvarů se vyfukované obaly dále třídí:

- obaly rotačního tvaru, které mohou být válcovitého jednoduchého tvaru (a), válcovitého tvaru s vystužujícími elementy po obvodě, kuželovitého tvaru a kombinovaného tvaru obsahující např. části válcového a kuželového průřezu (b).

- obaly nerotačního tvaru s jednou nebo více rovinami souměrnosti, čtvercového, obdélníkového (c) nebo eliptického průřezu (d).

- obaly asymetrického tvaru



obr.2.1. - 1

Uvedené třídění vyfukovaných obalů do skupin geometricky si podobných tvarů je vhodné proto, aby bylo možno použít pro určitou skupinu analogického postupu při výpočtu, neboť geometrický tvar do značné míry ovlivňuje konkrétní mechanické vlastnosti výrobku.

2.2. DRUHY PLASTŮ PRO VYFUKOVANÉ OBALY

Při volbě plastů pro vyfukované výrobky se musí přihlížet k mnoha faktorům, daným z hlediska spotřebitelských požadavků. Mezi nejdůležitější patří, tepelná a chemická

odolnost, mechanické vlastnosti, prostup vodních par, plynů atd..

Pro vyfukované obaly se nejčastěji používají, polyetylen, polyvinilchlorid, polypropylén. V našem státě je z hlediska procentuálního použití, na prvním místě lineární polyetylen, následuje rozvětvený polyetylen a v menším množství polyvinilchlorid, polypropylén.

Nejrozšířenější hmotou v této oblasti je tedy polyetylen, u kterého, jak již bylo předesláno, rozlišujeme dva základní typy. Rozdělují se v zásadě podle rozvětvení makromolekul na lineární a rozvětvený. Tyto se od sebe liší svými vlastnostmi, podle kterých je dáno jejich použití.

Lineární polyetylen vykazuje vyšší mechanické hodnoty a tepelnou odolnost, která je výborná při velmi nízkých teplotách a naopak i při 100°C vykazuje tvarovou stálost. U rozvětveného polyetyleny je tato tvarová stálost, o více jak 10°C nižší. Chemická odolnost je dobrá, za normálních teplot odolávají organickým rozpouštědlům, neoxidujícím kyselinám, louhům, vode atd.. K nevýhodám patří neprůhlednost v silnějších vrstvách, nejsou odolné proti oxidujícím látkám a nepolárním rozpouštědlům, nesnadné potiskování, velká smršťivost se, kterou se musí počítat při návrhu forem. Lze je zpracovávat téměř všemi technologiemi.

Polypropylén je hmota, která se značně podobá svými mechanickými vlastnostmi, chemickou a tepelnou odolností lineárnímu polyetyleny. Oproti němu je však tvrdší a má nižší měrnou hmotnost. V současné době se v zahraničí uplatňuje tzv. "K - série" polypropylenu, jedná se o modifikaci, která je dokonale průhledná odolnější proti otěru, teplu a vzniku trhlin napětím.

Pro výrobu vyfukovaných výrobků se používá modifikace tvrdého polyvinilchloridu. Tato hmota má velmi dobré mechanické vlastnosti, zejména pevnost v tahu, zhotovené obaly mohou mít menší tloušťku stěn. Chemická odolnost je výborná, odolává za normálních teplot zředěným i koncentrovaným organickým i anorganickým kyselinám, luhům, oxidačním látkám. Je to hmota průhledná, dobře potiskovatelná a z bezpečnostního hlediska je výhodná její špatná hořlavost. Nevýhodou je malá teplotní odolnost.

Velmi důležité hledisko při volbě materiálu hraje jeho cena. U polyetylenu a polypropylenu se uvádí jako nízká u polyvinilchloridu jako střední.

3. NAMÁHÁNÍ A ZKOUŠENÍ VYFUKOVANÝCH OBALŮ

3.1. ZPŮSOBY NAMÁHÁNÍ /7/

Druh a velikost namáhání u vyfukovaných nádob z plastů je závislé na jejich použití a pracovních podmínkách. Tyto podmínky jsou dány podnikovými normami výrobních závodů. Lahve, sudy i kanystry jsou určeny pro skladování a manipulaci na stojato.

Statické namáhání:

Při volném postavení naplněné nádoby působí pouze hydrostatický tlak. Mnohem nepříznivěji je namáhána nádoba, která je naplněna kapalinou a zároveň zavěšena. V takovém případě je zatížena hydrostatickým tlakem kapaliny a zároveň osovou silou. Velikost osově síly je závislá na hmotnosti kapaliny, kterou nádoba obsahuje.

U velké většiny sudů, kanystrů, ale i lahví menších objemů balených do smrštitelných folií, přichází v úvahu skladování stohováním. V tomto případě jsou nejnižší umístěné nádoby zatíženy osovou silou, kterou vyvolává hmotnost nádob na nich postavených. Zatížení osovou silou je tak velké, že vliv hydrostatického tlaku kapaliny na namáhání možno zanedbat. Dalšímu zatěžování osovou silou je výrobek vystaven při plnění, kdy dochází k přitlačení plnicí trysky na plnicí otvor a při uzavírání, kdy je zátka narážena na plnicí otvor. Zde přistupuje k namáhání ještě kroutící moment, protože uzávěr je narážen za rotace.

Dynamické namáhání:

Protože obaly slouží k přepravě, je nutno uvažovat o vlivu dynamických účinků, které zhoršují hodnoty namáhání. Bez trvalých následků musí vydržet pády z předepsaných výšek.

3.2. ZKOUŠENÍ VYFUKOVANÝCH VÝROBKŮ

Prováděním zkoušek hotových výrobků se ověřuje trvalá jakost a jejich funkční spolehlivost pro daný účel. Opodstatněnost vykonávání zkoušek spočívá v tom, že vlastnosti materiálu jsou ovlivněny technologií zpracování. Proto je účelné provádět zkoušky hotových výrobků, takovým způsobem namáhání, které se vyskytuje v praxi. Nádoby z plastů jsou podrobovány řadě zkoušek, které umožňují stanovení houževnatosti, tuhosti, odolnosti proti nárazu, stabilitu tvaru atd.. Podle výsledků zkoušek zpětně dochází ke konkrétním úpravám výrobku.

Mezi nejdůležitější patří:

1. Pádová zkouška - zkoumá dynamický účinek, který vzniká při pádu tělesa z určité výšky. Umožnila např. poznání, že výrobky hodnocené jako pevné - tuhé, mohou překvapivě praskat křehce.
2. Zkouška vnitřním přetlakem - nádoby jsou porušovány vnitřním přetlakem, který může vzniknout v důsledku objemových změn náplně při zahřátí. Tato zkouška velmi dobře stanoví nejslabší místa obalů a všechny případné netěsnosti.
3. Zkouška pevnosti držadel - velké lahve a kanystry jsou opatřeny držadly. Zkouška zkoumá deformaci, která vznikne po naplnění nádoby a zavěšení za držadlo po určitou dobu.
4. Stohovací zkouška - ne všechny nádoby jsou schopny snášet zatížení, jak bylo již předesláno, které vznikají při jejich plnění, uzavírání a stohování. Tato zkouška ověřuje odolnost nádob proti jednostranému zatížení osovou silou. Příslušná zkouška, při které jsou jednotlivé díly zatěžovány stoupajícím tlakem až do selhání, se označuje podle normy DIN 55440, jako zkouška pěchováním.

Celá řada dalších zkoušek a kontrol dává celkový obraz o chování zhotoveného výrobku. Při tomto způsobu navrhování a ověřování nových nádob však nelze vyloučit nutnost některých úprav. Toto je velice nepříznivé zejména při nákladných úpravách forem. Proto bylo žádoucí vypracovat odpovídající teorii, která by sloužila k výpočtu dimenzí vyfukovaných výrobků z hlediska statického namáhání. Pro rotační výrobky byl již tento problém úspěšně vyřešen, pro zatěžování osovou silou, na základě nelineární teorie stability při použití vztahů z pružnosti a pevnosti. Rozložení napětí po stěně rotační nádoby se zabývali ve Výzkumném ústavu materiálů v Praze, pomocí metody konečných prvků za použití číslicového počítače.

Pro nerotační tvary nádob, jejichž teoretický rozbor je mnohem složitější, nebyla dosud vhodná teorie pro dimenzi výrobku stanovena.

3.3. NÁVRH METODIKY ZKOUŠENÍ SKOŘEPIN NEROTAČNÍCH TVARŮ Z PLASTŮ, MĚŘENÍM A VÝPOČTEM VZPĚRNÉ PEVNOSTI /1/

Protože nebyla pro zkoumání nerotačních skořepin z plastů dosud stanovena vhodná výpočtová metodika měření vzpěrné pevnosti, bylo při návrhu použito výzkumů stohovatelné zátíženosti krabic z tvrzeného papíru.

Vychází z předpokladů, že lze použít elastickou tuhost v ohybu pro stanovení vzpěrné pevnosti. Z řady navrhovaných empirických výpočtů se nejvíce přiblížila k dosahovaným praktickým výsledkům metoda určení vzpěrné pevnosti pomocí ohybové tuhosti.

Ohybová tuhost je veličina vztažená na šířku pásku (vzorku) a lze z ní vypočítat tuhost kolmo stojící stěny. Je-li délka stěny B a výška L , budou se hodnoty ohybové tuhosti v podélném i příčném směru násobit odpovídajícím

rozměrem stěny. Z geometrického průměru obou těchto hodnot se vypočítá tuhost boční stěny o délce B a výšce L:

$$T_x = \sqrt{S_x \cdot B \cdot S_q \cdot L} \quad (1)$$

Pro tuhost stěny o šířce H a výšce L platí obdobně:

$$T_q = \sqrt{S_x \cdot H \cdot S_q \cdot L} \quad (2)$$

Jestliže se tyto rovnice (1) a (2) sečtou a dělí se čtvercem tloušťky stěny získá se výraz mající rozměr síly. Je možno ho použít pro výpočet vzpěrné pevnosti:

$$P_{vz} = \frac{\sqrt{S_x \cdot B \cdot S_q \cdot L} + \sqrt{S_x \cdot H \cdot S_q \cdot L}}{t^2} \quad [N] \quad (3)$$

po matematické úpravě:

$$P_{vz} = \frac{\sqrt{S_x \cdot S_q \cdot L} \cdot (\sqrt{B} + \sqrt{H})}{t^2} \quad (4)$$

Výpočtem hodnot P_{vz} dle vzorce (4) a srovnáním s praktickými hodnotami získanými ze zkoušky dle DIN 55 440 se ukázalo, že hodnoty vypočtené jsou značně vyšší. Po podrobné analýze byl vzorec upraven:

$$P_{vz} = \frac{t \sqrt{S_x \cdot S_q \cdot L} (\sqrt{B} + \sqrt{H})}{\ln H \cdot t^2} \quad (5)$$

opět po matematické úpravě:

$$P_{vz} = \frac{\sqrt{S_x \cdot S_q \cdot L} (\sqrt{B} + \sqrt{H})}{\ln H \cdot t} \quad (6)$$

Tento vztah již z velké části splňoval požadavky kladené na vzájemný vztah vypočtených a praktických hodnot.

Poslední upřesnění vzorce bylo zavedením koeficientu vyjadřujícího vliv materiálu. Byl stanoven na základě mnoha měření.

$$P_{vz} = \frac{4\pi \sqrt{S_x \cdot S_q \cdot L} (\sqrt{B} + \sqrt{H})}{\ln H \cdot t} \quad (7)$$

3.3.1. POSTUP ZJIŠTĚNÍ OHYBOVÉ TUHOSTI

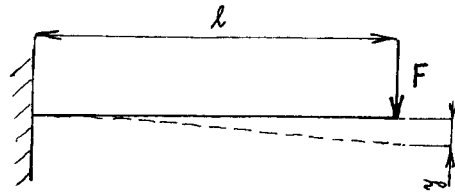
Ohybová tuhost označuje odpor, který klade vzorek prohnutí. V elastické oblasti se uplatňuje modul pružnosti E a moment setrvačnosti I vzorku. Protože ohybová tuhost závisí na šířce vzorku, vztahuje na šířku b a udává se jako specifická ohybová tuhost S.

$$S = \frac{E \cdot I}{b} \quad (8)$$

Součin $E \cdot I$ se zjistí z ohybové zkoušky na základě zatížení a průhybu. Existují tři možné způsoby zatížení:

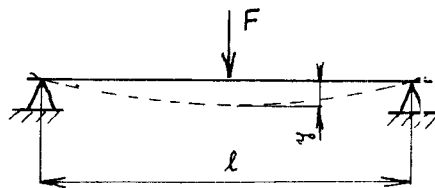
a) dvoubodové zatížení:

$$S = \frac{\Delta F}{\Delta y} \cdot \frac{l^3}{3b} \quad |Nmm| \quad (9)$$



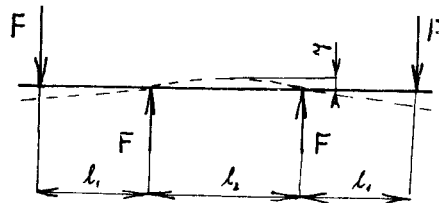
b) třibodové zatížení:

$$S = \frac{\Delta F}{\Delta y} \cdot \frac{l^3}{48b} \quad |Nmm| \quad (10)$$



c) čtyřbodové zatížení

$$S = \frac{\Delta F}{\Delta y} \cdot \frac{l_1 \cdot l_2^2}{8b} \quad |Nmm| \quad (11)$$



Ohybová tuhost se musí jak udává vzorec (6) zjišťovat ve dvou směrech. Jsou definovány jako směr rovnoběžný s podélnou osou a kolmý na podélnou osu výrobku. Toto zkoumání ve dvou směrech je nutné, protože při technologii zpracování dochází k orientaci makromolekul a výrobky z plastů pak nejsou izotropními tělesy. V důsledku anizotropie jsou vlastnosti v různých směrech rozdílné.

Z ohybové zkoušky zjištěná závislost síly a průhybu se musí v lineární části grafu proložit optimální přímkou.

Pro její stanovení je nejlépe využít metody nejmenších čtverců. Při měření většího počtu vzorků se výsledná hodnota ohybové tuhosti určí po dosazení průměrné hodnoty $\Delta F/\Delta y$ do vzorce 9, 10, 11.

4. APLIKACE NÁVRHU METODIKY ZKOUŠENÍ VZPĚRNÉ PEVNOSTI NEROTAČNÍCH SKOŘEPIN

4.1. VOLBA VÝROBKŮ KE ZKOUŠENÍ

Výroba obalů z plastů nerotačního tvaru nemá dosud takovou kvantifikační úroveň, jako u obalů rotačních tvarů. Výběr výrobků, které by mohli co nejpříznivěji odpovídat účelům měření byl omezen. Obtížnost výběru ještě zdůrazňovala potřeba výrobků s co nejpřesnějším čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem.

- 1) Zvolil jsem láhev 563 313 o objemu 1 l, výrobce: Rimavan, Rimavská Sobota, obr. 4.1. - 1. byla zhotovena z materiálu typu - polyeten rozvětvený, Bralen RB 03 - 23
materiálové vlastnosti:
hustota: $923 \text{ /kg m}^3 \text{ /}$
modul pružnosti: $250 \div 350 \text{ /MPa/}$
- 2) Láhev 420, výrobce VD Směr Praha, obr. 4.1. - 2. byla zhotovena z materiálu typu: rozvětvený polyetylen, Bralen RB 03 - 23
materiálové vlastnosti:
hustota: $923 \text{ /kg m}^3 \text{ /}$
modul pružnosti: $250 \div 350 \text{ /MPa/}$
- 3) Krabička "Super" 151 199, výrobce: n. p. Plastimat Liberec, obr. 4.1. - 3. byla zhotovena z materiálu typu: polypropylen, Mosten 52 492 bílý
materiálové hodnoty:
hustota $895 \div 910 \text{ /kg m}^3 \text{ /}$
modul pružnosti: 932 /MPa/

Výrobek, krabička 151 199, byl zhotoven vstřikováním. Mezi vyfukované výrobky byl zvolen z důvodu rovnoměrné tloušťky

stěn a přesných rozměrů, což byl předpoklad pro co nejmenší ovlivnění výpočtu i praktického měření při ověřování zvoleného návrhu metodiky.

