

Měření tvrdosti polymerů

Radek Matula

Bakalářská práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radek MATULA**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Měření tvrdosti polymerů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte přípravu vzorků pro měření tvrdosti.
3. Proveďte měření tvrdosti u připravených vzorků.
4. Vyhodnoťte výsledky měření.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Mañas, Ph.D.**
MITAS

Datum zadání bakalářské práce: **20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2009**

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je řešit problém měření tvrdosti různých typů termoplastů a řízení použití různých metod měření tvrdosti. Byl proveden soubor měření zahrnující různé metody měření tvrdosti, včetně standardní metody pro plasty. Výsledky všech typů měření tvrdosti byly graficky zpracovány a porovnány.

Klíčová slova: Tvrdost polymeru

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is to solve the problem of measuring the hardness of various types of thermoplastics using many different methods of measuring hardness. We conducted a series of measurements, including the standard method for plastics. All results were processed and compared with graphs.

Keywords: Hardness of plastic

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a soustavnou pozornost a pomoc, kterou mi při vypracování bakalářské práce věnoval.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použítou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 29.5.09

.....
Podpis

OBSAH

ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1.1 TVRDOST.....	10
1.2 ZKOUŠKYTVRDOSTI.....	10
1.2.1 Zkouškavrypová.....	11
1.2.2 Zkouškavnikací.....	11
1.3 STATICKÉZKOUŠKYTVRDOSTI.....	12
1.3.1 ZkouškatvrdistidleBrinella.....	12
1.3.1.1 Popiszkoušky.....	12
1.3.1.2 Označenítvrdosti.....	12
1.3.1.3 Přesnostměření.....	12
1.3.1.4 Postupzkoušky.....	13
1.3.1.5 Brinellovytvrdoměry.....	14
1.3.2 ZkouškatvrdistidleVickerse.....	15
1.3.2.1 Popiszkoušky.....	15
1.3.2.2 Oblastizkušebníhozatížení.....	16
1.3.2.3 Provedenízkoušky.....	17
1.3.3 ZkouškatvrdistidleKnoop.....	17
1.3.3.1 Popiszkoušky.....	17
1.3.3.2 Podstatazkoušky.....	18
1.3.3.3 Označovánítvrdosti.....	18
1.3.3.4 Zkušebnítěleso.....	18
1.3.3.5 Provedenízkoušky.....	19
1.3.4 ZkouškatvrdistidleRockwella.....	19
1.3.4.1 Popiszkoušky.....	19
1.3.4.2 Podstatazkoušky.....	19
1.3.4.3 Značkyoznačování.....	20
1.3.4.4 Postupzkoušky.....	20
1.3.5 TvrdostShore.....	22
1.3.5.1 Popiszkoušky.....	22
1.3.5.2 Podstatazkoušky.....	22
1.3.5.3 Zkušebnítěleso.....	23
1.3.5.4 Postupzkoušky.....	23
1.4 DYNAMICKÉMETODYMEŘENÍTVRDOSTI.....	25
1.4.1 TvrdoměřPoldi(Poldikladívko).....	25
1.4.1.1 PodstataapopisPoldihokladívka.....	25
1.4.2 Baumannovokladívko.....	26
1.4.2.1 PodstataBaumannovokladívka.....	26
1.4.2.2 Vnikacítlisko.....	26
1.4.2.3 Určenítvrdostimateriálu.....	27
1.4.3 Duroskep.....	27
1.4.3.1 Podstatazkoušky.....	27
1.4.3.2 Zkušebnízařízení.....	28

1.4.4	Shorehoskleroskop.....	28
1.4.4.1	Podstatazkoušky.....	28
1.4.4.2	Zkušebníza řízení.....	29
1.4.4.3	Zna čení.....	29
1.5	V STŘIKOVÁNÍ.....	30
1.5.1	Charakteristikastrojeprovt říkování.....	30
1.5.2	Procesvst říkování.....	31
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	33
	CÍLEBAKALÁ ŘSKÉPRÁCE.....	34
2	PRAKTICKÁ ČÁST.....	35
2.1	P OPISMATERIÁL Ů –ZPRACOVÁNÍVÝSLEDK Ů.....	35
2.1.1	Podmínkymetodm ěření.....	35
2.1.2	M ěřícíp řístroje.....	36
2.1.3	VysokohustotníPolyethylén(HDPE).....	38
2.1.4	NízkohustotníPolyethylén(LDPE).....	40
2.1.5	Polypropylen(PP30%–bílý).....	43
2.1.6	Akrylonitril-butadien-styren(ABS).....	46
2.1.7	PolyethylénTereftalát(PET).....	48
2.1.8	Polypropylen(PP30%– černý).....	51
2.1.9	Polyamid(25%).....	54
2.2	Z HODNOCENÍTVRDOSTIR ŮZNÝCHDRUH ŮPLAST ŮDLEUR ČITÉMETODY.....	57
2.2.1	M ěřenítvrdostidlemetodySHOREA.....	57
2.2.2	M ěřenítvrdostidlemetodySHORED.....	59
2.2.3	M ěřenítvrdostidlemetodyHR15T.....	61
2.2.4	M ěřenítvrdostidlemetodyHB.....	63
2.3	D ISKUSEVÝSLEDK Ů.....	65
	ZÁVĚR.....	66
	SEZNAMPOUŽITÉLITERATURY.....	67
	SEZNAMPOUŽITÝCHSYMBOL ŮAZKRATEK.....	68
	SEZNAMOBRAŽK Ů.....	70
	SEZNAMTABULEK.....	72

ÚVOD

Bakalářská práce řeší problém měření tvrdosti polymerů. Tvrdost polymerů je jednou z mechanických vlastností, která je důležitá pro finální aplikaci. Tvrdost měříme v celém objemu, ale i v povrchových vrstvách.

Tvrdost, jako jedna z mechanických vlastností má mimořádnou důležitost. Je to proto, že ze všech vlastností materiálu je důležitější zjistit rychleji, nejlevněji a např. měřit na nejmenších rozměrech. Z tvrdosti často odvozujeme i některé další vlastnosti materiálu (pevnost v tahu, obrobitelnost apod.). Zkouší se buď na zkušebních vzorcích, nebo přímo na hotových výrobcích.

Podstatou zkoušek je vtlačování tvrdých hrotů do povrchu zkušebního tělesa. Principem měření je určení vztahu mezi silou, která vtlačuje tvrdý hrot, a plochou otisku, která vzniká vtlačováním hrotu. Vzhledem k tomu, že plasty jsou materiály převážně houževnaté a jejich povrchy se vtlačováním více či méně deformují, vyvinuly se tyto zkoušky v měření odporu celého objemu proti vtlačování hrotu. Tvrdost je vlastně vyjádření tuhosti plastů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Tvrdość

Tvrdość lze definovat jako odolnost materiálu (povrchu materiálu v místě lokality) proti místní deformaci vyvolané konkrétním zatěžením (vnikajícím tělesem - indentorem) působením přesně definovaného zatěžení. Mírou tvrdosti je konkrétní velikost trvalé plastické deformace.

Tvrdość však není žádnou fyzikálně definovatelnou vlastností, nýbrž je výslednicí celé řady vlastností hmoty, a to zejména vlastností povrchu. [1]

Zkoušky tvrdosti rozdělujeme na zkoušky vrypové, vnikací a odrazové. Dále statické (Brinell, Vickers, Rockwell) a dynamické (Poldikladívko, Baumannovo kladívko, Shorehoskloskop, duroskop, ...). [2]

1.2 Zkoušky tvrdosti

Zkoušky tvrdosti patří k nejstarším a nejrozšířenějším zkouškám u jiných technických materiálů (jedná se prakticky o zkoušky nedestruktivní, neboť funkční vzhledové porušení zkoušených dílů je většinou bezvýznamné).

Z tvrdosti často usuzujeme i na některé další vlastnosti materiálu (pevnost v tahu, obrobitelnost apod.). Zkoušky se provádějí na vzorcích, nebo přímo na hotových výrobcích. [2]

Zkoušky tvrdosti lze dle podléhajícího účelu rozdělit na:

- podle principu rozeznávání zkoušky : vrypové, vnikací, nárazové a odrazové

- podle rychlosti působení zatěžení síly : statické a dynamické

- statické: Brinell, Vickers, Knoop, Rockwell, IRHD a Shore A, D

- dynamické: Poldikladívko, Baumannovo kladívko, Durosokop, Shorehoskloskop

- podle způsobu působení zatěžení a typu deformace : staticko-plastické, dynamicko-plastické a dynamicko-elastické

- dle rozeznávání zkoušek : makro a mikro tvrdosti. [1]

1.2.1 Zkouška vrypová

Mohsova stupnice tvrdosti - mastek, sůl, vápenec, křemík, apatit, živec, křemen, topas, korund, diamant (měkká ocel - 5, tvrdá ocel - 8,5, SK - 9,8)

Dnes se jí používá jenomezeně jako protivrátka pro měkčí materiály (sklo, porcelán aj.).

V technické praxi se používá zkouška podle Martense. Vrypová tvrdost podle Martense

HM zajišťuje měření tlakováním kuželového diamantového hrotu s určitým tlakem na

leštěný povrch zkušebníhopředmětu, který se pohybuje určitou rychlostí. Míra tvrdosti

je pak síla F , potřebná ke vzniku vrypu širokého $0,01\text{mm}$. [2]

1.2.2 Zkouška vnikací

Zkouška vnikací je nejpoužívanější zkouškou pro zjištění tvrdosti materiálů. Při

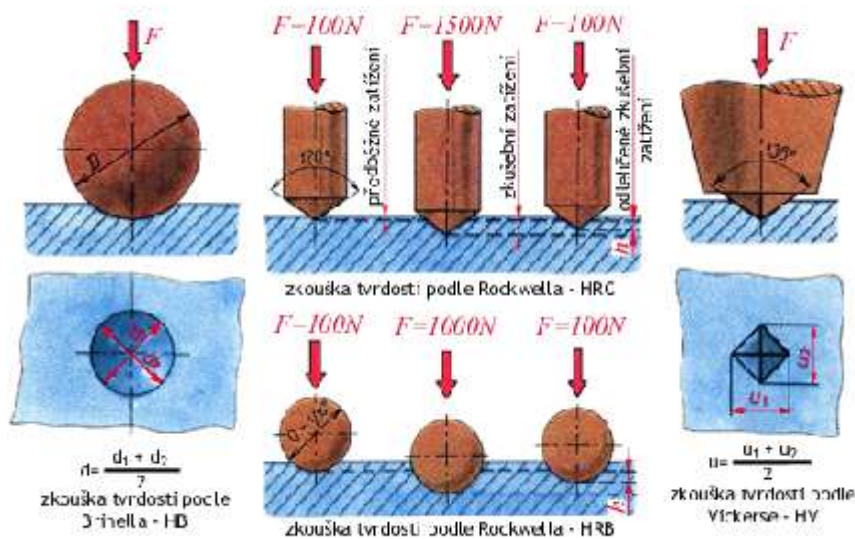
této zkoušce zatlačujeme do zkušebníhopředmětu velmi tvrdé těleso (kulička, kužel,

jehlan) a měřítkem tvrdosti je velikost vzniklého vtisku (jehoplocha, hloubka nebo uhlopříčka, obr. 13.) Nejznámější jsou zkoušky tvrdosti podle Brinella, Rockwella a Vickerse.