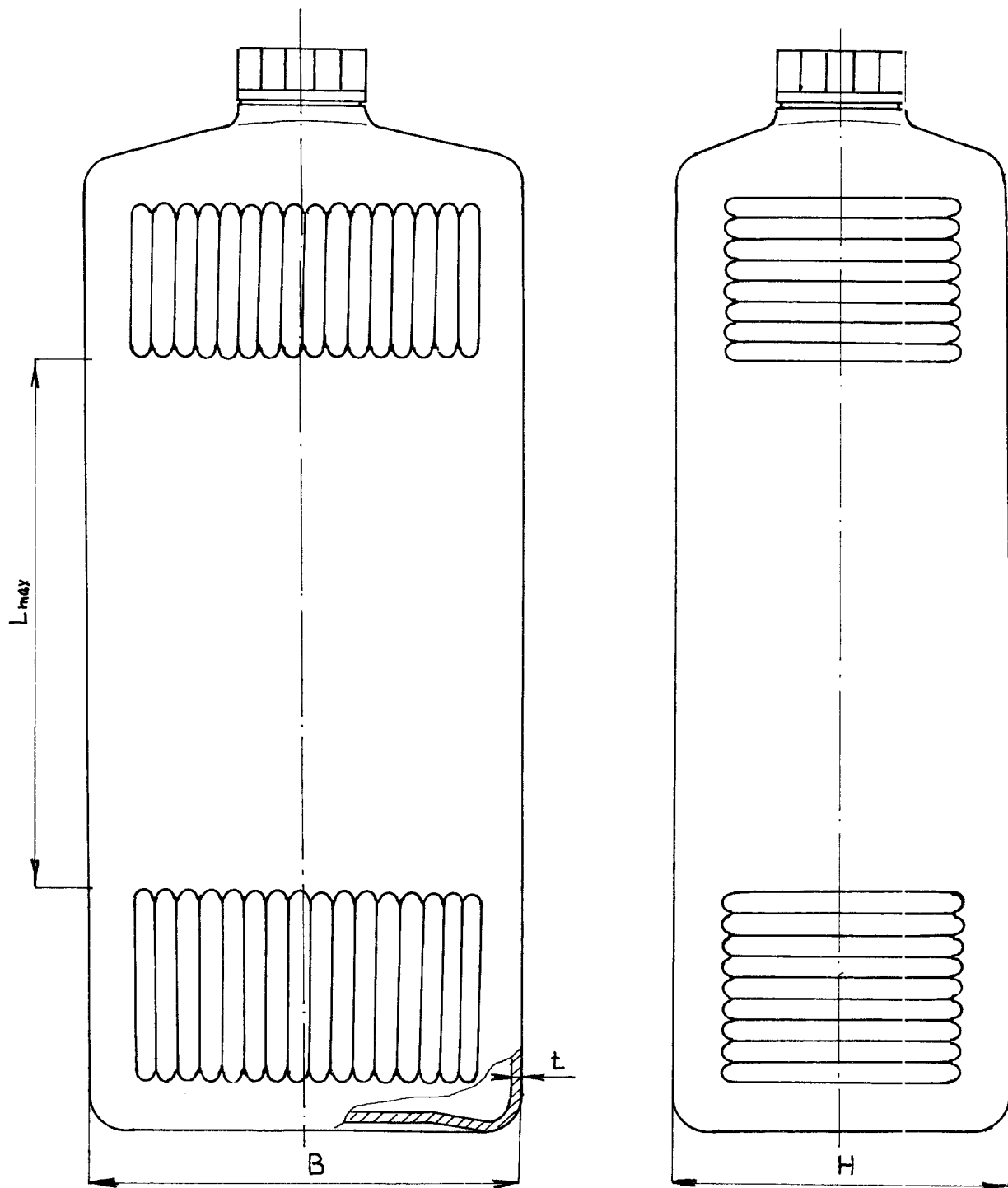
4) Láhev 380 139, výrobce n. p. Plastimat Liberec, obrázek 4.1. - 4. byla zhotovena z materiálu typu: lineární polyetylen, Liten BB 29 bílý 909
materiálové hodnoty:

hustota: $950 \div 960 \text{ /kg m}^3\text{ /}$

modul pružnosti: $750 \div 966 \text{ /MPa/}$

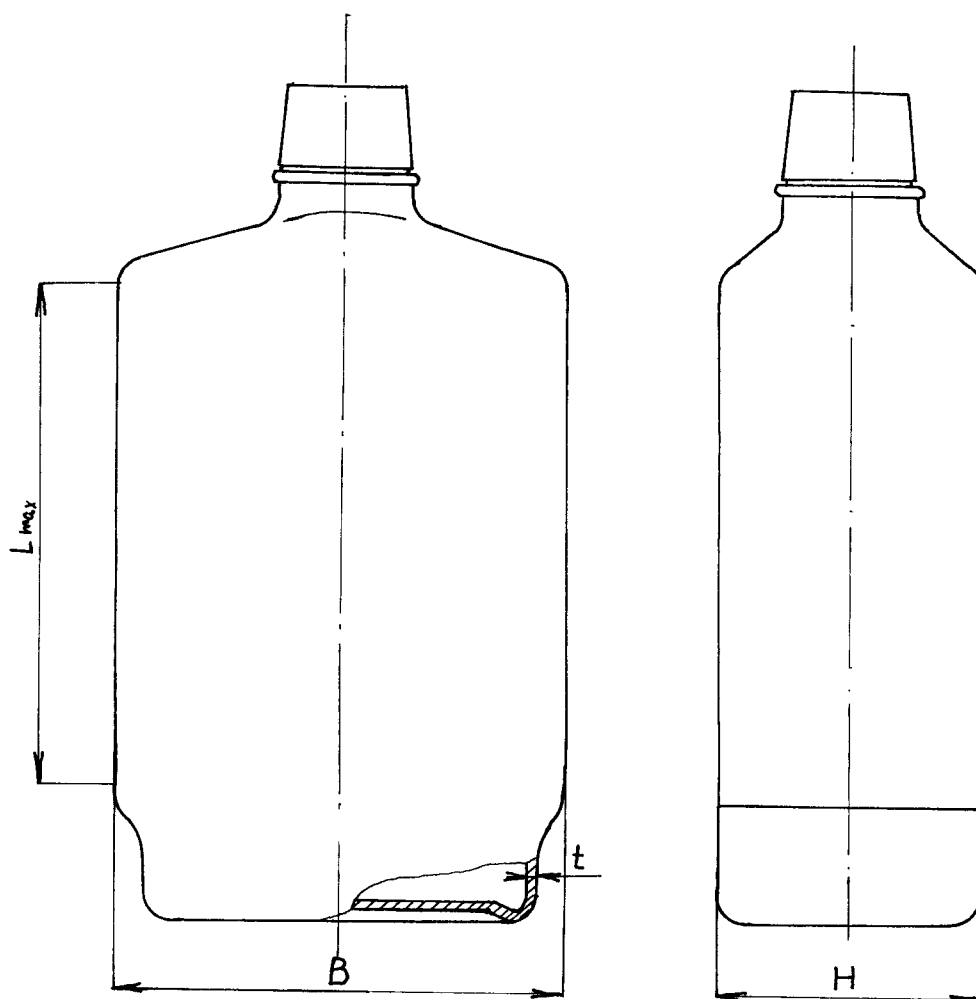
Láhev 380 139 byla poskytnuta n. p. Plastimat v dostatečném množství, svými rozměry se však blížila spíše elipsovitému průřezu, což neodpovídalo výchozímu předpokladu pro zvolenou metodiku. Z tohoto důvodu bylo u ní informačně zjištěna pouze tloušťka a závislost kritické síly ztráty stability na výšce skořepin.

lahev 563 313



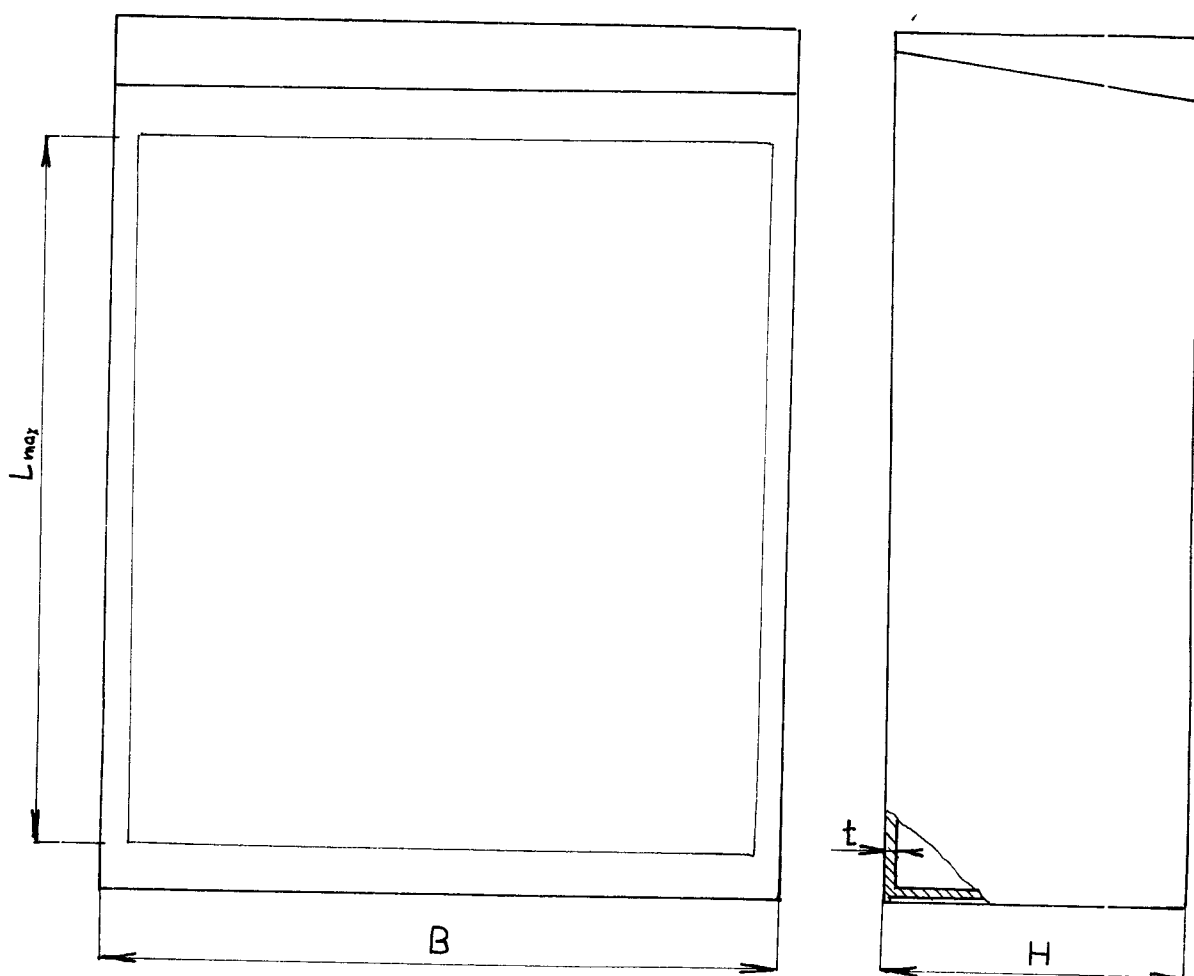
obr.4.1. - 1

lahev 42



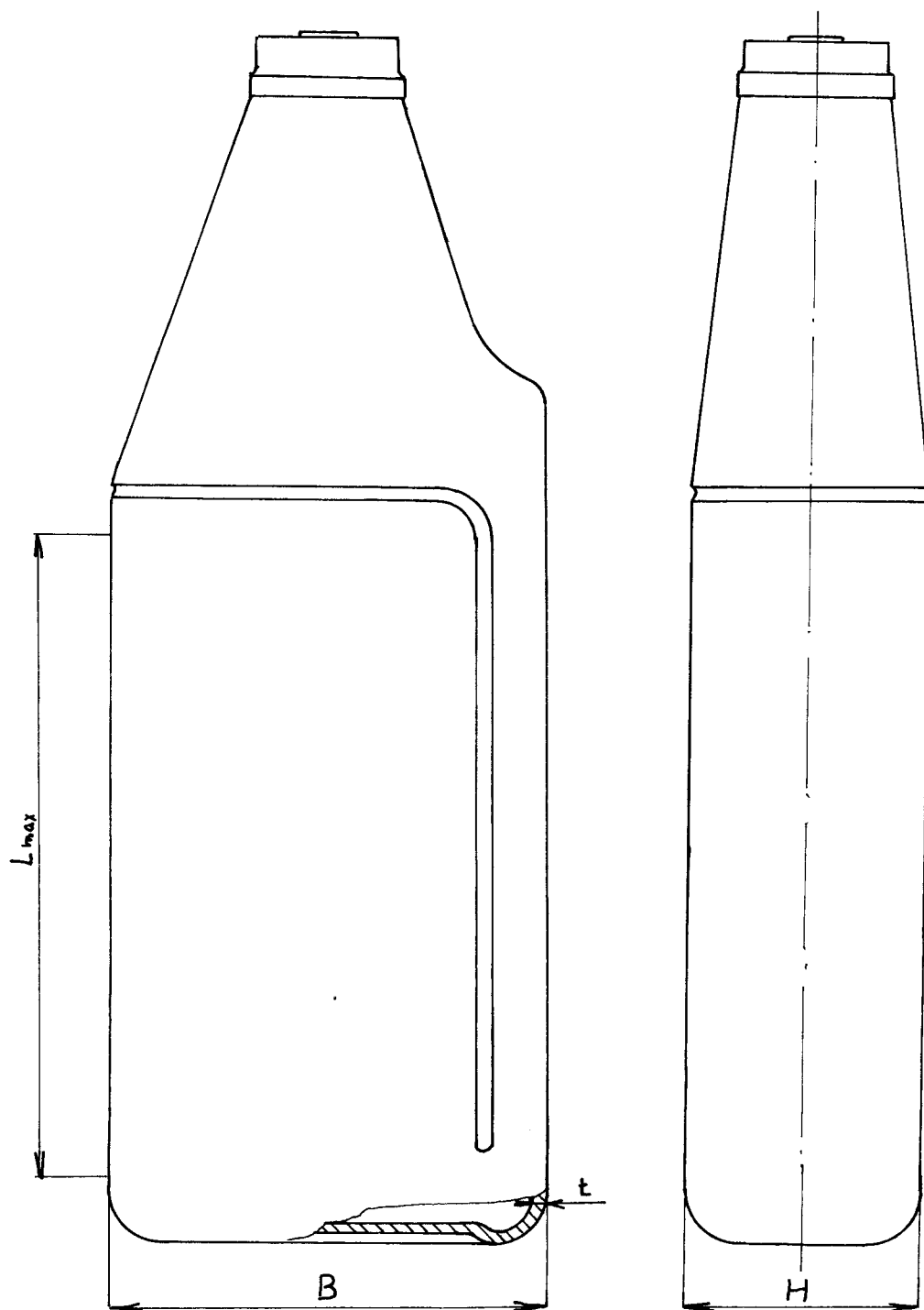
obr. 4.1. - 2

knabička 151 199



obr.4.1, - 3

lahev 38 139



obr. 4.1. - 4

4.2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Všechna měření v této praktické části diplomové práce byla konána na zařízeních v laboratoři KTP. Zkoušky byly prováděny při teplotě 23°C. Byly dodržovány všechny dané podmínky zkoušení, aby byla umožněna srovnatelnost při dalších měřeních.

4.2.1. ZJIŠŤOVÁNÍ SPECIFICKÉ OHYBOVÉ TUHOSTI

S ohledem na vybavení laboratoře KTP bylo měření prováděno metodou tříbodového zatížení. Ke stanovení podmínek pro zjištění specifické ohybové tuhosti bylo použito normy DIN 53 121. Protože se tato norma týká měření vlastností lepenkových krabic, bylo pro stanovení závislosti $\Delta F/\Delta y$ z ohybové zkoušky, použito normy ČSN 64 06 07 pro plastické hmoty.

Zkušební zařízení:

Z ohledem na rozměry zkoumaných skořepin a z nich plynoucí maximální rozměry zkušebních těles, bylo použito k stanovení závislosti zatížení a průhybu, přístroje pro ohybovou zkoušku mikrotěles z plastů.

Tento měřicí přístroj viz. obr. 4.2.1. - 1., se skládá z měřicího stolu se stojanem, na kterém je umístěno vedení zatěžující tyčky a držák číselníkového úchylkoměru. Číselníkový úchylkoměr měřil s přesností 0,01 mm a jeho plynulé přestavení bylo zajištěno pomocí konstantního závaží, které mělo za úkol negovat vlivy zkreslující měření t.j. tření v podporách, odpor pružiny úchylkoměru. Zatěžující tyčka byla z hliníkové slitiny, aby její hmotnost neovlivňovala výsledky průhybu. Na držák tyčky se umísťovala speciální závaží známé velikosti. Měřený vzorek byl umísťován na dvou podporách, které byly stavitelné.

Jejich vzdálenost určuje norma ČSN dle vzorce:

$$l = (16t : 0,5) \text{ mm}$$

Pro jednotlivé typy zkoumaných těles byly stanoveny tyto vzdálenosti:

láhev 563 313 $l = 19 \text{ mm}$

láhev 420 $l = 15 \text{ mm}$

krabička 151 199 $l = 29 \text{ mm}$



obr.4.2.1. - 1

Zkušební tělesa:

Tělesa byla odebrána ve dvou stanovených směrech.
Pro oba směry kolmý i vodorovný s podélnou osou skořepiny,

bylo získáno vždy deset zkušebních těles tvaru dle obr. 4.2. - 2. V tomto počtu byly zastoupeny rovnoměrně tělesa ze všech obvodových stěn. Byly odebrány z míst, kde se nevyskytovaly prolisy, výztuhy nebo náhlé změny tvarů.

Stopy po mechanickém obrábění v řezných hranách musely být zabroušeny smirkovým papírem.

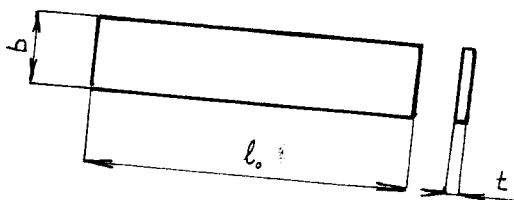
Dle normy ČSN byl pro volbu délky zkoušeného tělesa stanoven omezující vztah:

$$l_0 \geq 20 t$$

U všech typů skořepin byly rozměry těles stanoveny:

$$l_0 = 40 \text{ mm}$$

$$b = (10 \pm 0,5) \text{ mm}$$



obr.4.2.1. - 2

Postup měření:

Na odebraných zkušebních těles připravených ke zkoušce byla dle normy ČSN proměřena šířka b a tloušťka t na třech různých místech mezi podporami. Měření byla prováděna pomocí mikrometru. Zjištěné a z nich vypočtené průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 4.2.1. - 1, 4.2.1. - 2. Tloušťka, která je v tomto případě hodnotou pouze informativní, byla uvedena přímo v průměrné hodnotě.

Proměřená tělesa byla uložena na podpory měřicího zařízení a zatěžována různými hodnotami závaží. Ty byly na za-

těžující tyčku kladeny opatrně, aby případný ráz neovlivnil průhyb, který se odečítal na číselníkovém úchylkoměru. zkušební tělesa byla zatěžována konstantní dobu, stanovenou experimentálně na deset vteřin.

Získané hodnoty viz. tabulky 4.2.1. - 1., 4.2.1. - 2. závislosti zatěžující síly a průhybu byly zpracovány na katedře KTK, číslicovým počítačem RPP. Metodou nejmenších čtverců byly zpočteny určující hodnoty přímky pro optimální proložení dané závislosti. Směrnice těchto optimálních přímek jsou hledané poměry $\Delta F/\Delta y$. Z těchto hodnot byl pro dosazení do vzorce (10) stanoven průměr. Uvedené hodnoty byly zaznamenány v tabulkách 4.2.1. - 1., 4.2.1. - 2.

V uvedených tabulkách jsou zaznamenány hodnoty pro výrobek krabička 151 199, pro kterou byla zároveň vynesena, pro názornost do grafu závislost zatěžující síly a průhybu a proloženy optimální přímky obr. 4.2.1. - a., 4.2.1. - b. Obdobné tabulky pro ostatní výrobky jsou uvedeny v příloze 1.

Rozdílné hodnoty závislosti zatěžující síly a průhybu byly způsobené proměnlivou tloušťkou zkoušených těles, které byly získány z celého obvodu skořepin. Při měření zkušebních těles z rozvětveného polyetylenu, u kterých je ohybová tuhost nízká, bylo přesné zjištění velikosti průhybu obtížné. Chyba byla vnesena i nepřesnostmi při odečítání na měřicím přístroji.

Typ výrobku: krabička 151 199

Směr odebírání těles: kolmo na podélnou osu

F /N/	y / mm /									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,18	0,07	0,04	0,07	0,08	0,06	0,11	0,10	0,10	0,07	0,08
1,40	0,10	0,09	0,09	0,11	0,09	0,14	0,15	0,14	0,11	0,11
1,75	0,14	0,13	0,13	0,15	0,13	0,16	0,16	0,17	0,15	0,13
1,88	0,18	0,16	0,15	0,16	0,15	0,17	0,19	0,19	0,17	0,15
1,96	0,20	0,19	0,17	0,19	0,18	0,20	0,21	0,20	0,20	0,17
2,09	0,24	0,21	0,19	0,21	0,20	0,25	0,24	0,23	0,22	0,19
2,26	0,28	0,25	0,21	0,25	0,23	0,29	0,28	0,25	0,26	0,23
2,38	0,31	0,31	0,23	0,27	0,27	0,32	0,30	0,29	0,29	0,28
2,68	0,37	0,34	0,27	0,32	0,30	0,38	0,35	0,32	0,30	0,32
2,94	0,39	0,38	0,33	0,35	0,33	0,41	0,40	0,37	0,36	0,34
3,24	0,45	0,45	0,36	0,40	0,38	0,46	0,45	0,38	0,40	0,37
3,44	0,51	0,48	0,38	0,43	0,42	0,50	0,51	0,41	0,42	0,40
3,74	0,60	0,53	0,43	0,46	0,47	0,55	0,54	0,47	0,50	0,42

b /mm/	10,12	10,22	10,36	10,45	10,42	10,25	10,01	10,14	10,38	10,45
	10,16	10,25	10,30	10,07	10,38	10,30	9,97	10,17	10,35	10,47
	10,15	10,28	10,28	10,09	10,40	10,29	10,02	10,18	10,32	10,42
∅	10,14	10,25	10,31	10,07	10,40	10,27	10,01	10,16	10,35	10,44
t /mm/	1,41	1,40	1,62	1,61	1,60	1,42	1,41	1,61	1,59	1,62
$\Delta F / \Delta y$ /N/mm/	4,81	5,01	6,69	5,67	5,42	5,58	5,54	6,87	6,32	6,93

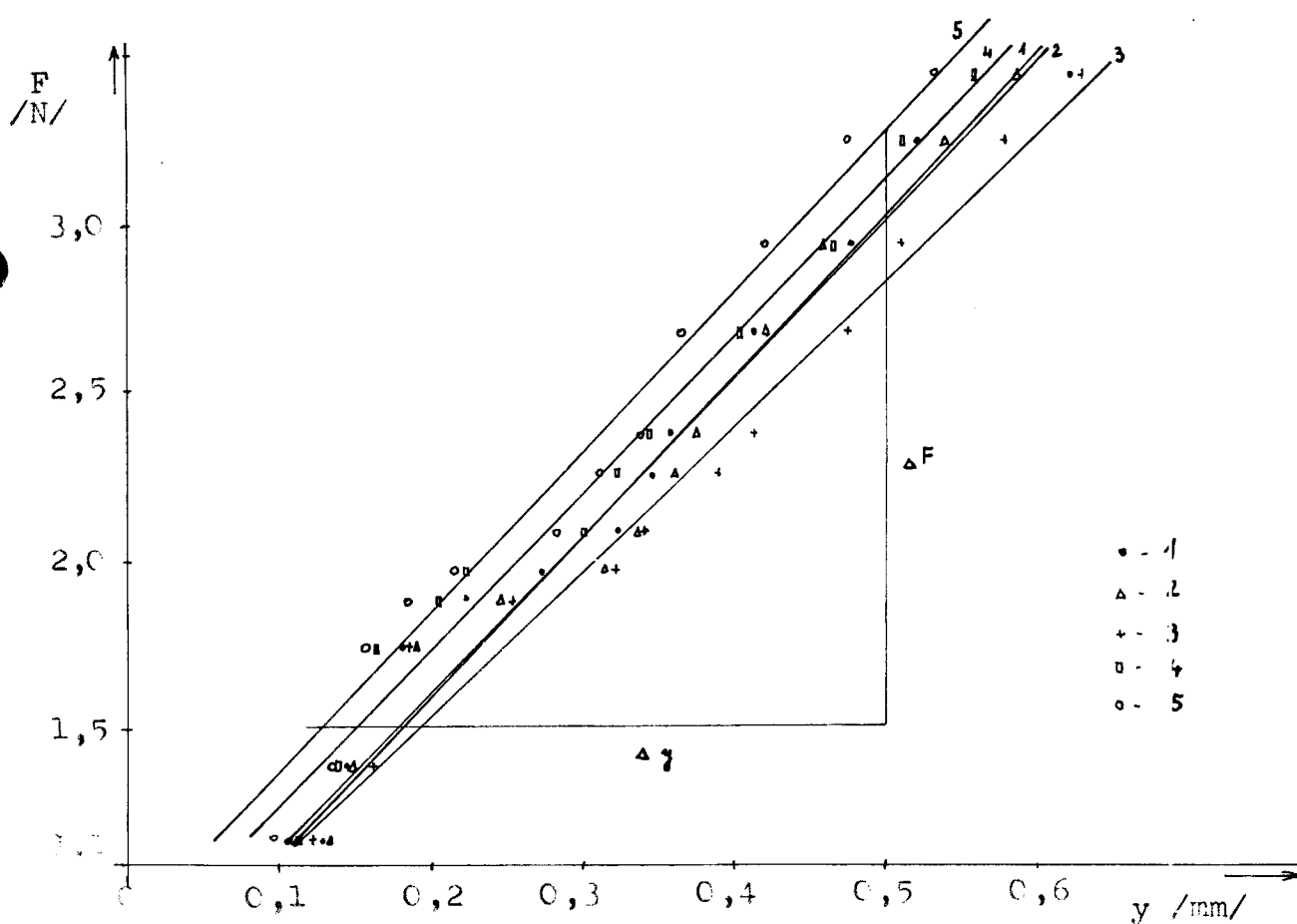
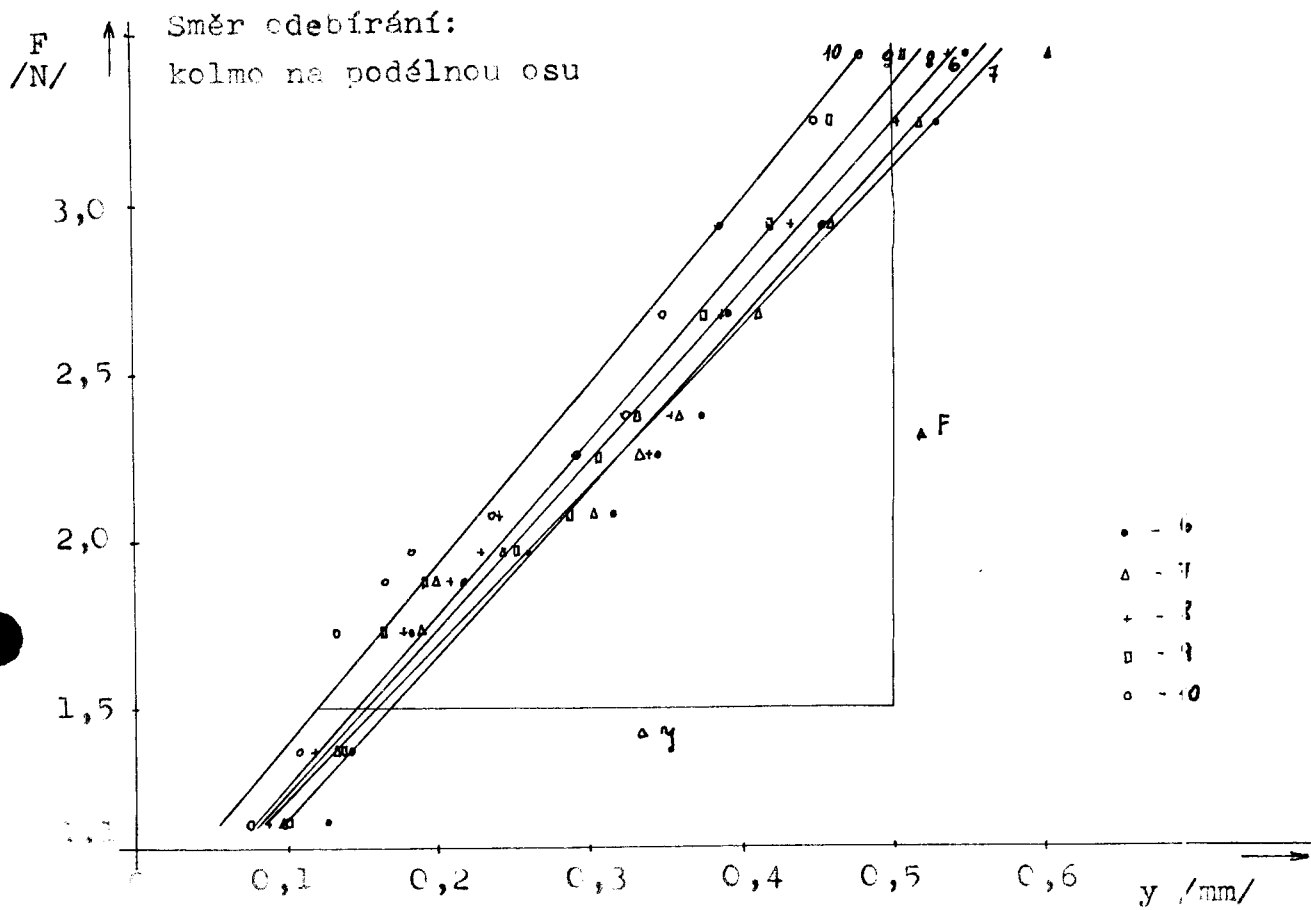
průměrná hodnota $\Delta F / \Delta y = 5,88$ /N/mm/