Tvrdost neželezných kovů (Cu, Sn, Pb, Al a jejich slitiny) zkoušíme nejčastěji podle Bri-

nella, tvrdá kalená materiálpodle Rockwella. Zkouška tvrdosti podle Vickerse odstraňuje

výhody obou předcházejících zkoušek a je nejpoužívanější. [3]



Obr.1 Zkoušky tvrdosti [3]

1.3 Statické zkoušky tvrdosti

1.3.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella

1.3.1.1 Popis zkoušky

Tvrдость podle Brinella (ČSN 420371) zjišťujeme v tlačivém ocelovém kalené kuličce o průměru $D = 10; 5; 2.5; 2$ a 1 mm rovnoměrně stupňovanou silou F ($F = 300 D^2; 100 D^2; 50 D^2$ a $25 D^2$ N) po dobu t ($t = 10; 30; 120; 180$ s) dolesklé rovinné plochy zkoušebního vzorku nebo zkoušené součásti. Zkouší se na Brinellově tvrdoměru. Kulička vytvoří na zkoušebním vzorku kulovitý vtisk. Tvrдость určujeme podle průměru vtisku, který měříme dvakrát (kolmo na sebe), abychom vyloučili chyby vzniklé nepřesností vtisku. Pro praktickou potřebu jsou sestaveny tabulky, ve kterých podle průměru vtisku d a velikosti použité síly F najdeme průměrnou odpovídající tvrdost a pevnost. [3]

1.3.1.2 Označení tvrdosti

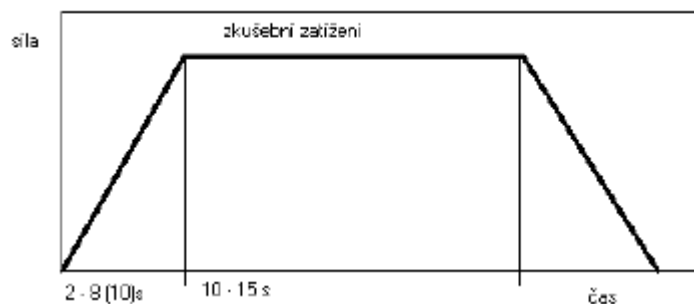
Skládá se ze značky tvrdosti **HB** a k ní připojených údajů podmínek zkoušky, tj. průměru kuličky D , síly F a doby zatížení t . Tyto údaje jsou od sebe odděleny šikmou zlomkovou čarou (např. HB 5/7500/30 = 320). Pro nejběžnější podmínky, tj. HB 10/30000/10, používáme jen označení HB (např. HB = 210). [3]

1.3.1.3 Přesnost měření

Závisí na správném provedení vtisku. U Brinellovy zkoušky je toto provedení obtížné a nepřesné, což je její nevýhodou. Vtisk bývá někdy nezřetelný a nesouměrný. Například průměr vtisku má velký vliv i vtažení materiálu po kraji vtisku (u materiálu nepevněného) nebo naopak vytlačení obvodového valu (u materiálu zpevněného). Příčinou dalších chyb je deformace použité tlačivé ocelové kuličky (je kalená ocel). Pro materiály tvrdší než HB = 400 není již ocelová kulička vhodná a používá se kuličky ze slinutých karbidů. Není vhodná pro kalené předměty. [3]

1.3.1.4 Postup zkoušky

1. Zkouška se provádí obvykle při teplotě 10 až 35 °C, v arbitrážních případech při teplotě 23 ± 5 °C.
2. Při zkoušce musí být použito zkušební zatížení odpovídající zkoušenému materiálu a velikosti kulíčky.
3. Zkušební zatížení musí být vybráno tak, aby průměr měřítiska byl v rozmezí hodnot od 0,24D do 0,6D.
4. Vzorek musí být přizkoušce položen na tuhé podložce. Styčnice plochy musí být čisté, abez cizích tělísek, jedinečné, aby vzorek ležel na podložce tak, aby se při zkoušce nepohnul.
5. Vnikací těleso se zatlačuje do povrchu vzorku zkušebním zatížením směřujícím kolmo k jeho povrchu, bez rázu, chvilky před dosažením hodnoty. Doba začátku zatlačování dosážením zkušební síly nesmí být menší než 2 s a delší než 8 s. Doba působení zkušební síly je v rozmezí 10 až 15 s. Pro některé materiály mohou být použity delší časy, ty však musí být dodržovány s tolerancí ± 2 s.



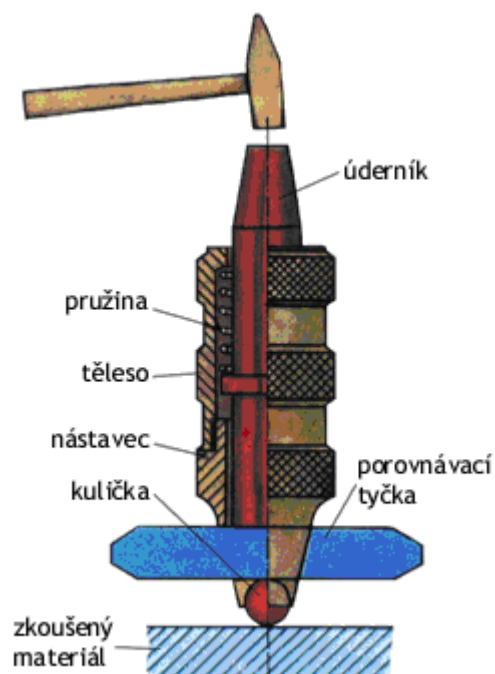
Obr. 2 Průběh zkušebního zatížení – metoda Brinell [2]

6. Během zkoušky musí být zkušební zatížení chráněno proti rázům a chvilce, které mohou ovlivnit výsledek zkoušky.
7. Vzdálenost středů měřítiska od okraje vzorku musí být minimálně 2,5 násobek průměru měřítiska (platí pro ocel, litinu, měď a její slitiny) a minimálně 3 násobek průměru měřítiska pro řídkoušenní lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin. Vzdálenost středů dvou sousedních měřítisk musí být nejméně 4 násobek průměru měřítiska (platí pro ocel, litinu, měď a její slitiny) a 6 násobek průměru měřítiska pro řídkoušenní lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin.

8. Pozkoušce se změří pro úměru každého vtisku ve dvou nebo kolmých směrech. Pro stanovení tvrdosti se bere pro úměrná hodnot velikosti vtisku. [2]

1.3.1.5 Brinellovy tvrdoměry

Mají různé úzky velikosti a provedení. Ve velkých továrnách a laboratořích, kde se zkouší tvrdosti, mají velké stabilní přístroje. Pro malé dílny, sklady, montáž nebo pro zkušební účely nastavba by lze konstruovat malé jednoduché přístroje. Nejpoužívanější z nich je **ruční porovnávací tvrdoměr Poldi** (obr. 3). Principem je porovnání známé pevnosti materiálu porovnávací tyčinky s pevností zkoušeného materiálu. Pracuje se s ním tak, že tvrdoměr položíme ke zkoušenému předmětu a kladívkem uděrní. Ocelová kulička vtiskne do zkoušeného materiálu a vytvoří vtisk. Zároveň se vtiskne i do porovnávací tyčinky. Lupou se změří průměry vtisků na zkoušeném materiálu i na porovnávací tyčince. V tabulkách, které jsou ke každému tvrdoměru přiloženy, vyhledáme příslušné číslo tvrdosti podle velikosti vtisku. [3]



Obr. 3 Ruční tvrdoměr Poldi [3]

číslo tvrdosti podle velikosti vtisku [3]

1.3.2 Zkouška tvrdosti dle Vickerse

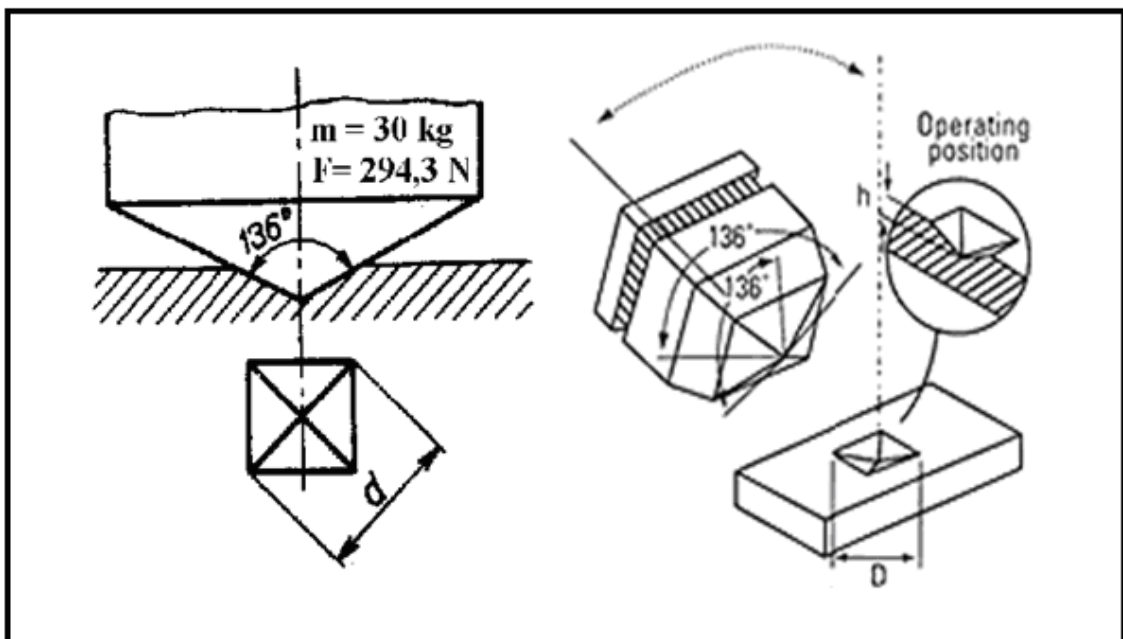
1.3.2.1 Popis zkoušky

Tvrdost podle Vickerse (ČSN 420374) se zkouší na Vickersově tvrdoměru. Do materiálu vtlačujeme diamantový jehlan se čtvercovou základnou a okulárem mikroskopu nebo projekcí. Jihlůvek (obr. 1). Zkušební zatěžující síla bývá od 10 do 1000 N. Doba zatížení se volí od 10 do 180 s. Použité zatížení píšeme do označení, například HV100 ($HV100 = 215$).

Pro běžně zkušební zatížení 300 N používáme označení HV (například HV250).

Pro praktickou potřebu používáme tabulek, ve kterých podle délky úhlopříčky u a použité síly F najdeme odpovídající tvrdost. Těto metody můžeme použít pro všechny tvrdosti. Je velmi přesná a není téměř závislá na zatížení.

Pro kontrolování tvrdosti po celou pracovní dobu se používá ve velkých závodech zdokonalených Vickersových tvrdoměrů, tzv. diastorů. Obraz čtvercového vtisku je promítán ve zvětšeném měřítku na matnici. To umožňuje pohodlně a rychle čtení délky úhlopříčky u . [3]



Obr. 4 Podstata zkoušky dle Vickerse [4]

1.3.2.2 Oblastizkušebního zatížení

Zkouška tvrdosti dle Vickerse je předepsána evropskou normou ČSN EN ISO 6507-1, a to pro tři různé oblasti zkoušebního zatížení (viz následující tabulka). [1]

Zkouška tvrdosti		Zkouška tvrdosti při nízkém zatížení		Zkouška mikrotvrdosti	
Symbol tvrdosti	Nominální hodnota zkoušebního zatížení F [N]	Symbol tvrdosti	Nominální hodnota zkoušebního zatížení F [N]	Symbol tvrdosti	Nominální hodnota zkoušebního zatížení F [N]
HV5	49,03	HV0,2	1,961	HV0,01	0,09807
HV10	98,07	HV0,3	2,942	HV0,015	0,1471
HV20	196,1	HV0,5	4,903	HV0,02	0,1961
HV30	294,2	HV1	9,807	HV0,025	0,2942
HV50	490,3	HV2	19,61	HV0,05	0,4903
HV100	980,7	HV3	29,42	HV0,1	0,9807

Tab. 1 Zkušební zatížení pro zkoušku tvrdosti dle Vickerse [1]

1.3.2.3 Provedení zkoušky

Zkušební těleso musí být uloženo na tuhé podložce, tak aby se během zkoušky nepohnulo. Vnikající těleso (indentor) se zatlačuje do zkušebníhot tělesa zkušebním zatížením směřujícím kolmo k jeho povrchu (tab. 1). Doba od počátku zatěžování až do jeho plné hodnoty nesmí být menší než 2 s a větší než 8 s. Tato doba nesmí u zkoušky utvrdosti při nízkém zatížení a zkoušky mikrotvrdosti nepřekročit 10 s a současně nesmí rychlost zatěžování překročit 0,2 mm/s. Doba plného zkušebního zatížení musí být v rozmezí 10 až 15 s.

Jednotlivé vtisky musí být umístěny tak aby byla splněna podmínka, že vzdálenost středů dvou sousedních vtisků musí být nejméně 3násobek průměrné hodnoty úhlopříček vtisku (pro ocel, měď a slitiny mědi) a nejméně 6násobek v případě lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin. Vzdálenosti středů každého vtisku od okraje zkušebního vzorku musí být nejméně 2,5násobek průměrné hodnoty úhlopříček vtisku (pro ocel, měď a slitiny mědi) a nejméně 3násobek v případě lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin. [1]

1.3.3 Zkouška tvrdosti podle Knoop

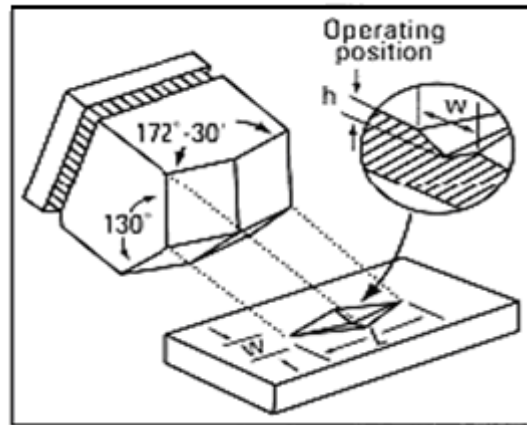
1.3.3.1 Popis zkoušky

Zkouška tvrdosti podle Knoop je určená pro měření tvrdosti v měkčích (například nitridových) vrstvách, protože u této metody je poměrně velký úhlopříčky hloubce vtisku je 30 (u metody Vickers je 7).