tab.č. 4.2.1. - 1

Typ výrobku: krabička 151 199										
Směr odebírání těles: ve směru podélné osy										
F /N/	y / mm /									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1,18	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,13	0,10	0,09	0,10	0,08
1,40	0,15	0,15	0,16	0,14	0,14	0,15	0,13	0,12	0,14	0,11
1,75	0,18	0,19	0,19	0,16	0,16	0,18	0,19	0,18	0,16	0,13
1,88	0,23	0,25	0,26	0,20	0,18	0,22	0,20	0,21	0,17	0,16
1,96	0,28	0,32	0,32	0,22	0,21	0,24	0,24	0,23	0,23	0,18
2,09	0,33	0,34	0,35	0,31	0,28	0,32	0,31	0,24	0,25	0,24
2,26	0,35	0,36	0,40	0,32	0,31	0,35	0,33	0,33	0,29	0,29
2,38	0,36	0,38	0,42	0,35	0,34	0,38	0,36	0,36	0,33	0,32
2,68	0,42	0,41	0,48	0,41	0,37	0,33	0,42	0,40	0,38	0,35
2,94	0,48	0,46	0,51	0,47	0,42	0,45	0,46	0,44	0,42	0,48
3,24	0,52	0,54	0,59	0,52	0,47	0,54	0,52	0,51	0,46	0,45
3,44	0,60	0,59	0,62	0,56	0,54	0,55	0,56	0,54	0,51	0,48
b /mm/	10,10	10,25	10,40	10,23	10,05	10,34	10,19	10,02	10,41	10,20
	10,12	10,23	10,38	10,28	10,03	10,37	10,25	9,97	10,40	10,25
	10,14	10,22	10,41	10,27	10,08	10,39	10,22	9,95	10,38	10,37
∅	10,12	10,23	10,39	10,26	10,05	10,37	10,22	9,98	10,37	10,24
t /mm/	1,39	1,40	1,38	1,41	1,60	1,62	1,59	1,62	1,63	1,61
$\Delta F / \Delta y$ /N/mm/	4,59	4,72	4,17	4,60	4,73	4,84	4,62	4,86	5,24	5,35
nominální hodnota: $\Delta F / \Delta y = 4,70$ /N/mm/										

tab.č.4.2.1. - 2

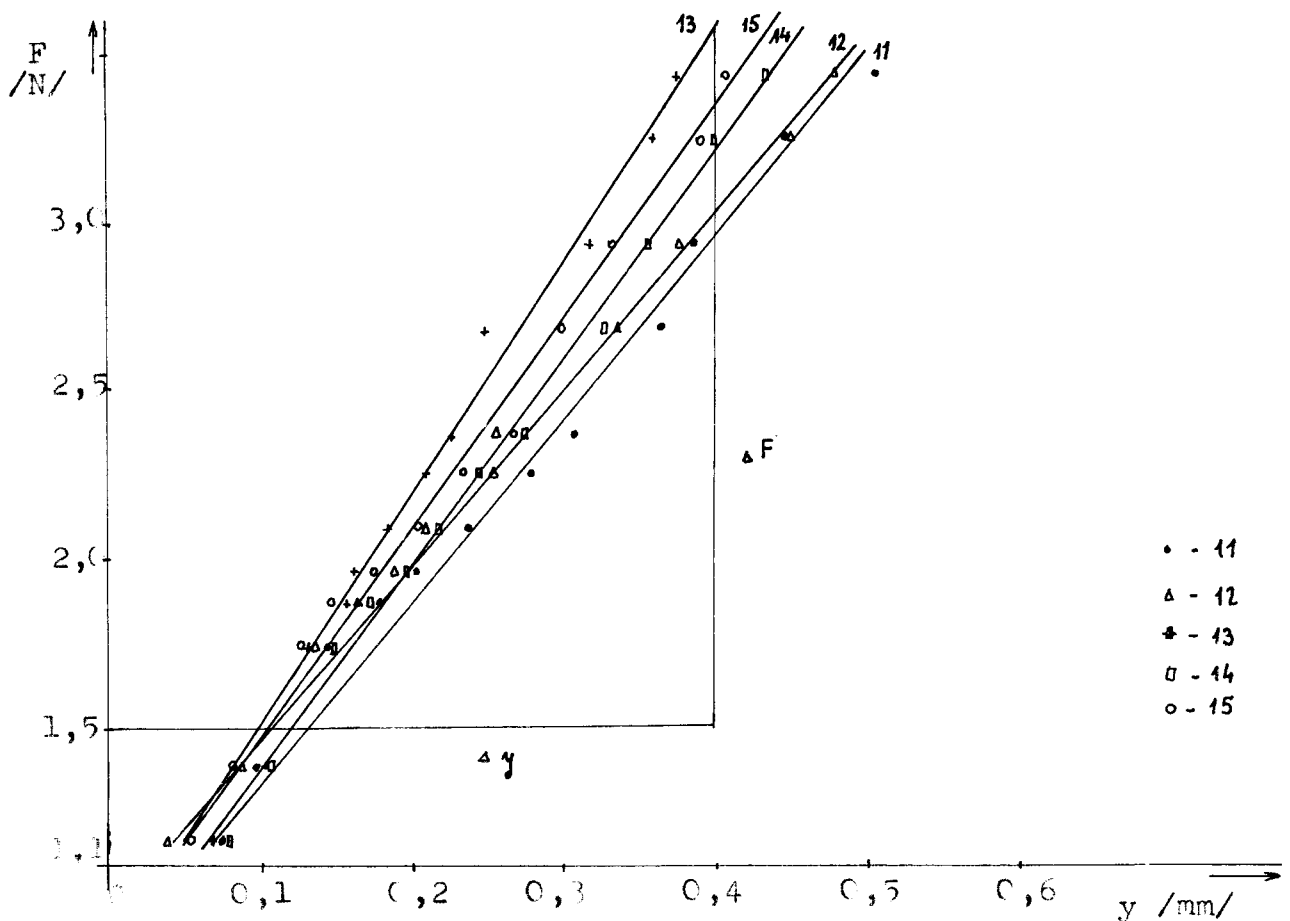
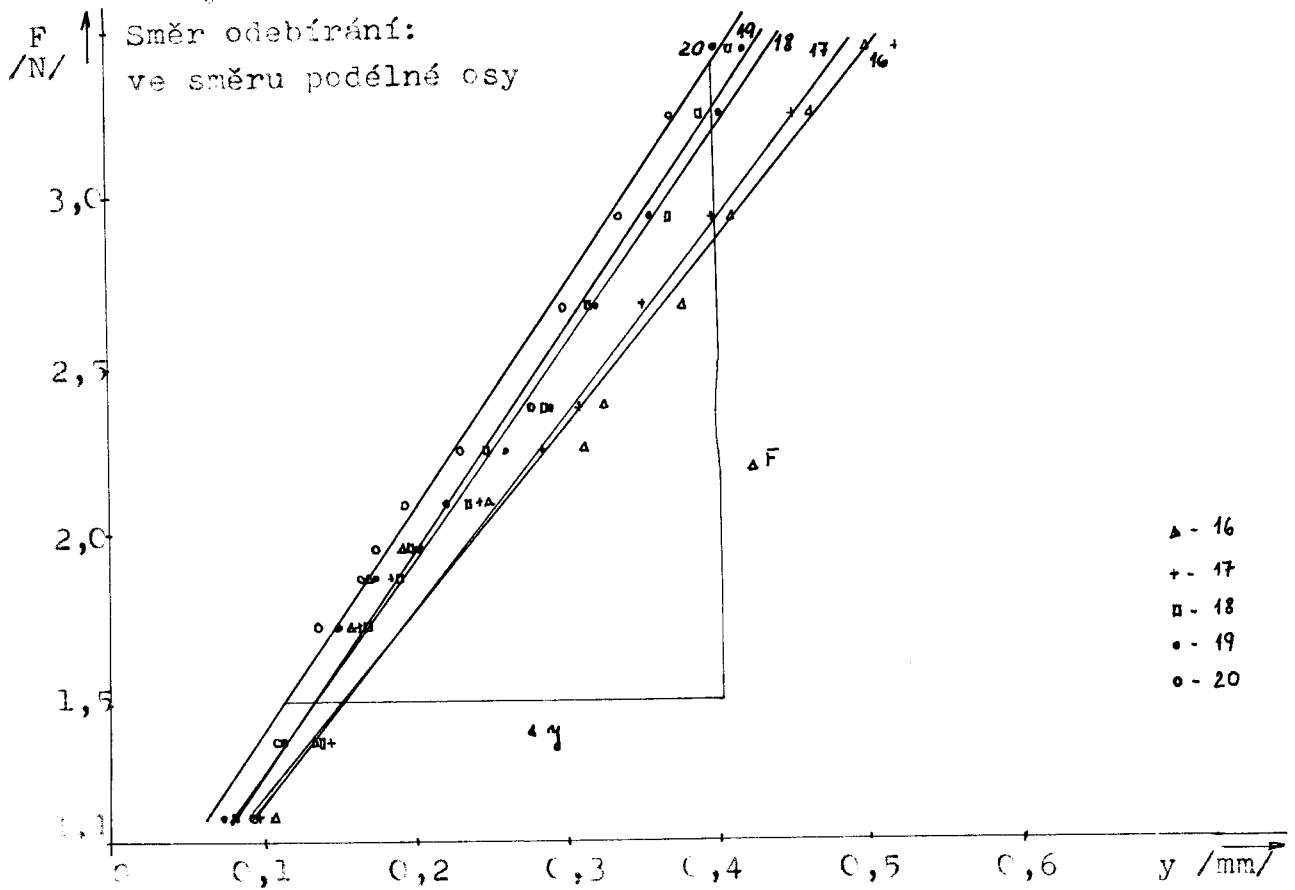
Grafy závislosti $F = f / y /$ pro krabičku 151 199



obr. 4.2.1, - a

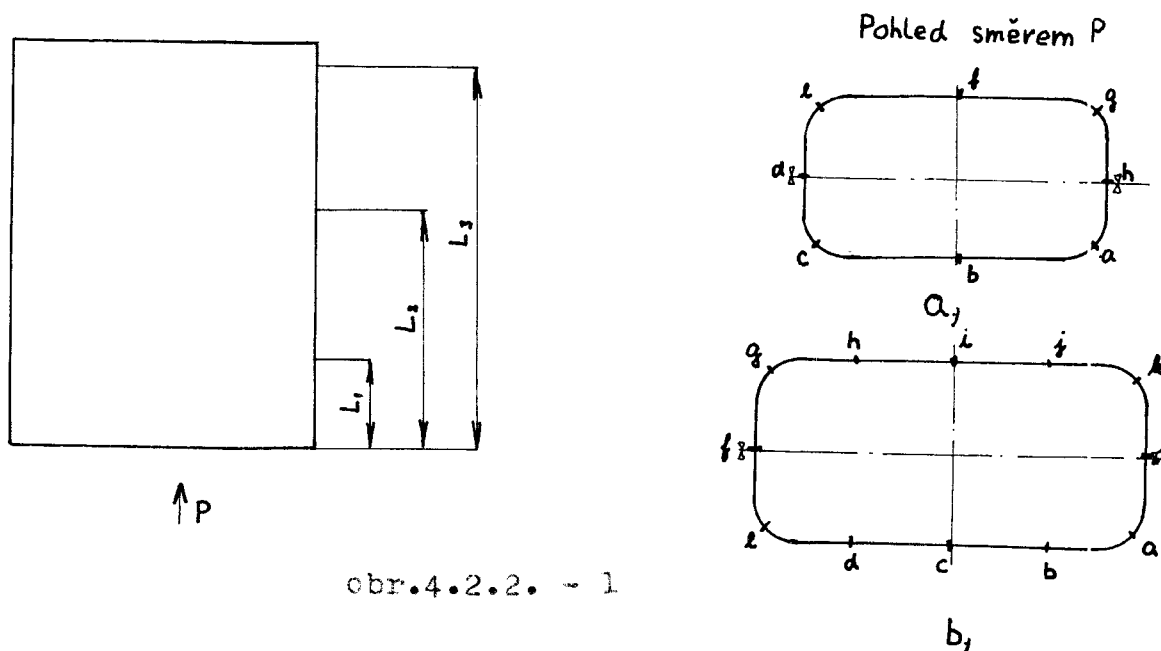
Grafy závislosti $F = f / y$ pro krabičku 151 199

Směr odebrání:
ve směru podélné osy



4.2.2. MĚŘENÍ TLOUŠTKY STĚN SKOŘEPIN

Tloušťka stěn by měla mít teoreticky po celém plášti konstantní hodnotu. Při současné úrovni technologie vyfukování nejsou schopni výrobci zajistit tento požadavek. U vyfukovaných těles kolísá tloušťka stěn ve velkém rozsahu, jak ve směru obvodovém i v podélném s osou výrobku. Z tohoto důvodu bylo nutno při jejím zjišťování měřit nejen po obvodu, ale i v různých výškách skořepiny. U měřených nerotačních skořepin byl počet a umístění merných míst voleno s přihlédnutím k předpokládaným změnám tloušťky. Měřená místa v třech různých výškách L_1 , L_2 , L_3 jsou uvedena na obr. 4.2.2. - 1.



obr.4.2.2. - 1

Pro láhve 380 193 a 420 byl použit obr. a, pro lahev 563 313 obr. b. U krabiček 151 199 bylo rozložení dle obr. b bez měření rohů, které byly ostré. Měření byla prováděna pro všechny skořepiny pomocí mikrometru s kulovými dotyky. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách 4.2.2. - 1 a 4.2.2. - 4.

Pro dosazení do vzorce (6) bylo nutno stanovit hodnotu průměrné tloušťky stěn celé skořepiny. Průměrná tloušťka byla vypočtena z průměrných hodnot pro jednotlivé výšky L_1 , L_2 , L_3 .

Pro názorné dokreslení problému nerovnoměrnosti rozložení tloušťky stěn byly sestrojeny pro vyfukované skořepiny z průměrných hodnot vybrané výšky, grafy viz. obr. 4.2.2. - a, b, c, d

Z výsledků měření bylo patrné, že proměnlivost tloušťky po obvodě je velká, v podélném směru je rozložení rovnoměrnější.

Nejtenší místa skořepin byla bez jakýchkoliv vyjímek v rozích nerotačního obdélníkového průřezu. Naopak kolem středu delších bočních stěn byla tloušťka největší až trojnásobek síly rohů. Tloušťka kratších stěn byla největší v místě dělící roviny a její hodnota se blížila průměru stanovenému pro celou skořepinu.

Tyto velké nerovnoměrnosti vykazovaly lahve zhotovené z rozvětveného polyetylenu. U zkoumané lahve 380 139 z lineárního polyetylenu bylo, jak je patrné ze změřených hodnot, rozložení tloušťky po obvodě rovnoměrnější.

Pro vstřikovaný výrobek, krabička 151 199 se ukázalo velké množství měřících míst neopodstatněné. Tloušťka byla rozložena rovnoměrně, pouze jedna z delších stěn měla výrobcem stanovenou rozdílnou hodnotu.