Metoda je založena na vtlačování diamantového hrotu do povrchu čtyřbokého hranolu s vrcholovými úhly 172,5° a 130° do zkoušeného materiálu definovanou silou. Vtisk má tvar protáhlého kosočtverce a rozdílné metody Vickers se měří pouze delší úhlopříčkou. [2]

1.3.3.2 Podstata zkoušky

Diamantové vnikací těleso vytváří v měkkém vzorku čtverečnou základnou s předepsanými úhly protilehlých stran v tlakovém povrchu zkušebního tělesa. Následně je měřen delší úhlopříčkový tisk, který vzniká podlehčením zkušebního zatížení F . [1]



Obr. 5 Podstata zkoušky tvrdosti dle Knoop [1]

1.3.3.3 Označování tvrdosti

Tvrdost dle Knoop se označuje symbolem HK a následuje číslice charakterizující velikost zkušebního zatížení a dobu působení zkušebního zatížení v sekundách, liší-li se od předepsané doby (10-15s):

Př. 1: 640 HV_{0,1} = tvrdost dle Knoop 640 stanovena při zkušebním zatížení 0,9807 N působícím dobu od 10 do 15s

Př. 2: 640 HV_{0,1/20} = tvrdost dle Knoop 640 stanovena při zkušebním zatížení 0,9807 N působícím dobu 20s [1]

1.3.3.4 Zkušební těleso

Obdobně jako při měření tvrdosti dle Vickerse musí být umožněno přesné měření delší úhlopříčky v tisku. Hodnocený zkušební vzorek musí mít hladký rovinný povrch, bez okujů, mazadla a cizích tělísek. Hodnocený vzorek se tedy připravuje jako metalografický výbrus, tzn. nesmí dojít k deformaci nebo tepelnému ovlivnění povrchu. Běžně se ří-

prava provádí broušením zamokra a leštěním na diamantových pastách, případně elektro-leštěním. Přesná metoda kapřípravy vzorku se volí dle příslušného materiálu. [1]

1.3.3.5 Provedení zkoušky

Zkušební těleso musí být uloženo na tuhé podložce, tak aby se během zkoušky nepohybovalo. Vnikající těleso (indentor) se zatlačuje do zkušebního tělesa zkušebním zatížením (tab. 1) směrem kolmo k jeho povrchu. Doba od začátku zatěžování až do jeho plné hodnoty nesmí překročit 10 s. Rychlost přibližování vnikajícího tělesa musí být v rozmezí od 15 $\mu\text{m/s}$ do 70 $\mu\text{m/s}$. Doba plného zkušebního zatížení musí být v rozmezí 10 až 15 s.

Jednotlivé vtisky musí být umístěny tak, aby byla splněna podmínka, že vzdálenost středů dvou sousedních vtisků musí být nejméně 3násobek kratší úhlopříčky vtisku (pro ocel, měď, slitiny mědi) a nejméně 6násobek v případě lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin. Vzdálenosti středů každého vtisku od okraje zkušebního vzorku musí být nejméně 2,5násobek kratší úhlopříčky vtisku (pro ocel, měď, slitiny mědi) a nejméně 3násobek v případě lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin. [1]

1.3.4 Zkouška tvrdosti podle Rockwella

1.3.4.1 Popis zkoušky

Tvrdost podle Rockwella (ČSN 420373) zjišťujeme na Rockwellovém tvrdoměru jako rozdíl hloubky vtisku ocelové kuličky nebo diamantového kužele mezi dvěma stupni zatížení (předběžného a celkového, obr. 1). Účelem předběžného zatížení je vyloučit změněné hloubky nepřesnosti povrchových ploch. [3]

1.3.4.2 Podstata zkoušky

Spočívá ve vtačování vnikacího tělesa (diamantového kužele, ocelové nebo tvrdokovové kuličky) do povrchu zkušebního tělesa vedle dvou kroků zaurčitéch podmínek. Měřící setrvalá hloubka vtisku $[h]$ při předběžném zatížení po odstranění řídicího zatížení.

Zhodnoty $[h]$ a dvou konstant $[N]$ a $[S]$ se vypočte pomocí vzorce:

$$\text{Tvrdość podle Rockwella} = N - \frac{h}{S} [2]$$

1.3.4.3 Značky a označování

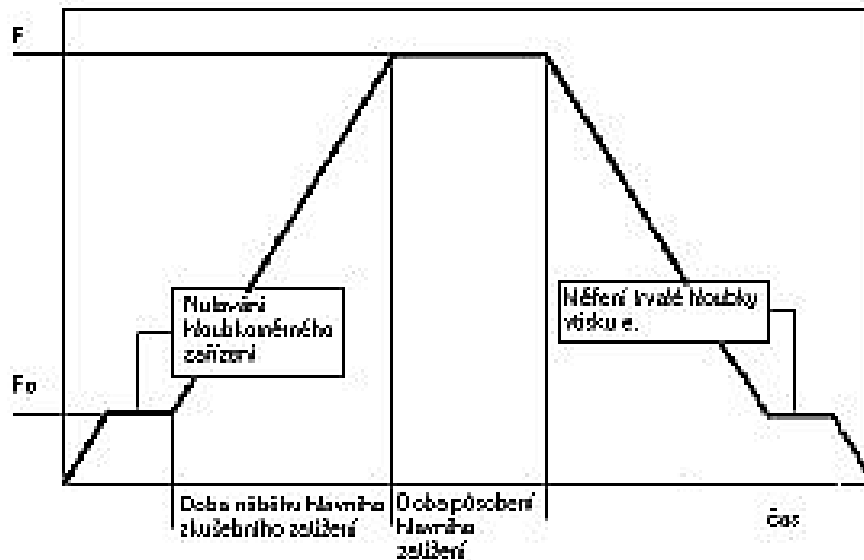
Stupnice tvrdosti	Symbol tvrdosti	Vnikací těleso	Předzatížení F_0 [N]	Celkové zatížení F [N]	Oblast použití
A	HRA	Diamantový kužel	98,07 (10 kg)	588,4 (60 kg)	20 až 88 HRA
B	HRB	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")		980,7 (100 kg)	20 až 100 HRB
C	HRC	Diamantový kužel		1 471 (150 kg)	20 až 70 HRC
D	HRD	Diamantový kužel		980,7 (100 kg)	40 až 70 HRD
E	HRE	Ocelová kulička 3,175 mm (1/8")		980,7 (100 kg)	70 až 100 HRE
F	HRF	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")		588,4 (60 kg)	60 až 100 HRF
G	HRG	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")		1471 (150 kg)	30 až 94 HRG
H	HRH	Ocelová kulička 3,175 mm (1/8")		588,4 (60 kg)	80 až 100 HRH
K	HRK	Ocelová kulička 3,175 mm (1/8")		1471 (150 kg)	40 až 100 HRK
15 N	HR 15 N	Diamantový kužel		29,42 (3 kg)	147,1
30 N	HR 30 N	Diamantový kužel	294,2		42 až 86 HR 30 N
45 N	HR 45 N	Diamantový kužel	441,3		20 až 77 HR 45 N
15 T	HR 15 T	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")	147,1		67 až 93 HR 15 T
30 T	HR 30 T	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")	294,2		29 až 82 HR 30 T
45 T	HR 45 T	Ocelová kulička 1,5875 mm (1/16")	441,3		1 až 72 HR 45 T

Tab.2 Stupnice podle Rockwella [2]

1.3.4.4 Postup zkoušky

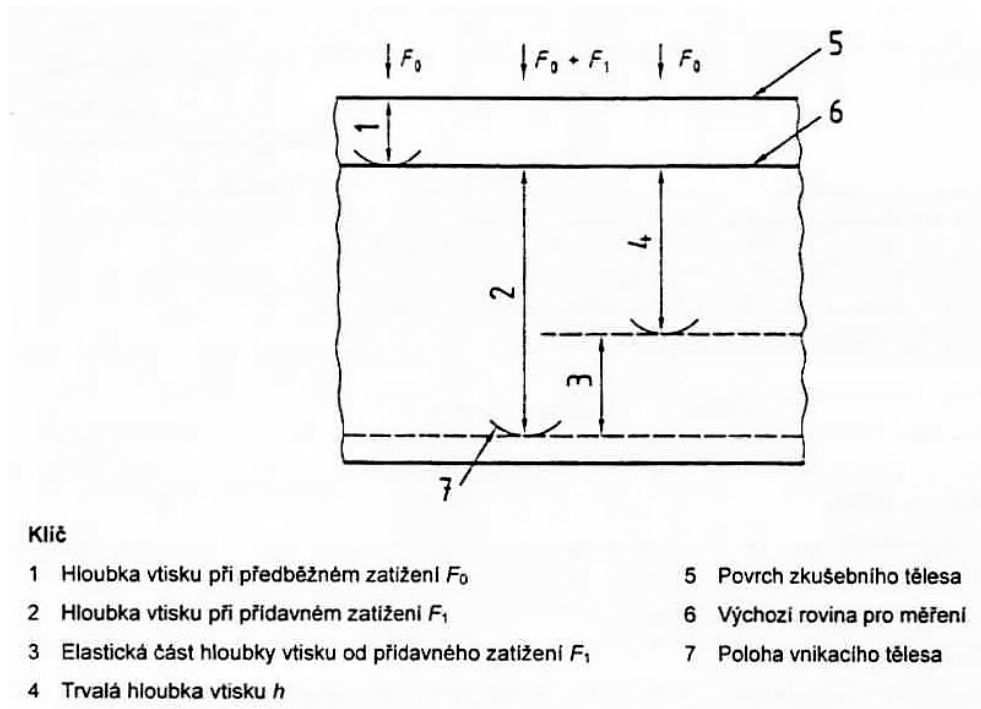
- Zkouška se provádí obvykle při teplotě 10 až 35 °C, v arbitrážních případech při teplotě 23 ± 5 °C.
- Zkušební těleso musí být umístěno na tuhém podloží a podle předpokládaného způsobu, aby zkoušený povrch byl v rovinném kolmém ose vnikacího tělesa a směr zatížení. Rovněž musí být vyloučeno posunutí zkušebního tělesa.
- Vnikací těleso se přivede do styku se zkoušeným povrchem a zatíží se předběžným zatížením F_0 bez rázu, chvilky a kmitání. Dobře působení předběžného zatížení F_0 nesmí překročit 3 s.
- Měřicí zařízením se nastaví do počáteční polohy bez rázu, chvilky a kmitání se zvýší zatížení z F_0 na F_v čas od 1 do 8 s. (Vnikací těleso se zatlačí do povrchu vzorku

zatížením směřujícími kolmo ke jeho povrchu a žna hodnotou F před zatížením. Podosažení před zatížením se nulujeme (řídící za řízení hloubky vtisku).



Obr.6 Průběh zatížení u zkoušky dle Rockwella [2]

5. Doba působení celkového zatížení musí být $4+2s$. Podle členění řídicího zatížení F_1 , kdy působí ředběžné zatížení F_0 , a po krátké době stabilizace, se musí provést konečné čtení.
6. Hodnota tvrdosti podle Rockwella se stanoví z trvalé hloubky vtisku h užitím vzorce z tabulky, obvykle se však čte přímo na řídicím za řízení.
7. Zkušební za řízení musí být chráněno před nárazy a vibracemi během celého zkoušky.
8. Vzdálenost mezi ředy dvou sousedních vtisků musí být alespoň čtyřnásobek průměru vtisku (alenejméně 2mm). Vzdálenost středy každého vtisku od okraje čela musí být alespoň 2,5 násobek průměru vtisku (alenejméně 1mm). [2]



Obr.7 Princip metody Rockwell–Stanovení tvrdosti [2]

1.3.5 Tvrdost Shore

1.3.5.1 Popis zkoušky

Existuje celá řada přístrojů tohoto typu lišících se rozsahy. V ČR se nejvíce používá přístroj typu AaD. Tyto tvrdoměry jsou založeny na zatěžování pomocí pružin, které je nutné řádně kalibrovat a kontrolovat jejich stav.