Typ výrobku: lahev 420								
Vzdálenost od spodního okraje: $L_1 = 20$ mm								
číslo vzorku	Místa měření							
	a	b	c	d	e	f	g	h
1	0,53	1,22	0,48	0,86	0,45	1,27	0,61	0,86
2	0,55	1,38	0,61	0,84	0,57	1,35	0,52	0,84
3	0,49	1,28	0,57	0,92	0,61	1,43	0,60	0,94
4	0,47	1,18	0,51	0,83	0,58	1,23	0,54	0,88
5	0,62	1,46	0,68	0,89	0,62	1,38	0,57	0,86
∅	0,53	1,30	0,57	0,87	0,57	1,33	0,56	0,88
$L_2 = 40$ mm								
1	0,55	1,35	0,57	0,92	0,47	1,34	0,59	0,90
2	0,58	1,42	0,60	0,90	0,56	1,39	0,53	0,80
3	0,52	1,33	0,54	0,87	0,60	1,45	0,63	0,95
4	0,49	1,22	0,54	0,82	0,54	1,27	0,56	0,85
5	0,60	1,47	0,67	0,93	0,61	1,41	0,56	0,82
∅	0,55	1,36	0,58	0,88	0,56	1,37	0,57	0,86
$L_3 = 56$ mm								
1	0,52	1,28	0,53	0,90	0,49	1,31	0,57	0,87
2	0,59	1,45	0,63	0,86	0,58	1,29	0,56	0,82
3	0,53	1,33	0,56	0,89	0,57	1,42	0,61	0,92
4	0,50	1,25	0,53	0,84	0,55	1,26	0,57	0,87
5	0,61	1,48	0,69	0,97	0,64	1,37	0,51	0,80
∅	0,55	1,36	0,59	0,89	0,57	1,33	0,56	0,86

tab. 4.2.2. - 1

Typ výrobku: lahev 38 319								
Vzdálenost od spodního okraje: $L_1 = 30$ mm								
číslo vzorku	Místo měření							
	a	b	c	d	e	f	g	h
1	0,81	1,16	0,73	0,87	0,81	1,31	0,83	0,85
2	0,86	1,25	0,87	0,80	0,78	1,20	0,80	0,94
3	0,71	1,15	0,70	0,94	0,84	1,17	0,76	0,79
4	0,82	1,09	0,78	0,87	0,73	1,10	0,72	0,84
5	0,84	1,12	0,76	0,89	0,75	1,22	0,81	0,93
∅	0,81	1,15	0,77	0,88	0,78	1,20	0,78	0,89
$L_2 = 80$ mm								
1	0,85	1,21	0,68	0,83	0,79	1,33	0,86	0,92
2	0,78	1,23	0,84	0,88	0,81	1,19	0,69	0,91
3	0,69	1,16	0,65	0,82	0,81	1,17	0,77	0,83
4	0,76	1,02	0,84	0,92	0,73	1,13	0,69	0,81
5	0,82	1,06	0,73	0,90	0,71	1,24	0,78	0,90
∅	0,78	1,15	0,75	0,86	0,77	1,18	0,76	0,87
$L_3 = 118$ mm								
1	0,67	1,14	0,83	0,75	0,75	1,25	0,78	0,89
2	0,74	1,09	0,81	0,85	0,73	1,14	0,71	0,85
3	0,66	0,98	0,63	0,76	0,69	1,02	0,62	0,79
4	0,69	0,96	0,76	0,87	0,67	0,98	0,61	0,84
5	0,75	0,98	0,69	0,84	0,65	1,14	0,69	0,87
∅	0,70	1,03	0,74	0,82	0,70	1,11	0,68	0,85

tab. 4.2.2. - 2

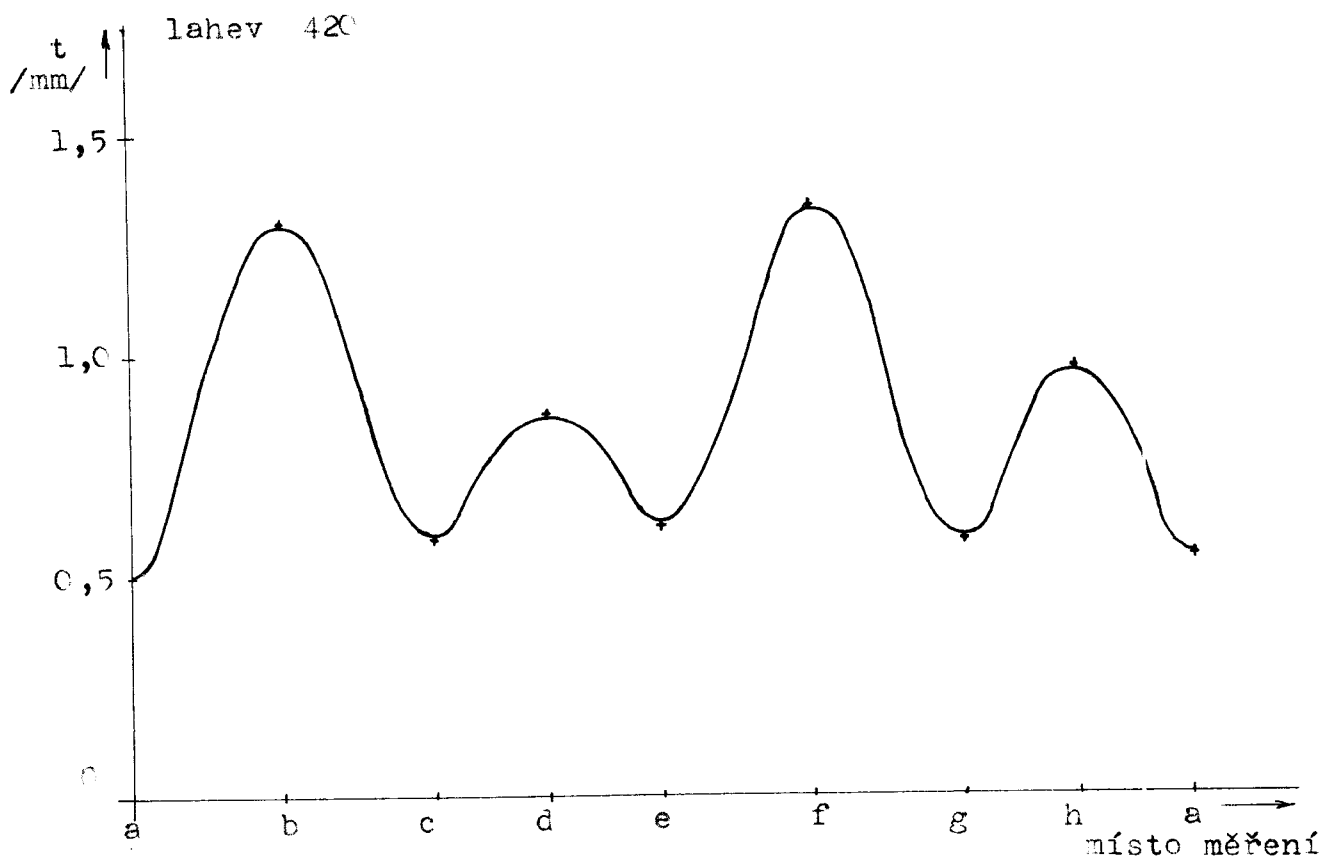
Typ výrobku: krabička 151 199								
Vzdálenost od spodního okraje: $L_1 = 30$ mm								
číslo vzorku	Místo měření							
	b	c	d	f	g	h	i	k
1	1,43	1,46	1,46	1,61	1,63	1,58	1,65	1,57
2	1,39	1,38	1,40	1,54	1,57	1,61	1,62	1,62
3	1,48	1,45	1,42	1,59	1,61	1,60	1,63	1,64
4	1,41	1,43	1,44	1,64	1,66	1,64	1,59	1,63
5	1,44	1,42	1,41	1,62	1,64	1,65	1,61	1,60
∅	1,43	1,43	1,43	1,60	1,62	1,62	1,62	1,61
$L_2 = 60$ mm								
1	1,42	1,46	1,48	1,59	1,60	1,59	1,63	1,60
2	1,37	1,40	1,42	1,56	1,53	1,61	1,67	1,63
3	1,41	1,42	1,46	1,58	1,62	1,58	1,62	1,62
4	1,40	1,44	1,42	1,63	1,65	1,63	1,61	1,63
5	1,46	1,43	1,44	1,63	1,62	1,62	1,64	1,65
∅	1,41	1,43	1,44	1,60	1,60	1,61	1,63	1,63
$L_3 = 87$ mm								
1	1,39	1,41	1,44	1,61	1,63	1,64	1,62	1,65
2	1,36	1,42	1,45	1,58	1,55	1,59	1,64	1,63
3	1,43	1,41	1,43	1,56	1,60	1,61	1,58	1,60
4	1,39	1,42	1,40	1,60	1,63	1,60	1,59	1,58
5	1,47	1,45	1,47	1,61	1,60	1,58	1,64	1,64
∅	1,41	1,42	1,44	1,59	1,60	1,61	1,61	1,62

tab. 4.2.2. - 3

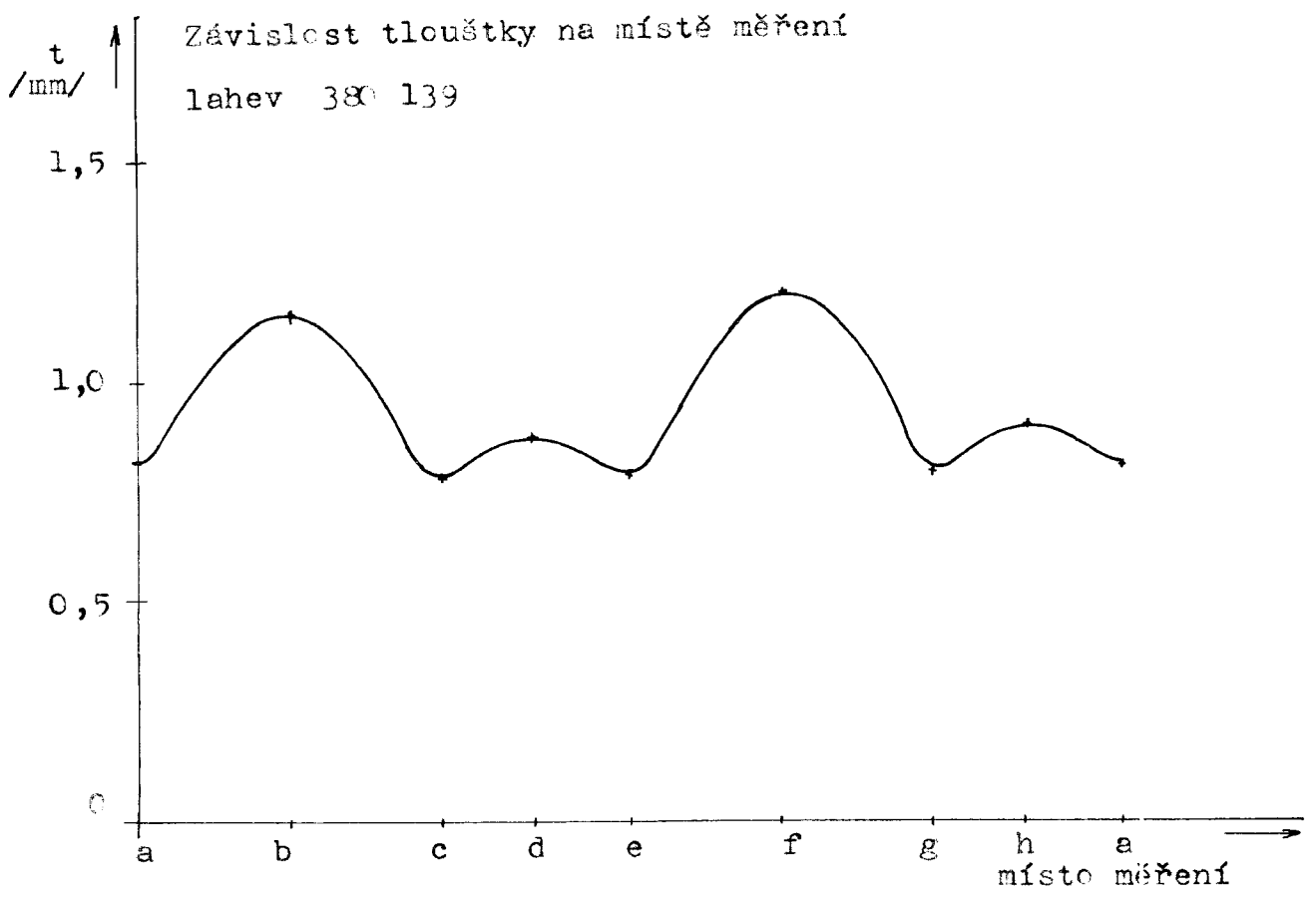
Typ výrobku: lahev 563 313												
Vzdálenost od spodního okraje: $L_1 = 30$ mm												
č. vz.	Místo měření											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
1	0,75	1,19	2,23	1,52	0,82	1,36	1,38	1,35	2,28	1,31	0,78	1,25
2	0,87	1,23	1,47	1,19	0,79	1,09	0,85	1,33	1,61	1,07	0,71	1,09
3	0,71	0,98	1,60	1,04	0,73	1,17	0,88	1,15	1,42	0,97	0,67	1,06
4	0,80	1,52	2,09	1,38	0,86	1,24	0,74	1,52	1,83	1,24	0,86	1,40
5	0,78	1,15	1,76	1,12	0,83	1,16	0,68	1,29	1,65	1,17	0,74	1,03
Ø	0,78	1,21	1,83	1,25	0,81	1,20	0,85	1,33	1,76	1,15	0,75	1,17
$L_2 = 60$ mm												
1	0,78	1,21	2,26	1,50	0,84	1,32	1,10	1,32	2,33	1,27	0,79	1,21
2	0,86	1,25	1,49	1,26	0,80	1,15	0,80	1,44	1,59	1,06	0,74	1,12
3	0,74	0,97	1,74	1,08	0,77	1,19	0,84	1,23	1,53	1,02	0,66	1,03
4	0,79	1,57	2,12	1,45	0,90	1,17	0,73	1,50	2,01	1,17	0,83	1,38
5	0,80	1,17	1,85	1,21	0,79	1,20	0,71	1,37	1,72	1,20	0,73	1,12
Ø	0,79	1,23	1,89	1,30	0,81	1,21	0,84	1,37	1,84	1,14	0,75	1,17
$L_3 = 86$ mm												
1	0,79	1,14	2,20	1,42	0,87	1,26	0,98	1,29	2,30	1,26	0,81	1,23
2	0,90	1,29	1,55	1,24	0,76	1,13	0,78	1,39	1,48	1,10	0,73	1,14
3	0,73	0,95	1,79	1,12	0,76	1,08	0,75	1,28	1,52	1,00	0,65	1,05
4	0,82	1,38	2,03	1,52	0,85	1,14	0,69	1,54	1,96	1,20	0,84	1,37
5	0,81	1,20	1,84	1,18	0,78	1,23	0,74	1,42	1,77	1,24	0,76	1,10
Ø	0,81	1,19	1,87	1,31	0,80	1,17	0,79	1,38	1,82	1,16	0,77	1,18

tab.č.4.2.2. - 4

Závislost tloušťky na místě měření



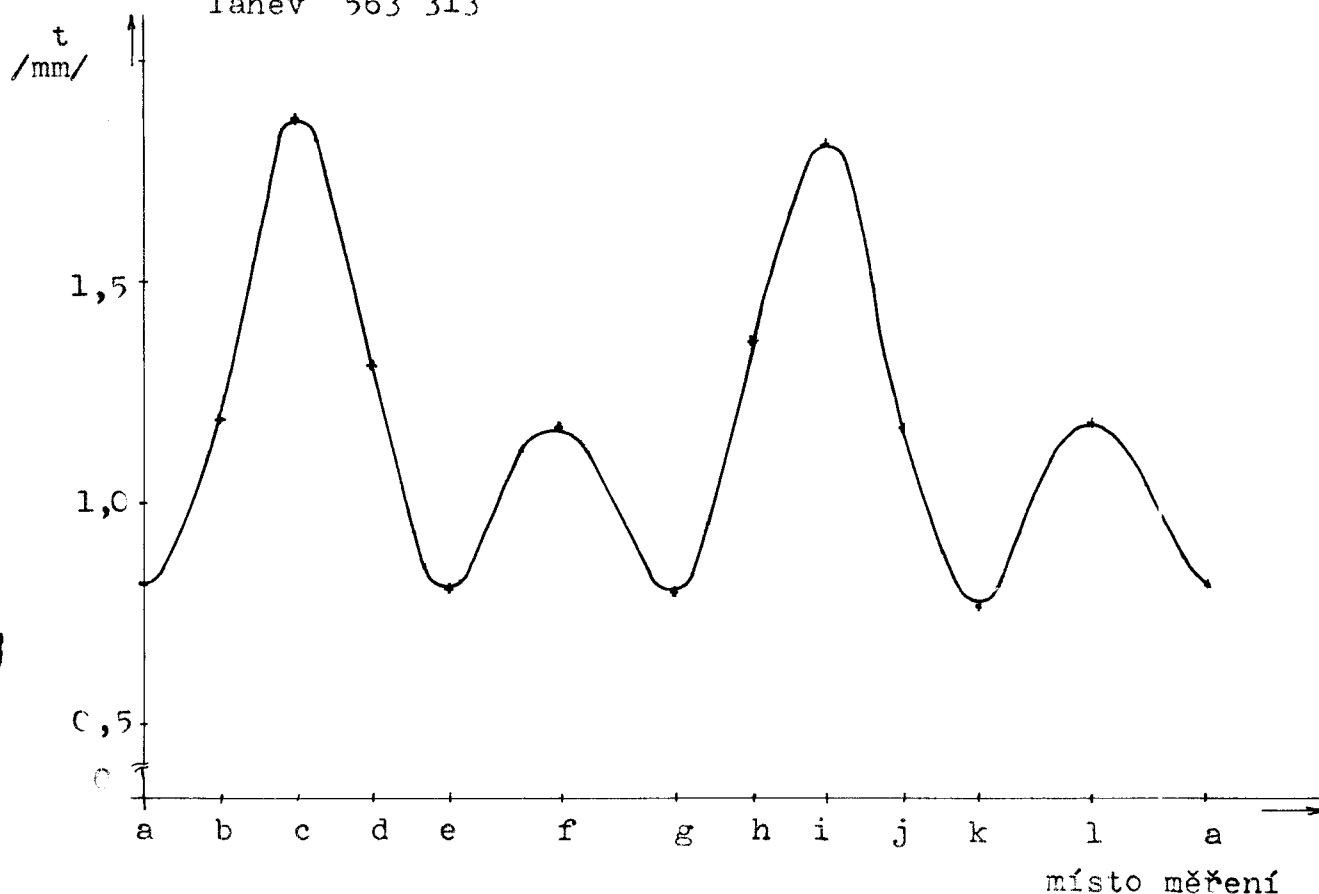
obr. 4.2.2. - a



obr. 4.2.2. - b

Graf závislosti tloušťky na místě měření

lahev 563 313



obr. 4.2.2. - c

4.2.3. MĚŘENÍ ROZMĚRŮ SKOŘEPIN

Pro zajištění průměrných hodnot B , H , L potřebných pro dosazení do vzorce (6) bylo nutno poměřit zvolené skořepiny.