Měření tvrdosti Shore D se podle normy ISO 4500 používá v případech, kdy tvrdost daného materiálu překračuje 85 jednotek stupnice Shore A. [5]

1.3.5.2 Podstata zkoušky

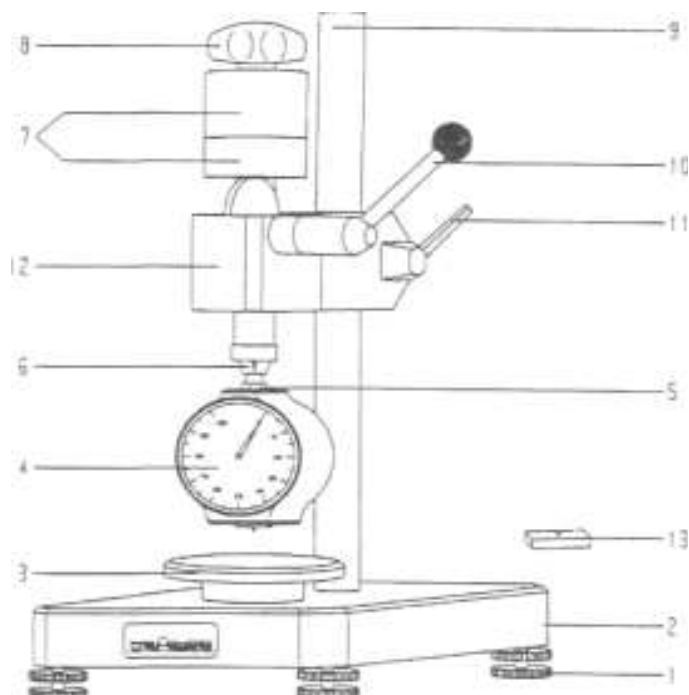
Podstata zkoušky metodou typu D je měření odporu proti tvlačení hrotu předepsanéhotvaru do zkoušeného materiálu. Odpor, který pružina vyvíjí, se měří pomocí pružiny. Tvrdost je přímo úměrná tvrdosti měřícího hrotu do zkoušeného materiálu a závisí na modulu pružnosti a viskoelastickém stavu vulkanizátu. Vyjadřuje se v jednotkách Shore D. [5]

1.3.5.3 Zkušební těleso

Zkušební těleso musí být hladké, rovinné a bez viditelných defektů. Velikost musí být taková, aby jednotlivá měření byla v místech vzdálených nejméně 12 mm od okraje a od sebe vzdálených nejméně 5 mm. Tloušť kamusí být nejméně 6 mm, přitom tvrdost nad 50 Shore D může být 3 mm. Zkušební těleso je možné složit z několika tenkých vrstev, aby se požadované tloušťky dosáhlo. Vzhledem k tomu, že nelze vždy dosáhnout dokonalého kontaktu mezi jednotlivými vrstvami, nemusí být výsledkem měření navíc vrstevných zkušebních tělesech shodovat výsledky na zkušebních tělesech z jednoho kusu. Přítlačná síla tvrdoměru je vyvozována ocelovou pružinou, která se unavuje a považuje se v měřicí technice za nespolehlivý prvek. Při častém používání dochází také k obroušování hrany čidla a k jeho poškození při manipulaci. Výhodatvaru čidla spočívá v tom, že vzdálenost mezi hloubkou deformace a log E je lineární. [5]

1.3.5.4 Postup zkoušky

Při měření se postupuje tím způsobem, že se tvrdoměrem přiloží na zkušební těleso tak, aby patka pevně přisedla na celou plochu. Zkušební těleso se položí na opěrnou podložku, přítlačník měřicí hlavy a po stanoveném čase upůsobení přítlačné síly se odečte údaj tvrdosti. Tvrdost se odečítá nastupnicí tvrdoměru za 15 ± 1 sekunda, výsledná hodnota je aritmetický průměr čtyř naměřených hodnot. Zatížení je vyvozováno pomocí závaží. U některých přístrojů jsou zamontovány vibrátory, které během 3 sekund rychlují dosažení rovnovážné hodnoty. Zkušební těleso má mít tloušťku minimálně 6 mm. Měření se provádí 12 mm od okraje a nejméně 5 mm od sebe. Tloušťka přitom tvrdost nad 50 Shore D může být 3 mm. Hodnota tvrdosti se odečítá za 15 sekund po přiložení tvrdoměru. Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr z 5 měření.



Obr. 8 Schéma měřicího přístroje Shore [5]

Popis obrázku:

1. Rýhovaná patka
2. Hliníkový podstavec
3. Měřicí úl
4. Číselníkový úchylkoměr
5. Kloubová upínka
6. Svírací kleština
7. Závaží
8. Matice
9. Vodicí sloupek
10. Spouštěcí páka
11. Zajišťovací páka
12. Posuvný držák
13. Kalibrační vzorek
14. Demontovatelné závaží

1.4 Dynamické metody měření tvrdosti

1.4.1 Tvrdoměr Poldi (Poldi kladívko)

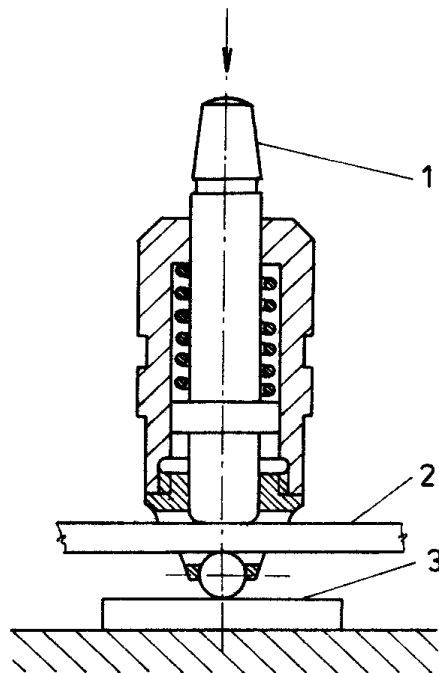
1.4.1.1 Podstata a popis Poldi kladívka

Přenosný tvrdoměr, který umožňuje stanovení tvrdosti na základě plastické deformace vzniklé rázem a porovnání velikosti vzniklého vtisku s velikostí vtisku na materiálu (etalonu) oznámé tvrdosti. Jde o nejmenší přenosný tvrdoměr pro měření tvrdosti metodou Brinell. Oblast jeho využití je především pro měření tvrdosti na velkých výrobních konstrukcích, kde nelze využít měření na statickém nebo přenosném tvrdoměru, které pracují normalizovanou metodou Brinell. Výhodou tvrdoměru jsou jeho malé rozměry, hmotnost a možnost funkčnosti prakticky v jakékoliv poloze. Tvrdoměr byl vyroben a patentován již v r. 1921.

Tvrdoměr se skládá z pouzdra a odpruženého pístu. Pouzdro je ukončeno držákem vnikací ocelové kuličky o průměru 10 mm. Mezi kuličkou a pístem se vkládá porovnávací kalibrovaná tyčka čtvercového průřezu o hraně 1 mm a tvrdost cca 200 HBS.

Pro vlastní měření se přístroj postaví kolmo k povrchu zkoušeného předmětu a píst se udeří kladivem o hmotnost cca 500 g. Nárazem kladiva vytvoří 2 vtisky – jeden na zkoušeném předmětu a druhý na porovnávací tyčce. Porovnáním průměrů obou vtisků lze zpřepočítávací tabulek dodávaných s tvrdoměrem určit tvrdost zkoušeného předmětu (HB POLDI).

Měření je ovšem zatíženo poměrně značnou chybou (až ± 10%) a zajištění hodnot tvrdosti je nutně hledět jen jako hodnotu informativní. [2]



Obr.9

Poldihokladívko[2]

1.4.2 Baumannovokladívko

1.4.2.1 Podstata Baumannovakladívka

Je to mobilní tvrdoměr, který se používá v průmyslu a v laboratorních podmínkách.

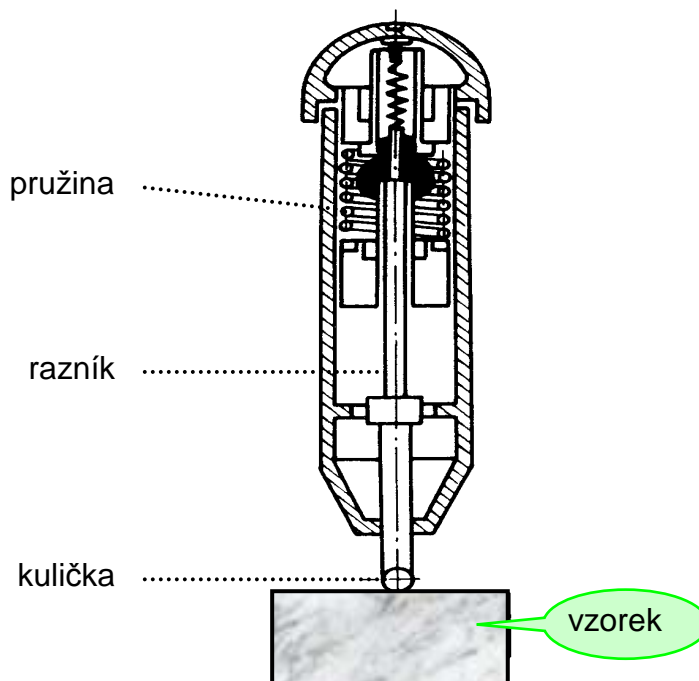
Principem je, že při zatížení pružiny, která je součástí kladičky, dojde k úderu razníku na vnikací žilisko ve tvaru kuličky a jeho vtlačení do povrchu zkušebního tělesa. Měří se průměr vtisku d_{mat} , který závisí na tvrdosti povrchu zkušebního materiálu. Tvrdost se určuje jako poměr zkušebního zatížení a povrchu vtisku (má povahu napětí). Zkouška se provádí na povrchu, který je hladký a rovinný, bez okujených vrstev, cizích těles a bez mazadel. Naproti těmto stranám zkušebního tělesa nesmí být pozorovatelné stopy deformace.[2]

1.4.2.2 Vnikací žilisko

Ocelová kalená kulička o průměru 10 mm. Zatížení F [N] je vyvoláno úderem razníku na vnikací žilisko. Síla nárazu je vždy stejná (vyvinutá silou pružiny), proto nemusí být součástí Baumannovakladívka etalon.[2]

1.4.2.3 Určení tvrdosti materiálu

Změří se dva kolmé průměry vtisku ve zkoušeném materiálu d_{mat1} [mm] a d_{mat2} [mm], z nich se vypočítá aritmetický průměr d_{mat} [mm], tvrdost materiálu je určená pomocí hodnoty d_{mat} z tabulek. Výsledná informace o hodnotě tvrdosti je zapisována HB BAUMANN.[2]



Obr. 10 Schéma Baumannovakladívka

[2]

1.4.3 Duroskop

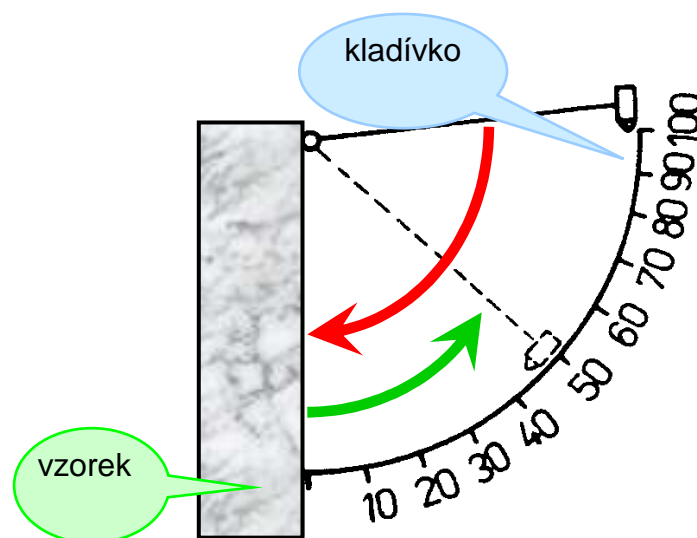
1.4.3.1 Podstata zkoušky

Spuštění definovaného zkoušebního tělesa z určité výšky na vlnitý povrch zkoušeného materiálu. Sleduje se úhel β , do něhož zkoušební těleso podpadlo do skvrny. Zkouška se provádí na povrchu, který je hladký a rovinný, bez okujené vrstvy, cizích tělísek a bez mazadel. Vzhledem k tomu, že zkouška je založena na elastické deformaci zkoušeného povrchu, nemohou být nalezeny viditelné stopy deformace.

Určení tvrdosti materiálu: měří se úhel odskoku zkušebního tělíška β ; někdy bývá měřítko odskoku kalibrováno přímo v jednotkách tvrdosti. Výsledná informace o hodnotě tvrdosti je zapisována následujícím způsobem: hodnota tvrdosti HSh. [2]

1.4.3.2 Zkušební zařízení

Průřez (obr. 11.) se skládá z kladívka a součinné jednostranné ocelové kuličky, které je umístěn na otočném rameni. Kladívko padá z určitého úhlu na zkoušený předmět a při zpětném odrazu vezme sebou vlečnou ručičku, která ukáže úhel odrazu kladívka. Dosažená hodnota tvrdosti se obvykle odečítá přímo na stupnici průstroje. Nepřesnost měření tvrdosti duroskopem je (podobně jako u Shorehoskloskopu) velká. [2]



Obr. 11 Schéma měření tvrdosti duroskopem [2]

1.4.4 Shorehoskloskop

1.4.4.1 Podstata zkoušky

Princip je založen na pružném odrazu tělesa o standardní hmotnosti, které dopadá z konstantní výšky na povrch. Při nárazu tělesa se malá část kinetické energie spotřebuje na nevratnou plastickou deformaci povrchu zkoušeného tělesa a zbývající energie se projeví odrazem tělesa. Z dosažené výšky po odrazu se vypočítá hodnota tvrdosti, která ale u dynamických metod zkoušení tvrdosti nedosahuje přesnosti statických metod. Vzhledem k to-

mu, že zkouška je založena na elastické deformaci z koušeného povrchu, nemohou být na tělesepatrný viditelné stopy deformace.

Výsledná informace hodnot tvrdosti je zapisována - hodnotatvrdosti HSh .

U moderních přístrojů pro dynamické zkoušky tvrdosti se používají tělíška o jiném tvaru i hmotnosti než u původní metody a u měření po částeční energii se využívá energie pružiny nebo elektromagnetického pole. Vyhodnocení je prováděno výlučně elektronickými prostředky počítače na jiné stupnici tvrdosti. Přesnost měření závisí na mnoha faktorech, jako je hladkost povrchu, kolmost dopadu tělíška, hmotnosti zkoušeného předmětu a také především na modulu pružnosti zkoušeného materiálu, takže porovnávat lze výsledky měření jen u materiálů s přibližně stejným modulem pružnosti. [2]

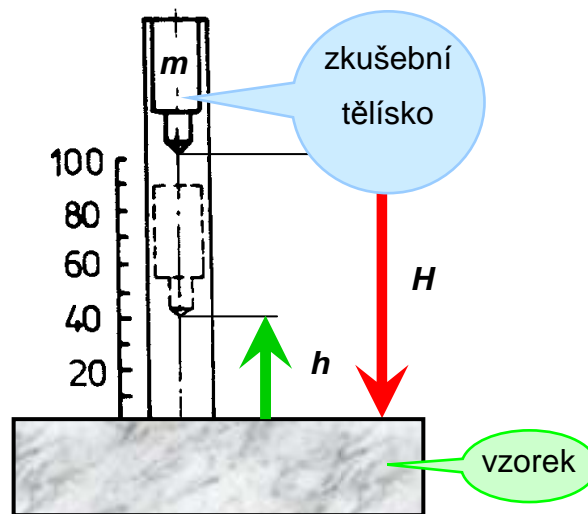
1.4.4.2 Zkušební zařízení

Skleroskop (obr. 12.) se skládá ze skleněné kalibrované trubky, ve které se pohybuje válcové tělíško o hmotnosti $m = 2,5 \text{ g}$. Tělíško je na spodní části zakončeno kulovitě zaobroušeným diamantem a padá volně z výšky $H = 254 \text{ mm}$ ($10''$). Za trubkou je umístěna stupnice udávající empiricky zjištěné stupně tvrdosti podle Shoreho. Dílek $HSh = 100$ odpovídá výšce odrazu od tvrdé kalené oceli. K měření je potřeba jistě zručnost při odečítání výšky odrazu pomocí lupy.

Zkoušený materiál musí být v místě měření hladký a měřicí přístroj musí být umístěn kolmo k jeho povrchu. Zkušební těleso nesmí být zkoušeno dopadnout dvakrát na stejné místo, protože v místě dopadu dochází k nepatrnému zpevnění povrchu, které by následně zkreslilo výsledek měření. [2]

1.4.4.3 Značení

Tvrdost podle Shoreho je označována symbolem HSh a hodnotou tvrdosti. [2]



Obr. 12 Schéma

měření tvrdosti Shorehosklorem [2]

1.5 Vstříkování

Vstříkování umožňuje produkovat dostatečně přesné a kvalitní výrobky z tvrdých výstřiků širokého výběru plastů. Vstříkování je jedinou operací, která umožňuje zpracování granulovaného polymerního výrobku. [6]

1.5.1 Charakteristika stroje pro vstříkování

Zkušební tělísko bylo vyrobeno na vstříkovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 420C. Tento stroj používá pro vstříkování jednotky 350, které jsou koncipovány modulárně skládají se z následujících montážních skupin:

- Hydraulický pohon s hydromotorem
- Rychloupínací spojka
- Nerezová sypkoproplná čílná granulátová
- Modul komory s vyhřívaným plastikačním válcem, plastikačním šnekem a tryskou.

V základním vybavení stroje je plastikační komora ve standardním provedení a regulace vstříkování.

Allround Advance je vybaven 32bitovým multimediálním procesovým řídicím systémem SELOGICA, který umožňuje strojům Allrounder jednoduše a bezpečně ovládat komplexní technologii vstřikování. Tento vstřikovací stroj je předurčen pro univerzální řešení všech úkolů v oblasti vstřikování, ale lze ho použít také pro všechny speciální oblasti zpracování plastů, jako například v oblasti vícekomponentního vstřikování nebo v oblasti zpracování LSR nebo PET-materiálů. [6]



Obr.13 Vstřikovací stroj [6]

1.5.2 Proces vstřikování

Vstřikovací proces lze rozdělit do 4 hlavních fází:

- Plastifikace materiálu v tavném válci. Když čepem je připraven homogenní tavenina plastu a shromáždí ji před čepem šneku.
- Vstřiknutí taveniny do formy, konkrétně do uzavřené prázdné formy axiálním posunem šneku.
- Dotlačování taveniny a její chlazení ve formě.
- Vyjmutí vstřikované formy. [6]

Smrštění:

Smrštění znamená zmenšování rozměrů výtisků při chlazení plastu ze zpracovatelské teploty na normální. Rozpoznáváme smrštění ve formě adozních zmenšení rozměrů výtisků během času. Má-li být získán výtisk určitých rozměrů, lze předpokládat jeho smrštění plastu snadnou pravitelnou formou. [6]

Ochlazení:

Chlazení výtisků ve formě probíhá již během vstřikování, ale hlavně souběžně s dotlačováním. Chlazení je ovlivněno především tvarem výtisků, tloušťkou, teplotou taveniny, vstřikovací rychlostí, průběhem dotlaku, teplotou formy a konstrukcí chlazení formy. [6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo provést měření tvrdosti vybraných typů polymerů zvolenými metodami měření tvrdosti.

Hlavní kroky resp. zásady bakalářské práce byly:

1. Vypracovat literární studii nadaným tématem.
2. Provést přípravu vzorků pro měření tvrdosti.
3. Provést měření tvrdosti u připravených vzorků.
4. Vyhodnotit výsledky měření.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Popis materiálů – zpracování výsledků

2.1.1 Podmínky metody řešení

Pro experimentální řešení bylo vybráno 7 typů termoplastů (tab.3). Byly zvoleny 4 typy zkoušek tvrdosti. Každý typ termoplastu byl daným typem zkoušky tvrdosti vždy změřen 25-krát na různých místech. Výsledky řešení byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

Pro experimentální řešení zde používám statistické vzorce to:

- Vzorec pro výpočet průměrné hodnoty: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
- Vzorec pro výpočet střední kvadratické chyby aritmetického průměru:

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

Značka materiálu	Název materiálu
HDPE	Vysokohustotní Polyethylén
LDPE	Nízkohustotní Polyethylén
PP(30%)-bílý	Polypropylen
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
PET	Polyethylén Tereftalát
PP(30%)-černý	Polypropylen
PA(25%)	Polyamid

Tab.3 Tabulka

řešených materiálů

2.1.2 Měřicí přístroje

1. Tvrdoměr SHORE: SondaproShoreA, SondaproShoreD (obr.14.)

2. Rockwell útvrdoměr AFRIIntegrale (obr.15.)

3. Mikrotvrdoměr FM-700 (Microhardnesstester FM-700) (obr.16.)



Obr.14 Tvrdoměr

SHORE



Obr.15 Rock

wellův tvrdoměr AFRI Integrace



Obr.16 Mikrotvrdoměr

FM-700 (Microhardnesstester FM-700)

2.1.3 Vysokohustotní Polyethylen (HDPE)

Mléčně-zakalená (bílá) látka bez chuti a zápachu.

VLASTNOSTI:

- 700-1400 MPa
- pevnost 20-33 MPa

ZPRACOVÁNÍ:

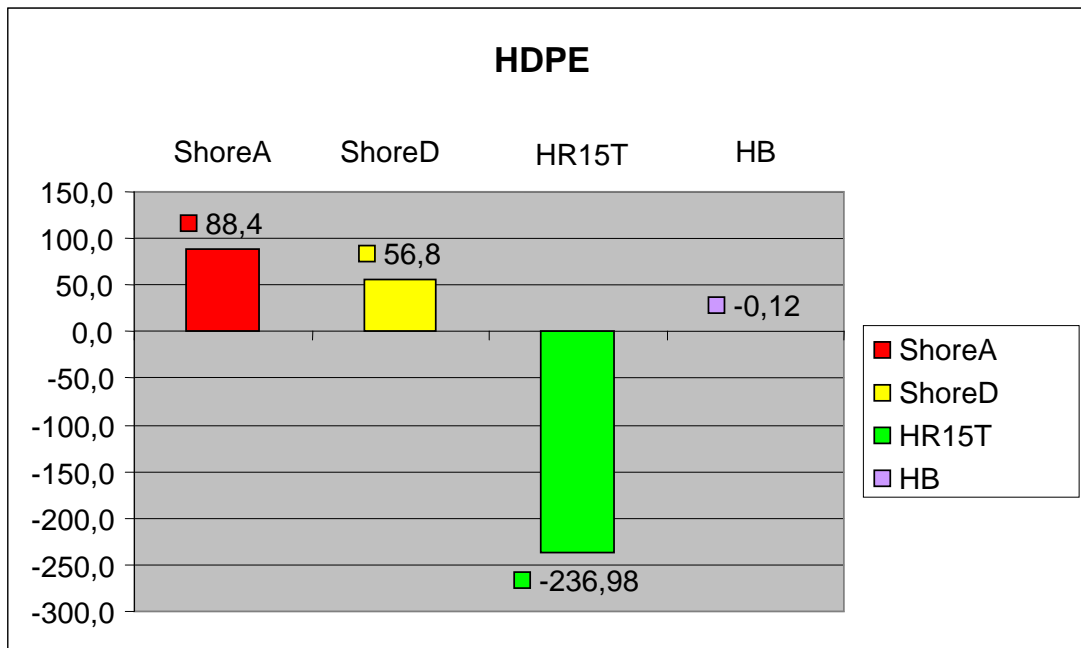
- vstříkování, vytlačování, vyfukování

POUŽITÍ:

- benzinové kanystry, automobilové nádrže, sudy (až 200 litrů), velkorozměrné hrálky a sportovní náčiní, lahve na mléko, kosmetické a farmaceutické přípravky nebo domácí chemie, velkoobjemové tanky až 10000 litrů, folie, trubky, desky, orientované pásy, pytle, vstříkované výrobky.