Měření průřezových hodnot B /mm/, H /mm/ bylo prováděno ve třech různých výškách L_1, L_2, L_3 (shodné s měřením tloušťky). Zvolená výška skořepin L /mm/ byla zjišťována na třech různých místech.

Všechna měření byla prováděna na pěti skořepinách od každého zvoleného výrobku, pomocí posuvného měřítka s přesností 0,05 mm. Při měření skořepin vyfukovaných z rozvětveného polyetyleny nebylo možno vyloučit chybu, která byla vnášena deformací stěny od přítlačné síly měřidla.

Naměřené a průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách přílohy č. 2.

4.2.4. VÝSLEDKY ŘEŠENÍ VZPĚROVÉ PEVNOSTI
PRO ZVOLENÉ VÝROBKY

typ výrobku	L /mm/	B /mm/	H /mm/	t /mm/	S_x^e /Nm ² /	S_y^e /Nm ² /	P_{vz} /N/
lahev 563 313	90,2	85,4	65,8	1,19	25,98	29,61	851,7
lahev 420	57,0	66,5	42,2	0,84	11,80	12,03	376,0
krabička 151 199	89,6	106,8	40,4	1,56	237,40	291,8	5987,9

tab.č. 4.2.4. - 1

V tabulce č.4.2.4. - 1 byly uvedeny naměřené průměrné hodnoty rozměrů skořepin a vypočítané hodnoty ohybové tuhosti v obou daných směrech.

Po dosazení do vzorce (6) pro výpočet vzpěrové pevnosti byly zjištěny výše uvedené hodnoty.

4.2.5. STANOVENÍ KRITICKÉ SÍLY ZTRÁTY STABILITY A JEJÍ ZÁVISLOST NA VÝŠCE SKOŘEPIN

Zkoušky pro všechny zvolené výrobky byly prováděny v laboratoři KTP na trhacím stroji FM 1 000 výrobce VEB Thüsing Industrialwerk Rauenstein. Skořepiny s různou výškou byly zatěžovány tlakovou silou vyvolanou speciálními reverzačními čelistmi.

Postup měření:

Pro zjištění kritické síly a její závislosti na výšce skořepin bylo nutno zhotovit z vybraných výrobků, skořepiny různých výšek. Jejich počet pro každou výšku byl omezen množstvím výrobků, které byly k dispozici. Maximální možná výška byla zhotovena tak, aby její měřené výsledky nebyly ovlivňovány prolisy, výstuhami a náhlými změnami obvodových rozměrů. Z tohoto důvodu nebylo možno u vyfukovaných výrobků měřit skořepiny se dnem. Při zhotovení skořepin bylo nutno dbát o rovinnost odříznutých okrajů, kde by případná větší odchylka mohla vést ke zkreslení výsledků.

Rychlost zatěžování byla volena pro všechny skořepiny konstantní rovna 0,01 m min⁻¹. Hodnoty kritické síly byly odečítány na stupnici trhacího stroje. Během zatěžování byl sledován průběh deformace skořepiny.

Hodnoty kritické síly pro jednotlivé výšky skořepin jsou uvedeny v tabulkách 4.2.5. - 1. ÷ 4.2.5. - 4.

Ze stanovených průměrných hodnot byla závislost velikosti kritické síly na výšce skořepiny vynesena do grafů obrázků 4.2.5. - a, b, c, d.

Ze sestrojených grafů závislosti kritické síly na výšce skořepin nelze jednoznačně určit, obecně platné zákonitosti pro všechny nerotační obdélníkové skořepiny.

Dá se předpokládat, že s klesající výškou skořepiny roste hodnota kritické síly ztráty stability. Při zatěžování na trhacím stroji vzrůstala rychle síla, kterou klade skořepina proti deformaci a při dosažení kritické síly téměř stejně rychle klesala.

Z porovnávání průběhu deformace skořepin je možné přibližně stanovit vlivy na velikost síly ztráty stability. Jako důležitým faktorem se jevil vliv rohů. Při zatěžování se nejdříve deformovaly stěny vydutím, ale ke ztrátě stability docházelo po určité překročené deformaci rohů.

U výrobku krabička 151 199 byla deformace rohů rozdílná oproti deformaci těchto částí u vyfukovaných výrobků. Bylo to zřejmě z důvodů rovnoměrné, velké tloušťky rohů.

Na tvar deformace měla také vliv velikost výšky skořepin. Se snižující se výškou klesal počet púlvin.

Na tvar deformace bude mít pravděpodobně vliv poměr příčných rozměrů skořepin, ale tento předpoklad se nepodařilo potvrdit.

Pro průkaznější zjištění by však bylo nutno provést větší počet měření na různých skořepinách. Lepší představu o tvaru deformace po ztrátě stability u některých výrobků, ukazují obr. 4.2.5. - 1 ÷ 4.2.5. - 4.

Typ výrobku: krabička 151 199				
výška skořepiny /mm/	F _{kr} /N/			
	1	2	3	∅
89,5	4310	4460	4420	4390
80	4380	4400	4320	4370
72	4750	4780	4650	4730
63	4640	4640	4470	4580
32	5000	5420	5180	5200

tab. 4.2.5. - 2

Typ výrobku: lahev 420				
výška skořepiny /mm/	F _{kr} /N/			
	1	2	3	∅
57	142	155	161	153
54	165	175	173	170
50	156	210	165	177
45	135	160	158	158
40	215	232	240	228
30	175	190	205	190

tab. 4.2.5. - 1

Typ výrobku: lahev 38 139				
výška skořepiny /mm/	F _{kr} /N/			
	1	2	3	∅
35	835	1220	780	545
66	786	1050	860	890
90	660	720	875	740
100	565	682	620	621
105	551	820	580	650
116	520	670	615	602
120	575	716	652	645

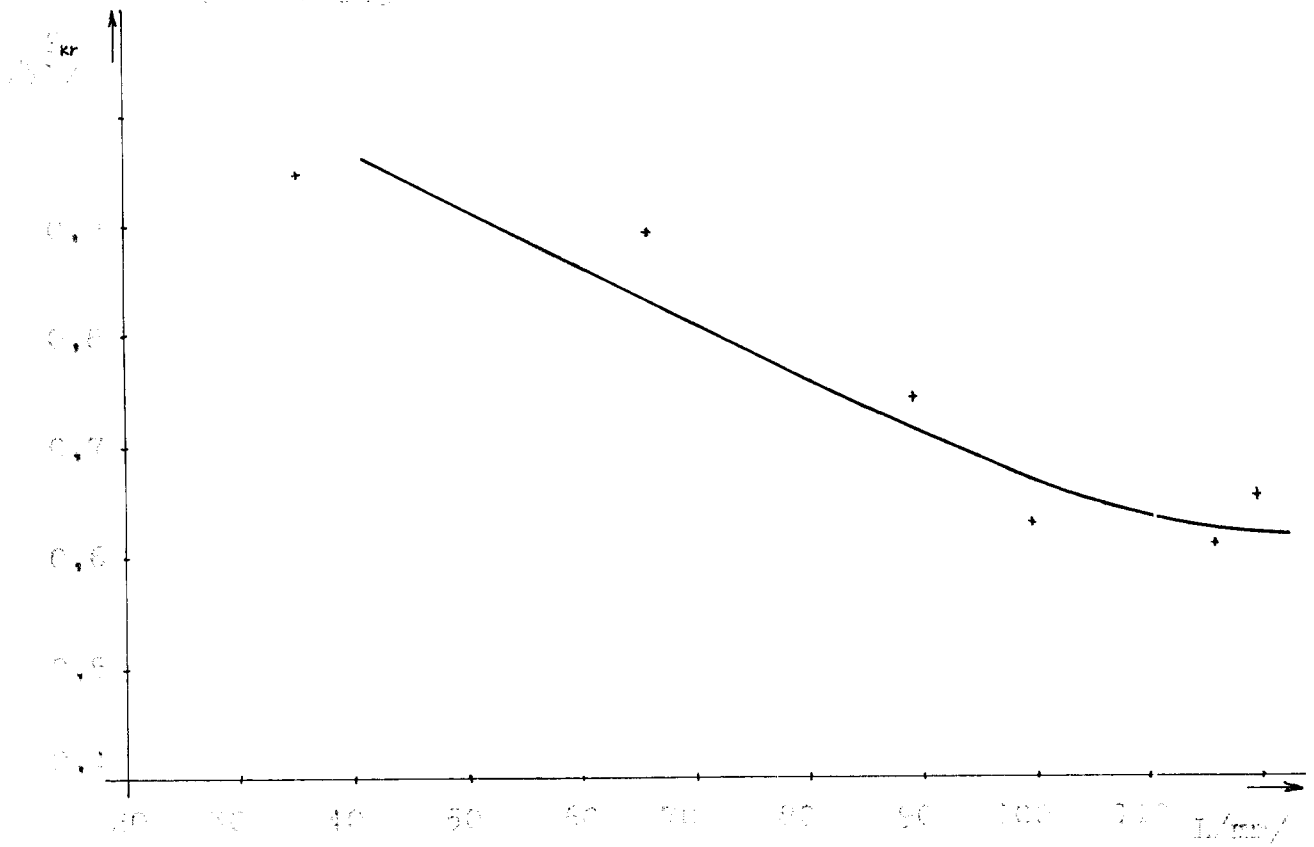
tab. 4.2.5. - 4

Typ výrobku: lahev 563 313				
výška skořepiny /mm/	F _{kr} /N/			
	1	2	3	∅
90	418	375	421	406
70	428	390	412	410
50	480	543	450	492
30	1020	630	725	791