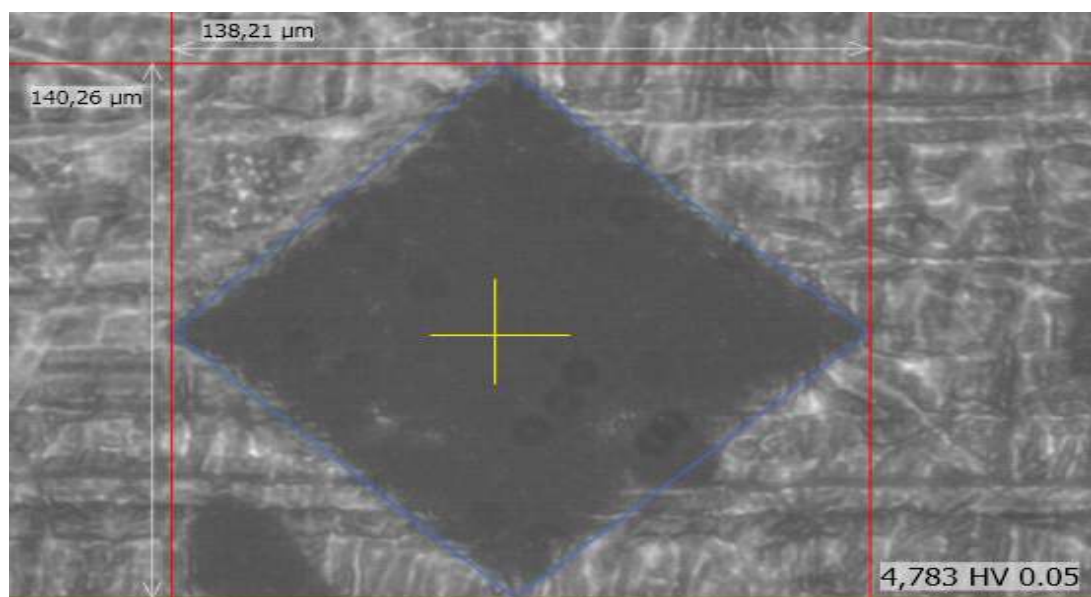
OBCHODNÍ NÁZVY:

- Chemopetrol Litvínov-LITEN,
- PCD-DAPLEN,
- Exxon Chemical-SCORENEHD,
- BASF-Lupolen

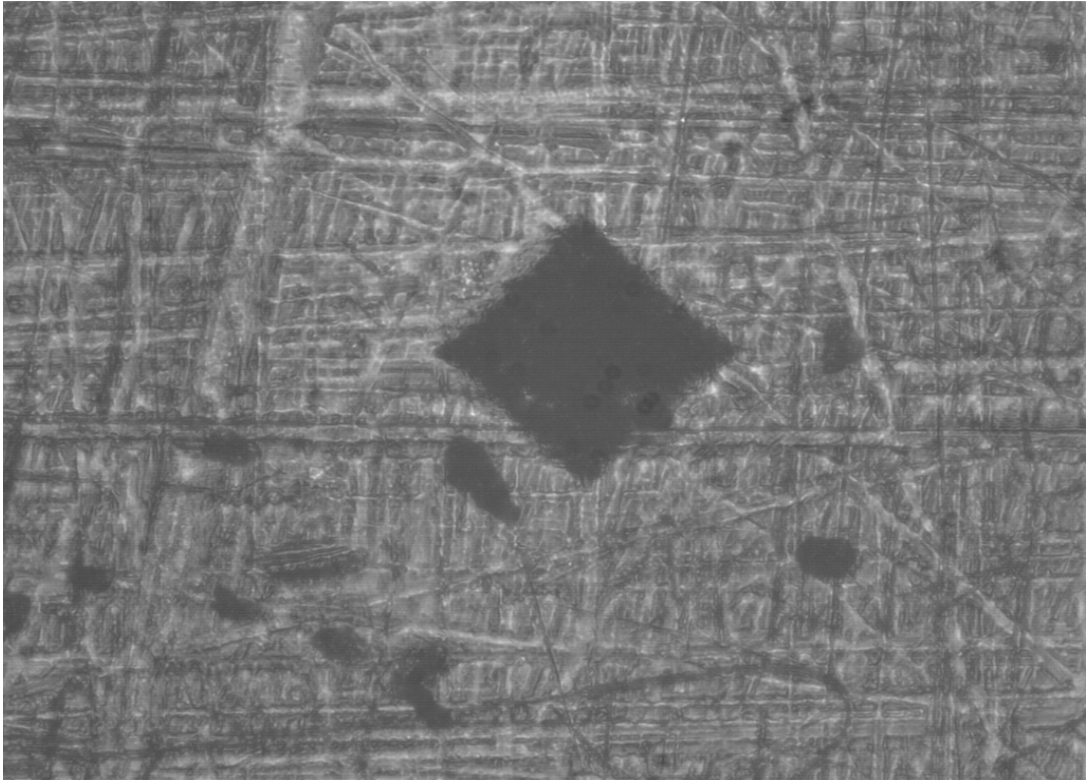


Obr. 17 Tvrdost polymeru Vysokohustotní Polyethylen (HDPE)

U Vysokohustotního Polyethylen (HDPE) bylo prokázáno, že k měření jeho tvrdosti je možné použít metodu Shore A a také metodu Shore D, protože výsledky odpovídají cílové tvrdosti prototypu materiálu, jak je patrné na obr. 17. Metody HR15T a HB byly prototypu plastu nedostatečné, což nám dokazuje naměřená hodnota, která se pohybuje v záporných číslech.



Obr. 18 Tvrdost polymeru Vysokohustotní Polyethylen (HDPE) z měření mikrotvrdostním



Obr. 19 Vtisk mikrotvrdoměřem u Vysokohustotního Polyethylénu (HDPE)

Namikrotvrdoměřem jsme odečetly hodnotu 4,783 HV (obr. 18), kterou následně vyhodnotil software a zobrazil nám tvar vtisku u tohoto materiálu (obr. 19).

2.1.4 Nízkohustotní Polyethylen (LDPE)

Je to měkký, pevný a ohebný druh polyethylenu vzhledem k jeho vysokému podílu načetvené struktuře.

VLASTNOSTI:

- pevnost v tahu 7-25 MPa
- mez kluzu 7,7-24 MPa
- $E = 200-400$ MPa
- krystalinita 50-75%

ZPRACOVÁNÍ:

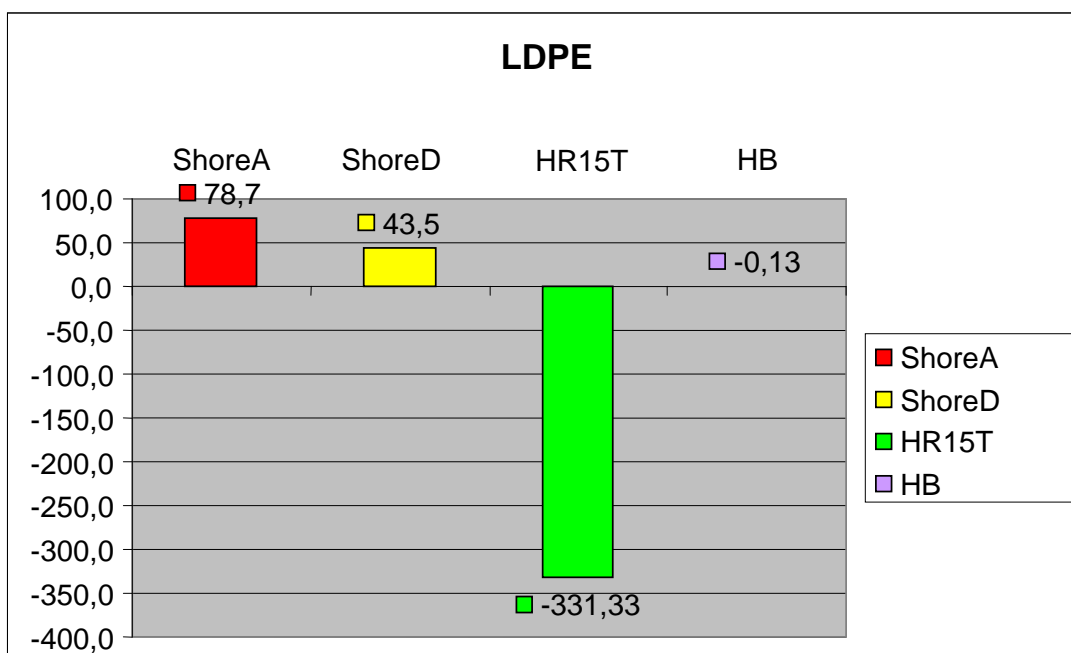
· vstříkávání, vytlačování, vyfukování

POUŽITÍ:

· je používán pro pevné, poddajné předměty jako jsou například víka podobné výrobky. Byl dlouho používán jako izolací materiál. V současnosti je nejvíce oblíbenou aplikací folie, mezi dalšími příklady patří dopravní pytle, balicí materiál, tenké zemědělské přikrývky, obalové zemědělské fólie, trubky, trubičky, desky, lahve atd.

OBCHODNÍ NÁZVY:

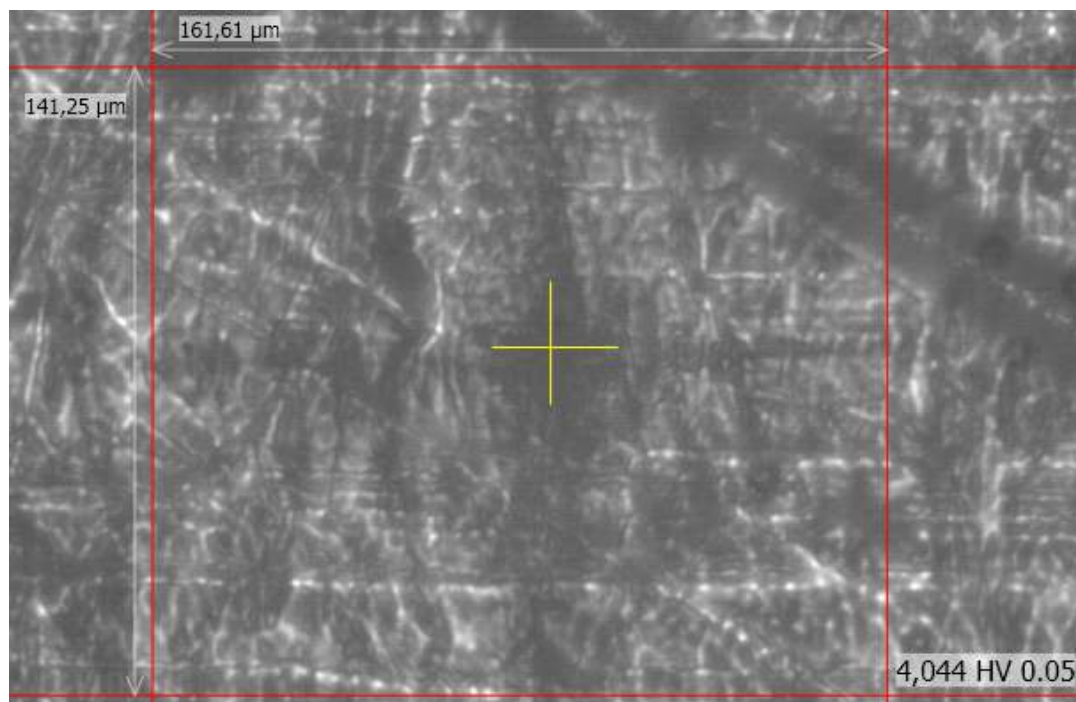
· BRALEN-SLOVNAFT Petrochemicals,
· TIPOLEN-Tiszai Vegyi Kombinát Rt. Tiszaújváros



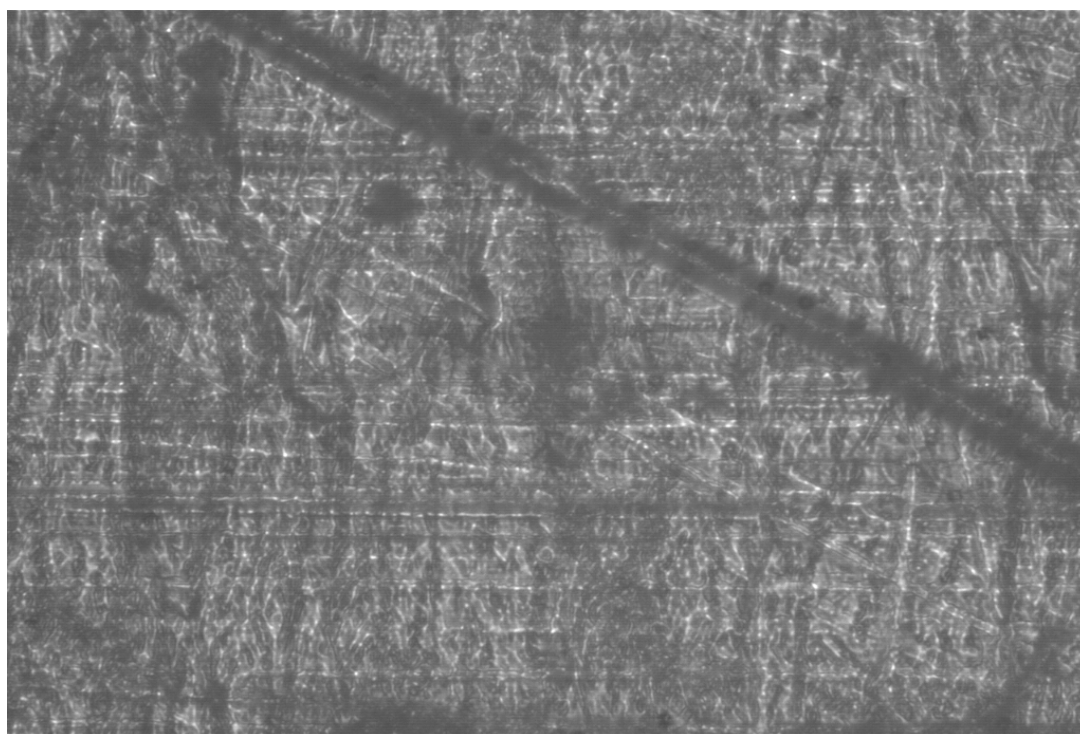
Obr. 20 Tvrdost polymeru Nízkohustotního

stotního Polyethylénu (LDPE)

Nízkohustotního Polyethylénu (LDPE) nastala obdoba situace jako u Vysokohustotního Polyethylénu (HDPE) a to, že opět jsou menšími hodnotami tvrdosti měřeny metodami Shore A a Shore D. Hodnoty metod HR15T a HB jsou opět v oboru záporných čísel. (viz obr. 20)



Obr. 21 Tvrdost polymeru Nízkohustotní Polyethylén (LDPE) změřená mikrotvrdoměrem



Obr. 22 Vtisk mikrotvrdoměru u Nízkohustotního Polyethylénu (LDPE)

Namíkotvrdoměrujemeodečetlypodobnouhodnotu, jakou Vysokohustotního Polyethy-
lénu (HDPE)ato 4,044HV (obr. 21). Na obr. 22 je zobrazen tvrdostní měřicí přístroj pro Nízkohus-
totní Polyethylen (LDPE), který má tvar hvězdice.