tab. 4.2.5. - 3

Gráf. vizsgálatai: Polifonol alij az y-jelet az x-jelet

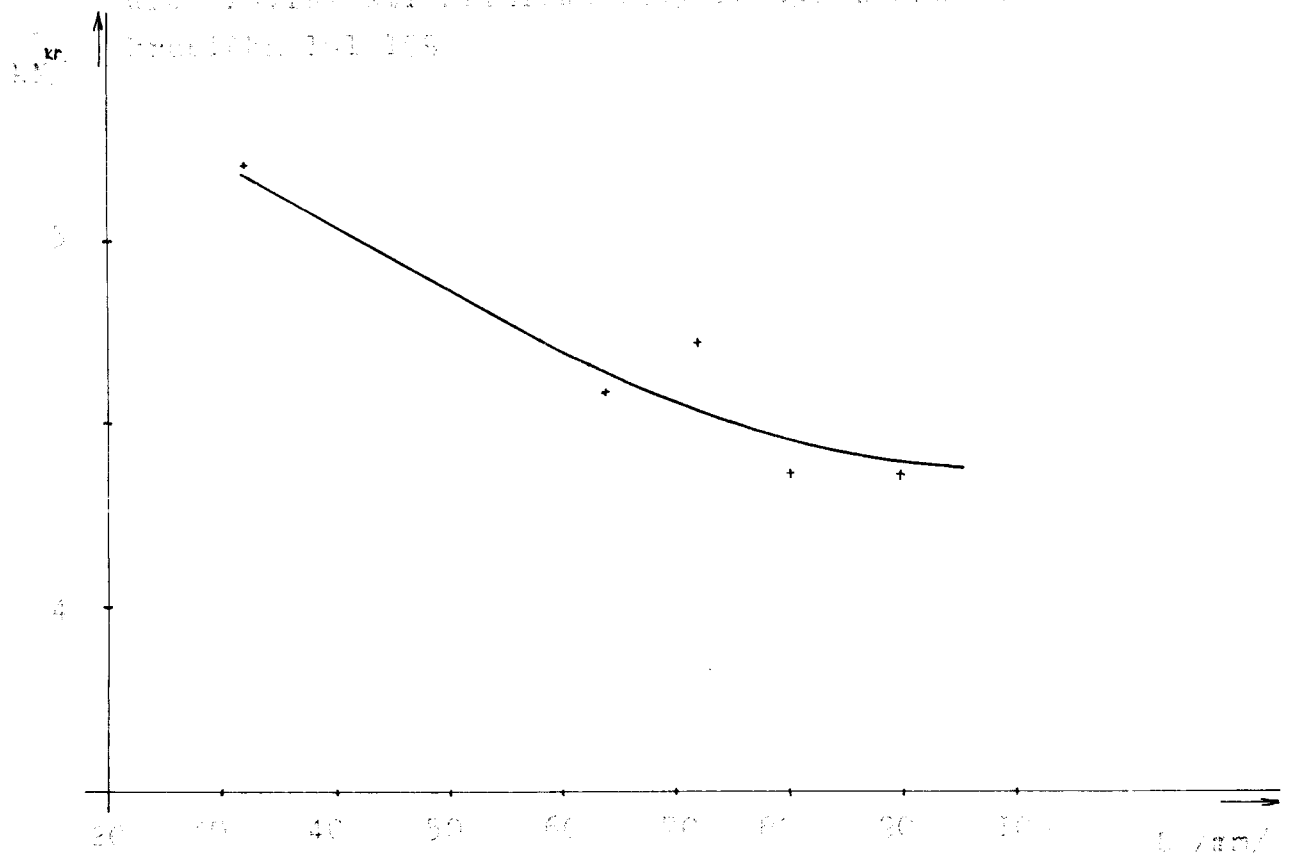
száma: 400 139



obr. 1.2.5. - b

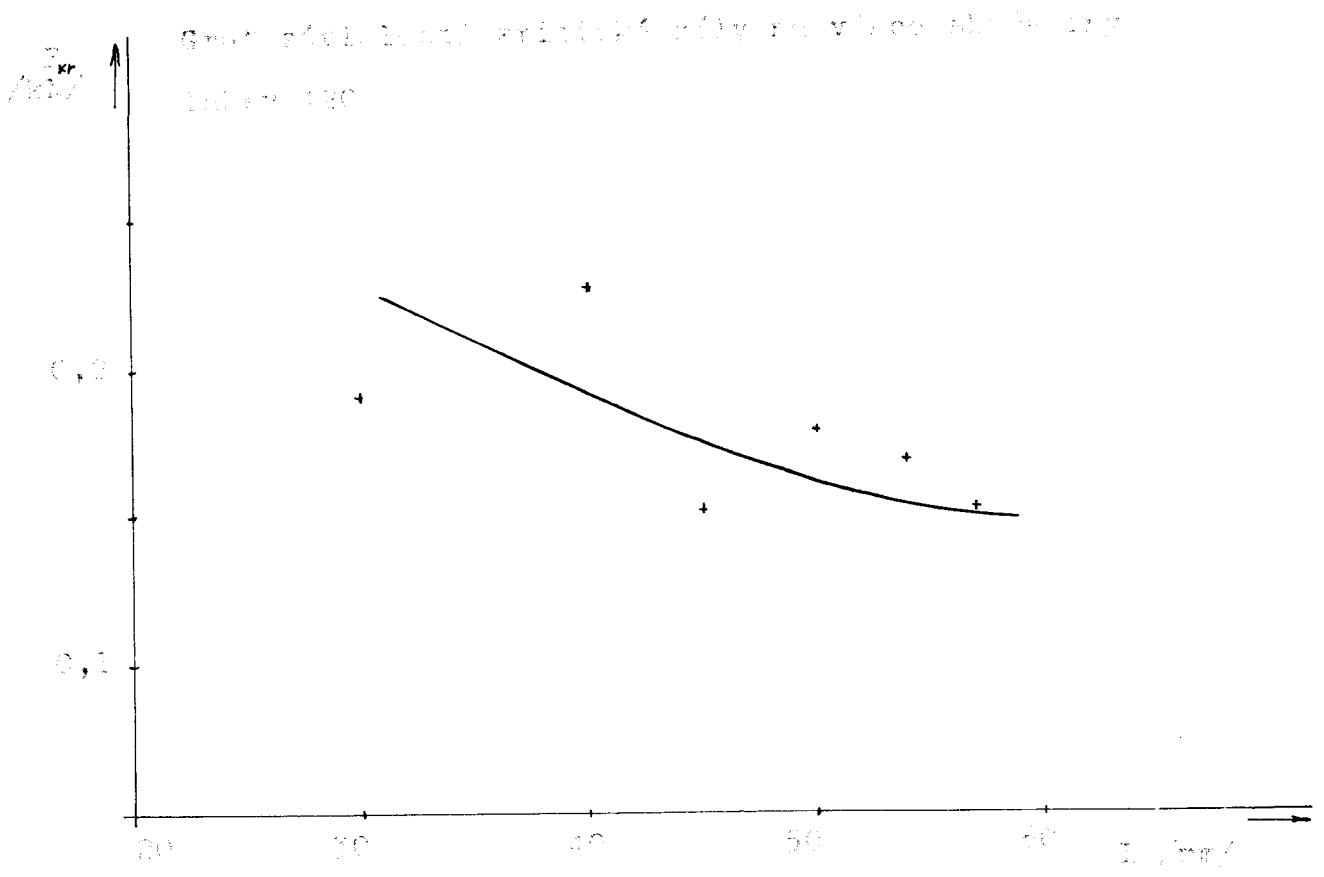
Gráf. vizsgálatai: Polifonol alij az y-jelet az x-jelet

száma: 400 105

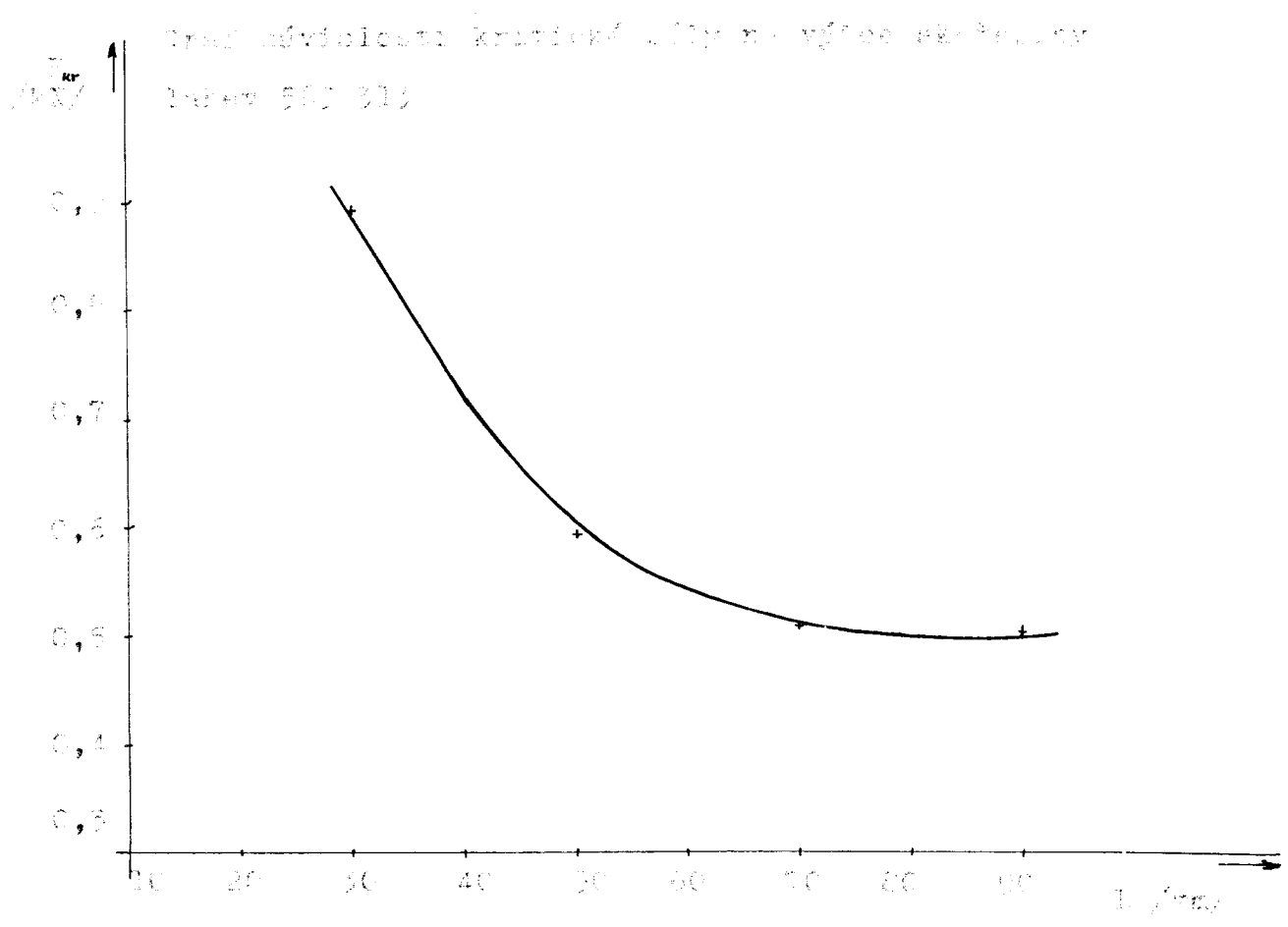


obr. 1.2.5. - b

1.2.5.

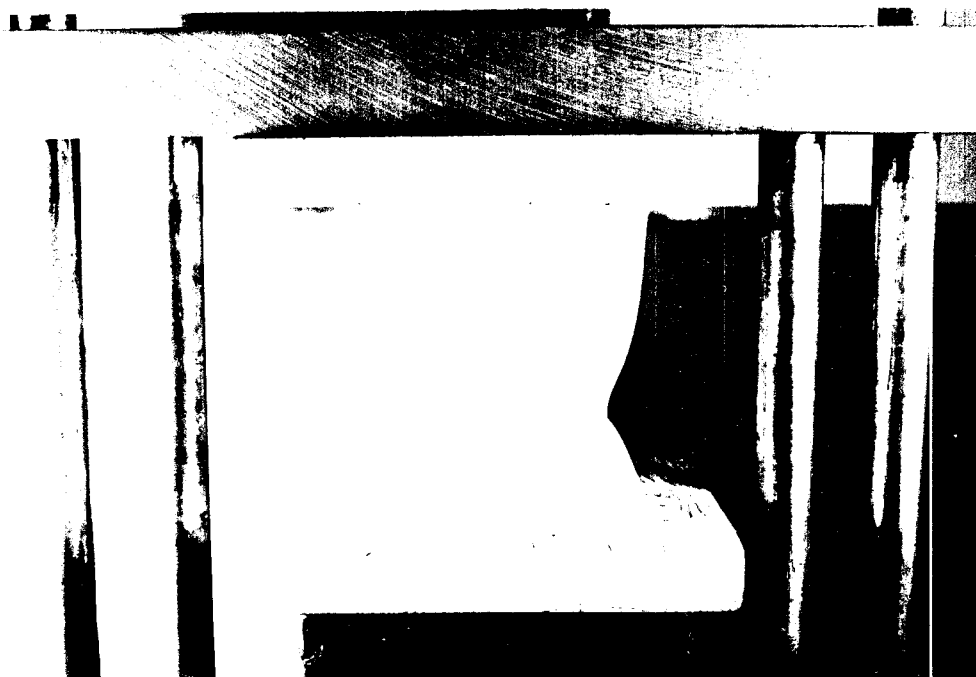


obr. 4.2.5. - a



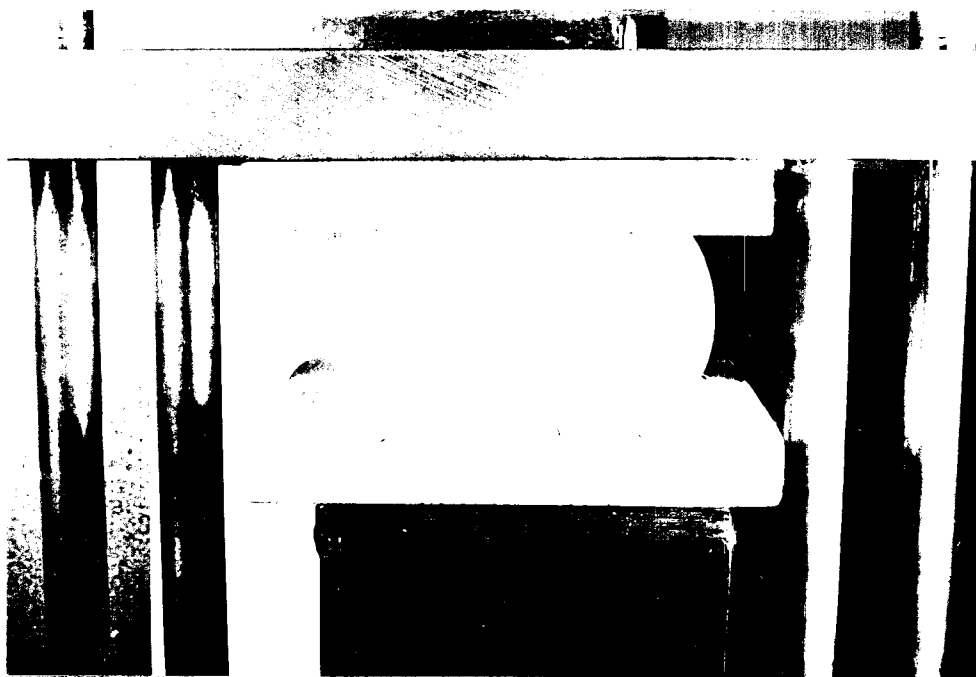
obr. 4.2.5. - b

Lahev 563 313



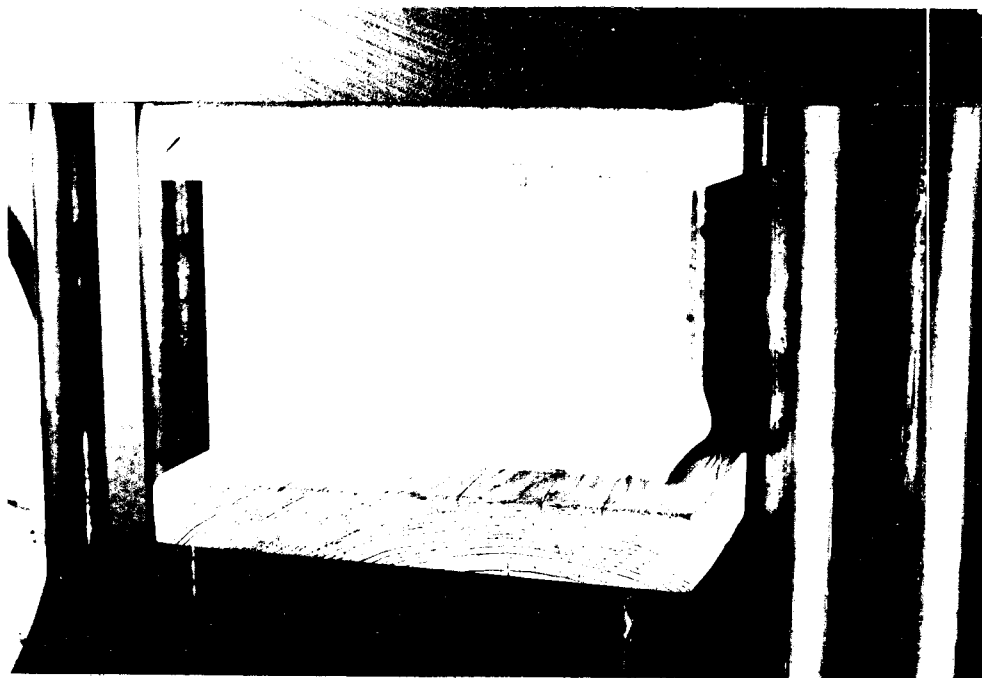
obr.č.4.2.5. - 1

Lahev 563 313



obr.č. 4.2.5. - 2

Krabička 151 199



obr.č. 4.2.5. - 3

Lahev 38 139



obr.č.4.2.5. - 4

5. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Po vyvozování různých obecných, ale i konkrétních závěrů, které je možno využít v praxi, byly v průběhu měření zaznamenávány různé hodnoty a závislosti. Větší počet měření, kterému odpovídá i množství tabulek, bylo zvoleno pro získání co nejobjektivnějších výsledků.

5.1. POROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH HODNOT VZPĚRNÉ PEVNOSTI S VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Pro vzpěrovou pevnost nerotačních obdélníkových skořepin vypočtenou dle stanovených vztahů lze zjistit, že tyto hodnoty jsou vyšší než praktické změřené hodnoty kritické síly. Tento rozdíl, který je u vyfukovaných výrobků značný, vznikl, jak použitím vztahů pro výpočet vzpěrné pevnosti, které ne úplně vyjadřují problémy nerotačních skořepin z plastů, tak při praktickém měření, které ovlivňovaly nerovnomernost tloušťky a rozměrů a vlastností materiálu.

Vlastní porovnání:

1. Lahev 563 313, vyrobená z materiálu Bralen RB 03 - 23

a) Krátkodobá zkouška na trhacím stroji FM 1 000

Kritická síla ztráty stability pro maximální výšku skořepiny

$$F_{kr} = 406 \text{ /N/}$$

b) Vypočtená hodnota vzpěrné pevnosti

$$P_{vz} = 851 \text{ /N/}$$

2. Lahev 420 vyrobená z materiálu Bralen RB 03 - 23

a) Krátkodobá zkouška na trhacím stroji FM 1 000

Kritická síla ztráty stability pro maximální výšku skořepiny

$$F_{kr} = 153 \text{ /N/}$$

b) Vypočtená hodnota vzpěrné pevnosti

$$P_{vz} = 376 \text{ /N/}$$

3. Krabička 151 199, zhotovena z materiálu Mosten 52 492

a) Krátkodobá zkouška na trhacím stroji FM 1 000

Kritická síla ztráty stability pro maximální výšku skořepiny

$$F_{kr} = 4\,390 \text{ /N/}$$

b) Vypočtená hodnota vzpěrné pevnosti

$$P_{vz} = 5\,928 \text{ /N/}$$

Z uvedeného vlastního porovnání vyplývá, že se obě hodnoty, prakticky změřená a vypočtená k sobě přiblížily nejvíce v případě zkoušení krabičky 151 199. Bylo to s největší pravděpodobností v důsledku jejího přesného geometrického tvaru a rovnoměrné tloušťky, které hrají důležitou roli při zkoušení. U obou zkoušených vyfukovaných lahví jsou rozdíly značně vyšší. Domnívám se, že důvodem těchto velkých rozdílů u vyfukovaných výrobků je velmi proměnlivá tloušťka. Tento fakt výpočet dostatečně nepostihuje a nepřesnost je vnášena již při stanovení ohybové tuhosti. Podstatnou úlohu s největší pravděpodobností sehrál též vliv materiálu. Další ovlivňující faktor pro přesnost použití navrženého vzorce (6) pro plasty, je jeho nedostatečné postižené závislosti vzpěrné pevnosti na výšce skořepin. Toto bylo zjištěno při praktickém měření závislosti kritické síly na výšce skořepiny. Z naměřených výsledků se dá předpokládat, že s klesající výškou skořepiny roste kritická síla. Z tohoto důvodu je nutné matematické zpřesnění jmenovatele vzorce t. j., $\ln L'$ vyjadřujícího zde vliv výšky stěny. Toto však předpokládá velké množství měření, které umožní dostatečně přesné vyjádření závislosti kritické síly na výšce skořepiny.

6. ZÁVĚR

V současné době se stále více rozšiřuje použití obalů nerotačních tvarů, které lépe využívají skladovacích a přepravních prostorů. Z tohoto důvodu bylo nutno stanovit metody zkoušení pro dimenzování a kontrolu těchto tvarů.

Předložená diplomová práce se snaží o řešení návrhu metodiky měření vzpěrné pevnosti nerotačních skořepin, obdélníkového průřezu z plastu. Literatura není v tomto směru dosud pro tyto výrobky z plastů dostatečně obsáhlá.

K vypracování byla použita metodika zkoušení nerotačních krabic z tvrzeného papíru, která ne ve všech směrech plně vyhovovala. Výsledky měření vzpěrné pevnosti u skořepin z plastů byly ovlivňovány proměnlivými hodnotami tloušťky a rozměrů skořepin. Nepřesnost byla vnesena do matematického vyjádření vzpěrné pevnosti, použitím průměrných výsledků měření těchto hodnot. Proměnlivost tloušťky také do značné míry ovlivňuje velikost ohybové tuhosti, která je jedním z rozhodujících činitelů výpočtu vzpěrné pevnosti. Odstranění tohoto vlivu by nebylo pravděpodobně možné ani kdybychom našli a mohli přesně postihnout průběh proměnlivosti tloušťky stěn.

Materiálové vlastnosti byly též faktorem, který měl do jisté míry vliv na výsledky výpočtu. Pro plasty nebyl stanoven koeficient vlivu materiálu, který upřesňoval výsledky u výrobků z tvrzeného papíru. Omezený počet druhů zkoušených výrobků nemohl stačit pro jeho průkazné stanovení.

Uvedených nepřesností jsem si vědom, ale domnívám se, že nemohou zabránit tomu, aby návrh metodiky zkoušení vzpěrné pevnosti pro nerotační skořepiny obdélníkového průřezu byl po dalším upřesnění plně použitelný.

Výsledky vypočítané vzpěrné pevnosti podle navrhované metodiky mohou sloužit jako jeden z údajů pro předběžné dimenzování výrobků nerotačního tvaru obdélníkového průřezu. Pro další upřesnění metodiky navrhuji rozšířit četnost měření pro různé materiály, aby bylo možno stanovit odpovídající koeficient vlivu materiálu. Použít různých velikostí nerotačních skořepin a tím upřesnit vliv průřezových veličin a výšky na výpočet vzpěrné pevnosti.

Na závěr bych chtěl poděkovat s. Ing J. Krebsovi CSc a s. Ing A. Šolcové za jejich plnou podporu při vypracování této diplomové práce.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ Windhaus, G: Verpackung - Rundschau str. 61 - 66 č. 8. 1977
- /2/ DIN 53 121
- /3/ ČSN 64 0607: Ohybová zkouška tuhých plastických hmot 1969
- /4/ Stříž, B.: Pružnost a pevnost - učební texty VŠST Liberec, 1979
- /5/ Štěpek, J. a kol.: Polymery v obalové technice, SNTL Praha, 1981
- /6/ Hugo, J. a kol.: Konstrukční plastické hmoty, SNTL Praha, 1965
- /7/ Dostal, J.: Studium stability vyfukovaných těles z plastů při statickém namáhání, diplomová práce DP - ST 1 364/78
- /8/ Výpočetní metody pro dimenzování vybraných výrobků z termoplastů; závěrečná zpráva P 14-123-204/03/EO4, VŠST Liberec

8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Tabulky naměřených hodnot, závislosti zatěžující síly a průhybu, rozměrů zkoušených těles, výsledného poměru $\Delta F/\Delta y$.

Obsahuje 4 listy - tab. I ÷ IV

Příloha 2: Tabulky naměřených hodnot, rozměrů skořepin.

Obsahuje 3 listy - tab. I ÷ III

Typ výrobku: lahev 420										
Směr odebrání vzorků: kolmo na podélnou osu										
F /N/	y /mm/									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,42	0,12	0,09	0,11	0,13	0,07					
0,49	0,17	0,16	0,14	0,16	0,13	0,07	0,08	0,06	0,09	0,09
0,55	0,19	0,17	0,16	0,18	0,15	0,15	0,15	0,10	0,11	0,11
0,59	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18	0,14	0,13	0,11	0,12	0,13
0,73	0,34	0,32	0,30	0,32	0,21	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14
0,80	0,42	0,40	0,38	0,37	0,26	0,23	0,20	0,18	0,19	0,19
0,88	0,48	0,43	0,48	0,45	0,37	0,32	0,29	0,22	0,23	0,20
0,98	0,52	0,50	0,54	0,52	0,41	0,33	0,31	0,28	0,32	0,30
1,10	0,58	0,56	0,61	0,59	0,52	0,39	0,35	0,33	0,35	0,33
1,18						0,43	0,37	0,35	0,38	0,36
1,28						0,51	0,42	0,40	0,44	0,47
b /mm/	10,32	10,22	10,06	10,04	10,36	10,35	10,14	10,20	10,27	10,45
	10,28	10,18	10,09	10,05	10,28	10,42	10,16	10,25	10,19	10,42
	10,29	10,20	10,10	9,98	10,30	10,41	10,19	10,19	10,20	10,46
∅	10,30	10,20	10,08	10,02	10,31	10,38	10,16	10,21	10,22	10,44
t /mm/	0,87	0,81	0,78	0,82	0,83	1,21	1,28	1,27	1,29	1,13
$\Delta F/\Delta y$ /Nmm/	1,34	1,37	1,24	1,25	1,52	1,85	2,31	2,35	2,15	2,23
průměrná hodnota $\Delta F/\Delta y = 1,76$ /N/mm/										

Příloha č.1 tab.č.I.

Typ výrobku: lahev 420										
Směr odebrání těles: ve směru podélné osy										
F /N/	y / mm /									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,42	0,09	0,13	0,10	0,06	0,07					
0,49	0,13	0,15	0,16	0,10	0,13	0,08	0,11	0,07	0,08	0,07
0,55	0,16	0,20	0,18	0,13	0,18	0,11	0,13	0,11	0,11	0,10
0,59	0,19	0,31	0,34	0,18	0,23	0,13	0,15	0,12	0,12	0,11
0,73	0,28	0,40	0,46	0,23	0,35	0,15	0,17	0,14	0,14	0,14
0,80	0,45	0,48	0,52	0,32	0,42	0,16	0,27	0,19	0,17	0,15
0,88	0,45	0,54	0,60	0,38	0,49	0,17	0,31	0,21	0,19	0,17
0,98	0,54	0,67	0,71	0,44	0,55	0,22	0,39	0,24	0,24	0,20
1,10	0,68			0,56	0,64	0,29	0,46	0,32	0,31	0,30
1,18						0,33	0,54	0,36	0,37	0,33
1,28						0,42	0,64	0,43	0,47	0,42
b /mm/	10,12	10,42	10,36	10,19	10,31	10,09	10,12	10,39	10,48	10,04
	10,21	10,45	10,38	10,24	10,28	10,14	10,15	10,28	10,42	10,09
	10,18	10,45	10,35	10,26	10,25	10,08	10,20	10,32	10,43	10,06
∅	10,17	10,44	10,36	10,32	10,28	10,10	10,17	10,33	10,44	10,06
t /mm/	0,85	0,72	0,74	0,84	0,98	1,22	1,14	1,26	1,32	1,29
$\Delta F / \Delta y$ /N/mm/	1,14	0,99	0,87	1,37	1,22	2,47	1,45	2,31	2,05	2,32
průměrná hodnota $\Delta F / \Delta y = 1,62$ /N/mm/										

Příloha č.1 tab.č.II.

Typ výrobku: lahev 563 313										
Směr odebrání těles: kolmo na podélnou osu										
F /N/	y / mm /									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,59	0,09	0,04	0,04	0,07	0,11	0,06	0,07	0,12	0,09	0,10
0,64	0,11	0,09	0,10	0,11	0,12	0,09	0,10	0,13	0,12	0,11
0,70	0,14	0,11	0,12	0,12	0,14	0,12	0,11	0,15	0,13	0,12
0,77	0,15	0,12	0,14	0,15	0,16	0,12	0,12	0,16	0,16	0,15
0,84	0,16	0,15	0,15	0,16	0,18	0,14	0,15	0,21	0,16	0,16
0,88	0,19	0,15	0,15	0,19	0,19	0,15	0,16	0,25	0,17	0,17
0,93	0,21	0,16	0,16	0,23	0,22	0,16	0,16	0,28	0,19	0,20
0,98	0,25	0,18	0,17	0,26	0,31	0,17	0,17	0,31	0,21	0,20
1,11	0,29	0,22	0,21	0,29	0,34	0,19	0,24	0,32	0,29	0,33
1,19	0,33	0,29	0,34	0,34	0,36	0,28	0,35	0,35	0,36	0,35
1,28	0,42	0,35	0,36	0,36	0,43	0,34	0,41	0,37	0,39	0,43
1,40	0,46	0,38	0,39	0,38	0,55	0,41	0,47	0,49	0,51	0,54
b /mm/	10,15	10,50	10,42	10,28	10,05	10,40	10,41	10,20	10,18	10,35
	10,12	10,47	10,45	10,30	10,00	10,35	10,46	10,21	10,20	10,42
	10,10	10,45	10,45	10,31	10,02	10,39	10,45	10,24	10,26	10,43
Ø	10,12	10,47	10,43	10,30	10,02	10,38	10,44	10,22	10,21	10,40
t /mm/	1,29	1,38	1,30	1,43	1,10	1,49	1,18	1,39	1,25	1,20
$\Delta F / \Delta y$ /Nmm/	2,10	2,42	2,24	2,43	1,80	2,36	1,88	2,27	1,92	1,70
průměrná hodnota $\Delta F / \Delta y = 2,12$ /N / mm/										

Příloha č.1 tab.č. III.

Typ výrobku: lahev 563 313										
Směr odebrání těles: ve směru podélné osy										
F /N/	y / mm /									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,55	0,13						0,13	0,13		
0,59	0,14	0,07	0,13	0,08	0,10	0,09	0,16	0,13	0,09	0,12
0,64	0,15	0,16	0,15	0,12	0,12	0,11	0,23	0,16	0,12	0,14
0,70	0,20	0,17	0,16	0,15	0,13	0,14	0,29	0,17	0,12	0,18
0,77	0,30	0,20	0,18	0,15	0,15	0,16	0,33	0,19	0,15	0,21
0,84	0,35	0,29	0,25	0,17	0,18	0,17	0,37	0,32	0,16	0,22
0,88	0,36	0,31	0,32	0,19	0,20	0,19	0,38	0,34	0,18	0,24
0,93	0,38	0,33	0,33	0,31	0,26	0,21	0,34	0,37	0,19	0,27
0,98	0,43	0,36	0,35	0,37	0,30	0,28	0,48	0,47	0,22	0,29
1,11	0,52	0,38	0,39	0,40	0,36	0,31	0,54	0,49	0,25	0,35
1,19	0,54	0,46	0,45	0,42	0,37	0,36	0,57	0,53	0,30	0,40
1,28	0,58	0,50	0,51	0,49	0,40	0,38	0,72	0,57	0,33	0,42
1,40	0,72	0,54	0,58	0,52	0,48	0,51			0,37	0,48
b /mm/	10,11	10,18	10,26	10,05	10,08	10,44	10,39	10,25	10,20	10,39
	10,15	10,18	10,30	10,10	9,99	10,50	10,44	10,30	10,24	10,42
	10,15	10,24	10,38	10,11	10,05	10,50	10,47	10,31	10,25	10,44
Ø	10,14	10,20	10,31	10,09	10,03	10,48	10,43	10,29	10,03	10,42
t /mm/	1,21	1,32	1,29	1,25	1,40	1,38	1,10	1,13	1,56	1,48
$\Delta F / \Delta y$ /N mm ² /	1,44	1,75	1,72	1,63	2,01	1,99	1,35	1,44	2,90	2,36
průměrná hodnota: $\Delta F / \Delta y = 1,86$ /N/mm/										

Příloha č.1 tab.č. IV.

Typ výrobku: lahev 4X					
B /mm/					
	číslo vzorku				
	1	2	3	4	5
L ₁	42,5	42,9	41,5	42,2	41,9
L ₂	41,7	41,3	41,9	42,3	42,5
L ₃	41,8	42,5	41,2	42,7	42,5
∅	42,0	42,6	41,7	42,5	42,3
H /mm/					
L ₁	67,2	66,9	66,0	65,8	66,7
L ₂	66,5	66,4	66,2	66,0	67,8
L ₃	66,8	66,3	66,4	66,2	66,8
∅	66,8	66,6	66,2	66,0	66,9
L /mm/					
a	56,5	54,2	56,6	56,7	57,8
b	57,1	57,4	56,9	56,9	57,4
c	56,8	56,9	57,0	57,3	57,0
∅	56,8	57,1	56,8	57,0	57,2

Příloha č.2 tab. I.

Typ výrobku: lahev 563 313					
B /mm/					
	číslo vzorku				
	1	2	3	4	5
L ₁	65,8	65,7	65,9	66,3	65,0
L ₂	66,1	65,4	66,2	66,0	65,3
L ₃	66,3	65,3	65,7	65,9	65,5
Ø	66,1	65,5	65,9	66,1	65,3
H /mm/					
L ₁	85,4	84,8	85,8	84,9	86,1
L ₂	85,0	85,4	85,5	84,7	85,7
L ₃	85,9	85,5	86,0	85,3	85,5
Ø	85,4	85,2	85,8	85,0	85,8
L /mm/					
a	89,8	90,2	90,1	90,0	90,5
b	89,9	90,5	90,7	89,7	90,7
c	90,1	90,4	90,5	90,2	90,1
Ø	89,9	90,4	90,4	90,0	90,4

Příloha č.2 tab. II.

Typ výrobku: krabička 151 199					
B /mm/					
	číslo vzorku				
	1	2	3	4	5
L ₁	40,2	40,0	40,8	40,2	40,8
L ₂	40,6	40,3	40,5	40,0	40,6
L ₃	40,4	40,7	40,6	40,3	40,7
Ø	40,4	40,3	40,6	40,2	40,7
H /mm/					
L ₁	106,8	106,5	106,7	106,8	107,2
L ₂	107,1	106,3	106,9	107,0	107,0
L ₃	107,4	106,2	106,9	106,8	107,0
Ø	107,1	106,3	106,8	106,9	107,1
L /mm/					
a	89,5	89,8	89,7	89,7	89,2
b	89,7	89,4	89,5	89,5	89,5
c	89,4	89,7	89,6	89,8	89,5
Ø	89,5	89,6	89,6	89,7	89,4

Příloha č.2 tab.III.