2.1.5 Polypropylen (PP 30% – bílý)

VÝROBA:

- řetězec: izotaktický, syndiotaktický, ataktický,
- obecný vzorec: $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$,
- vznik při zpracování ropy,
- iontová – srážecí, bloková,
- v plynné fázi modifikované ZNK,

VLASTNOSTI:

- modul pružnosti 1 100–1500 MPa, pevnost 34–38 MPa,
- krystalinita 50–75%,
- nerozpustný ve všech organických rozpouštědlech,
- výborné elektroizolační vlastnosti,
- odolává vroucí vodě.

ZPRACOVÁNÍ:

- vstříkáním, vytlačováním, lisováním,
- v šedé 280°C

1. ZVLÁŠTNOSTI

· MELT-BLOWN – extrémní teploty taveniny – „odfukování“ – netkaná rouna z mikrovláken.

2. VSTŘIKOVÁNÍ: PP-H, PP-R, PP-B – nukleované typy řízené ureologií – hromadná výroba kelímků a dalších potravinářských chobalů. Velkoplošné technické výstřiky do tloušťek 3 mm, malé domácí potřeby.

3. VYFUKOVÁNÍ NÁDOB: Nádobý hladký vnějším povrchem – až 5 litrů (v malých a velkých sériích). Tenkostěnné skořepiny – například surfigové plaváky.

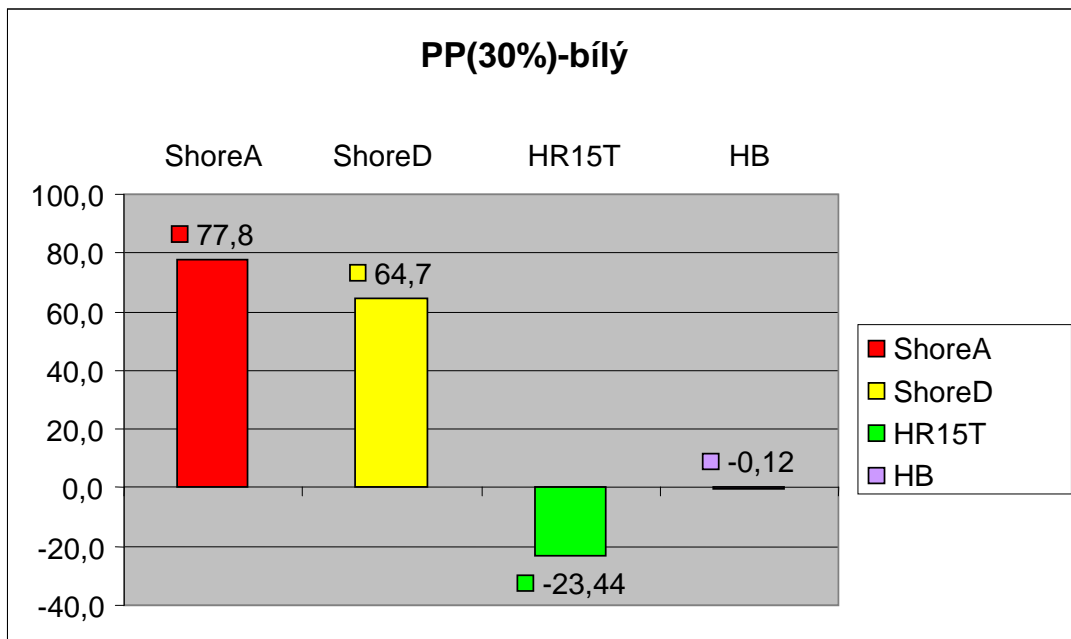
4. VYTLAČOVÁNÍ: PP trubky-domovní sanitární rozvodystudie náteplévody, desky-vanoprochemické lázně.

POUŽITÍ:

· Medicína-Průhledné sterilizovatelné lékařské potřeby-například stříkačky; PP-B-vstříkovaná nízkožmolčivějších výrobků-útesa autobaterií, opravy, vědra, cestovní kufry, kufříky na nářadí nebo také zahradní nábytek, (mástek). AUTOMOBIL VÝPRŮMYSL: PP+plnivo (například mástek čipiliny)-zadní kryty světlometů, nádržky, rozvody chladicí kapaliny, výplně dveří a díly topení. Nízko teplotní houževnatost-PP-B nebo směsi PP/EP(D)M-nárazníky a spoiler.

OBCHODNÍ NÁZVY:

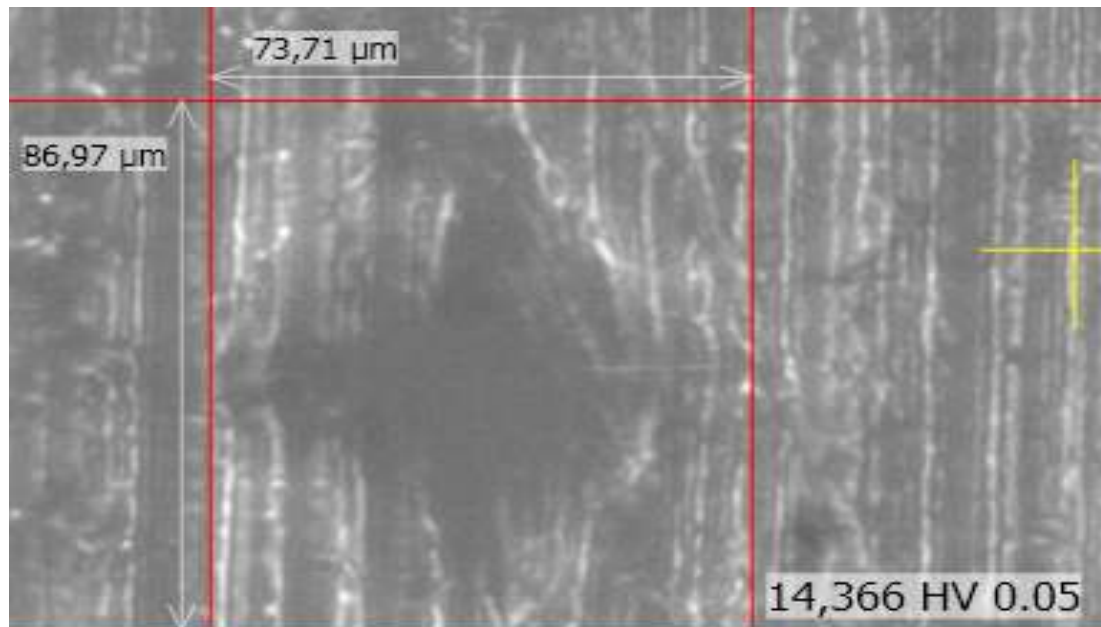
- ESCORENE PP-Exxon Chemical,
- MOSTEN-Chemopetrol,
- NOVOLEN-BASF,
- TATREN-Slovnaft,
- TIPPLEN-TVK



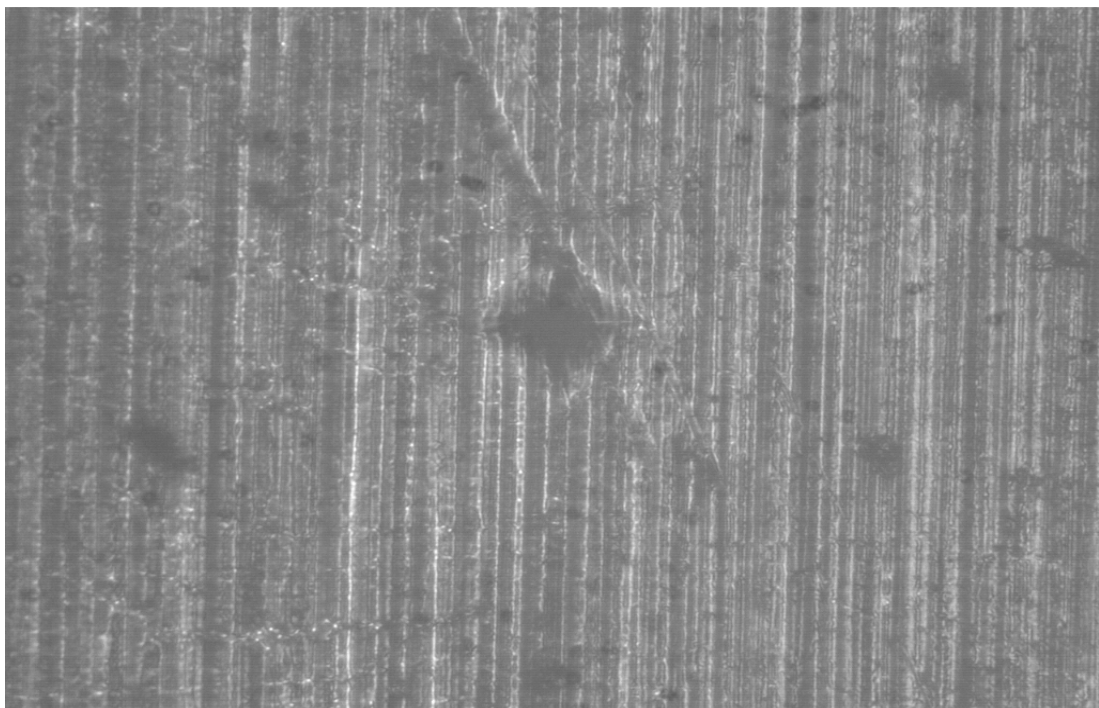
Obr. 23 Tvrdost polymeru bílý Polypropylen

ns30% skelných vláken

Bílý resp. průsvitný Polypropylen plněný 30% skelných vláken je ošetřen vlivem čtyřmi metodami. Metodou Shore A jsme naměřili tvrdost 77,8, která je vyšší jakohodnotu naměřenou metodou Shore D (obr. 23). Ostatní metodami měření tvrdosti jsou nevhodující pro tento materiál.



Obr. 24 Tvrdost polymeru bílý Polypropylen s 30% skelných vláken změřenou mikrotvrdoměrem



Obr. 25 Vtisk mikrotvrdoměru u bílého Polypropylen s 30% skelných vláken

Ublého Polypropylenus 30% skelných vláken jsme namikro tvrdom ěruode četly hodnotu tvrdosti 14,366 HV, jak je vid ětna obr. 24. Na obr. 25 je z řeteln ěvid ěttvar vtisku, který odpovídá dan ěmu materiálu, který jsme pou žili u zko ušky.

2.1.6 Akrylonitril-butadien-styren (ABS)

Je amorfn ě termoplastick ý kopolymer, který je odoln ý v ě ě mechanick ěm u poškození. Tu- hý, hou śevnatý, dle typu odoln ý proti nízk ým i v so k ým teplotám, má lonasákavý, zdra- votn ě nezávadn ý. Je odoln ý v ě ě kyselínám, louh śm, uhlovodík śm, olej śm, tuk śm.

VLASTNOSTI:

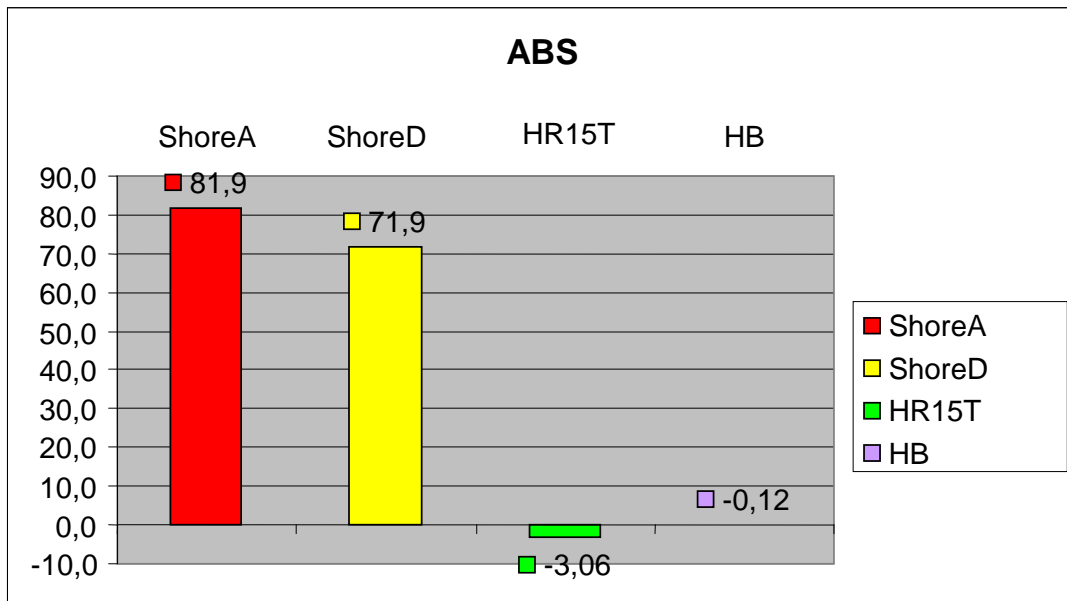
- pevnost 31-37 MPa
- zpracovává tholze do teploty 280°C
- hustota je 1045 kg/m³
- smršt ění 0,3-0,7%
- tepelná odolnost výrobk ś ś jedo 105°C

ZPRACOVÁNÍ:

- vst řikování, lisování + tvarování

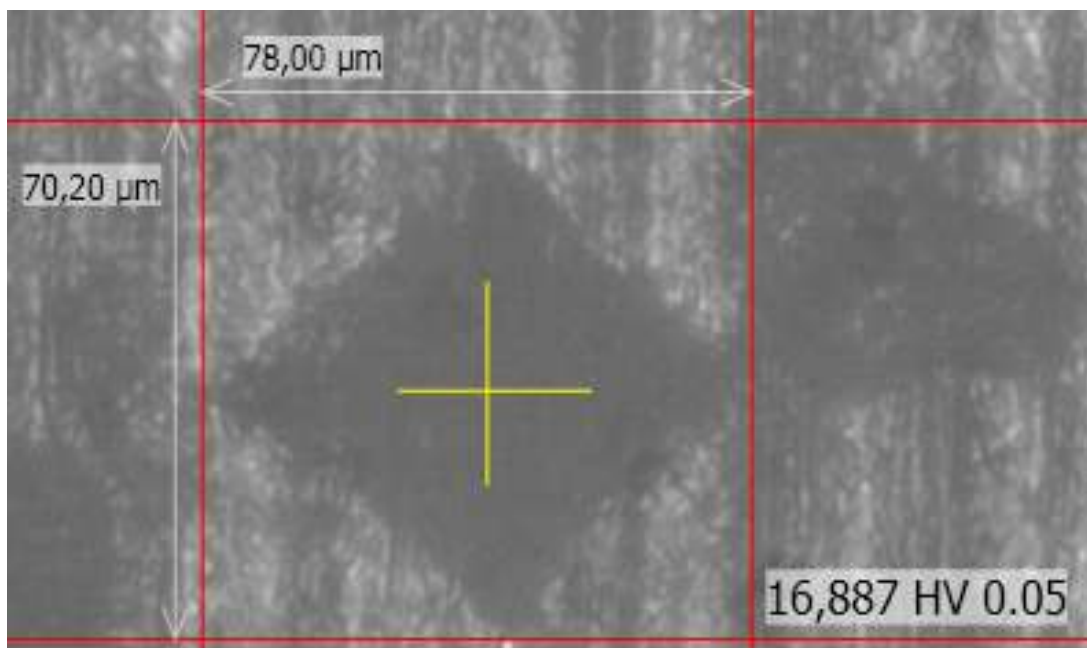
POUŽITÍ:

- kryty p řístroj ś, lego

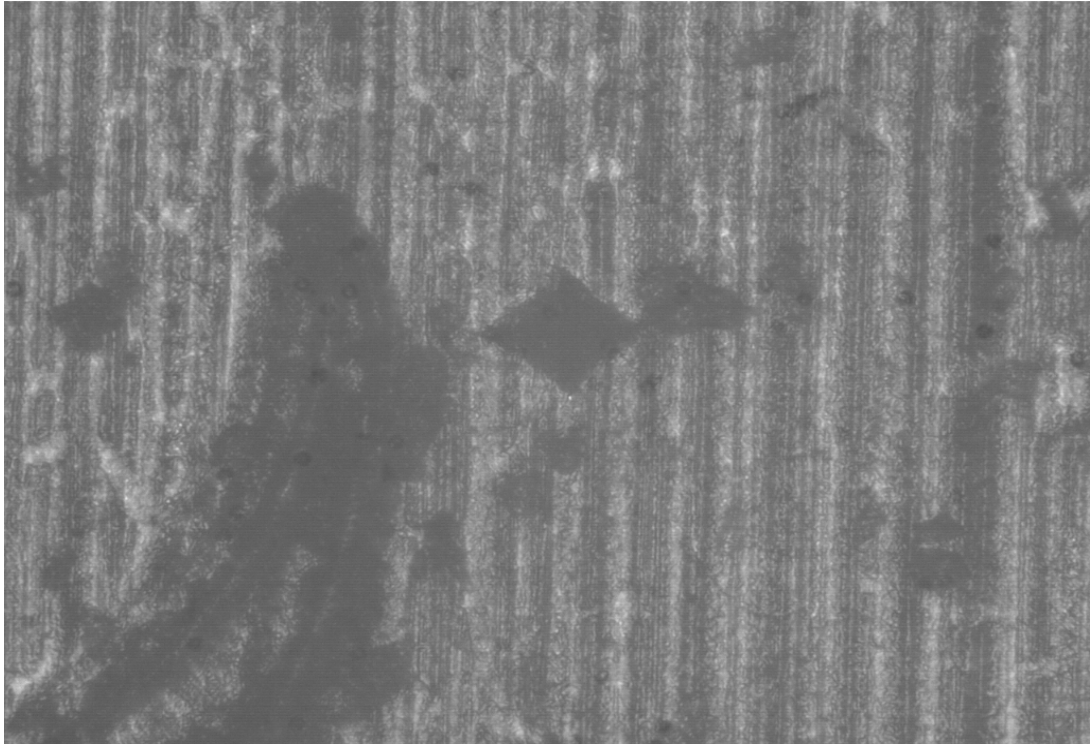


Obr.26 Tvrdość polymeru Akrylonitril-butadien-styren (ABS)

U materiálu Akrylonitril-butadien-styren (ABS) jsme provedli obdobným měřením také u nás vyšší také obdobné výsledky jako u předchozích materiálů. Metodou HB nám pro všechny typy materiálů vyšly identické hodnoty tvrdosti a to hodnotou tvrdosti -0,12, jak je zřejmé na obr.26.



Obr.27 Tvrdość polymeru Akrylonitril-butadien-styren (ABS) z měřením mikrotvrdostí



Obr.28 Vtisk mikrotvrdoměru u Akrylonitril-butadien-styrenu (ABS)

Mikrotvrdoměrode četl hodnota tvrdosti 16,887 HVp při řešení materiálu Akrylonitril-butadien-styren (ABS), jak vidíme na obr.27. Také je možno pozorovat varvtisk u tohoto materiálu, který je zobrazen na obr.28.

2.1.7 Polyethylén Tereftalát (PET)

Nejvýznamnější, lineární, krystalický až ze 40%.

VÝROBA:

· dvoustupňová polykondenzace

VLASTNOSTI:

- $E=2800\text{MPa}$, pevnost 60MPa ,
- špatné tokové vlastnosti a tenzilita – obtížná zpracovatelnost
- PETs 30-40% - výborné mech. vlastnosti,
- tvrdost,
- odolnost proti oděru,
- dobrá rozměrová stálost;

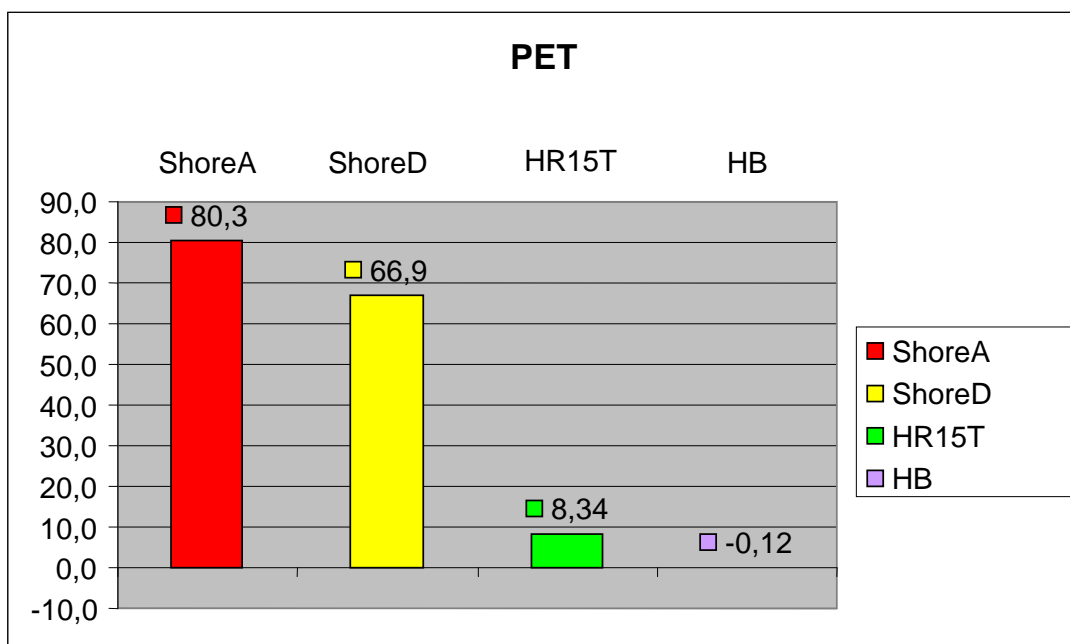
- krystalizace při 140°C a následně
- hydrolytická degradace
- dobře rozpouští CaCO_3

ZPRACOVÁNÍ:

- zvláknění, vstříkávání a vytlačování, obrábění

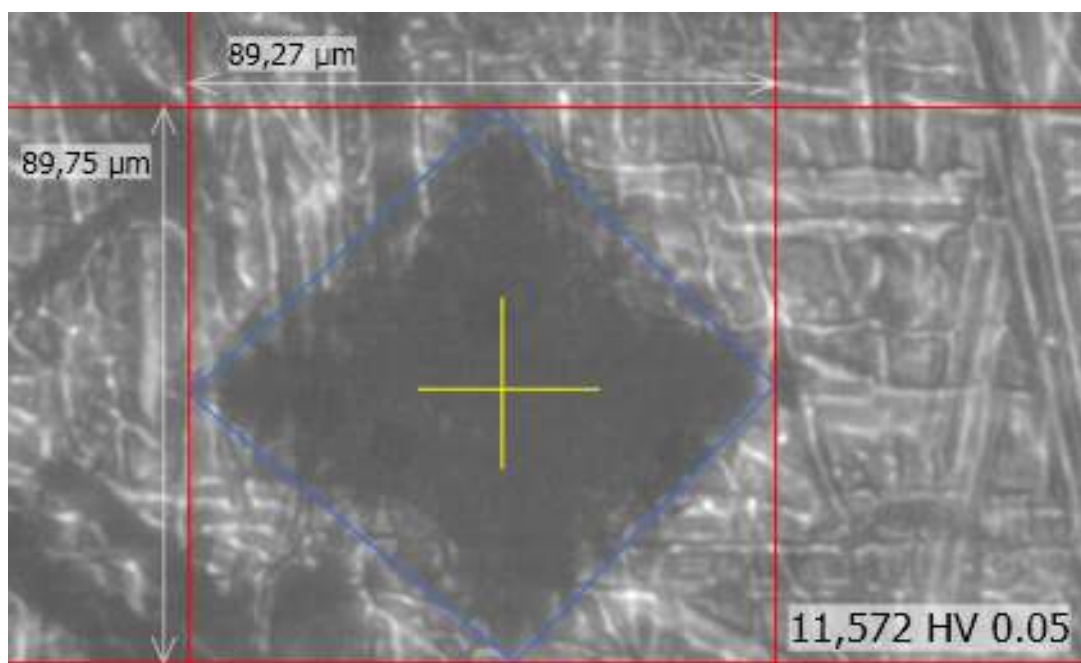
POUŽITÍ:

- Folie – vytlačování, pakdloužení, velká mechanická pevnost, nejpevnější folie z termoplastů, užívají se číré, potiskovatelné, metalizované (90% výroby MG páseků)
- Láhve – vstříkací vyfukování, plynotěsné, pronápoje obsahující CO_2 , houževnaté, pevné
- Konstrukční prvky – vysoká pevnost, tvrdost a tvarová stálost při teplotě, zvláště vyztužené skelným vláknem

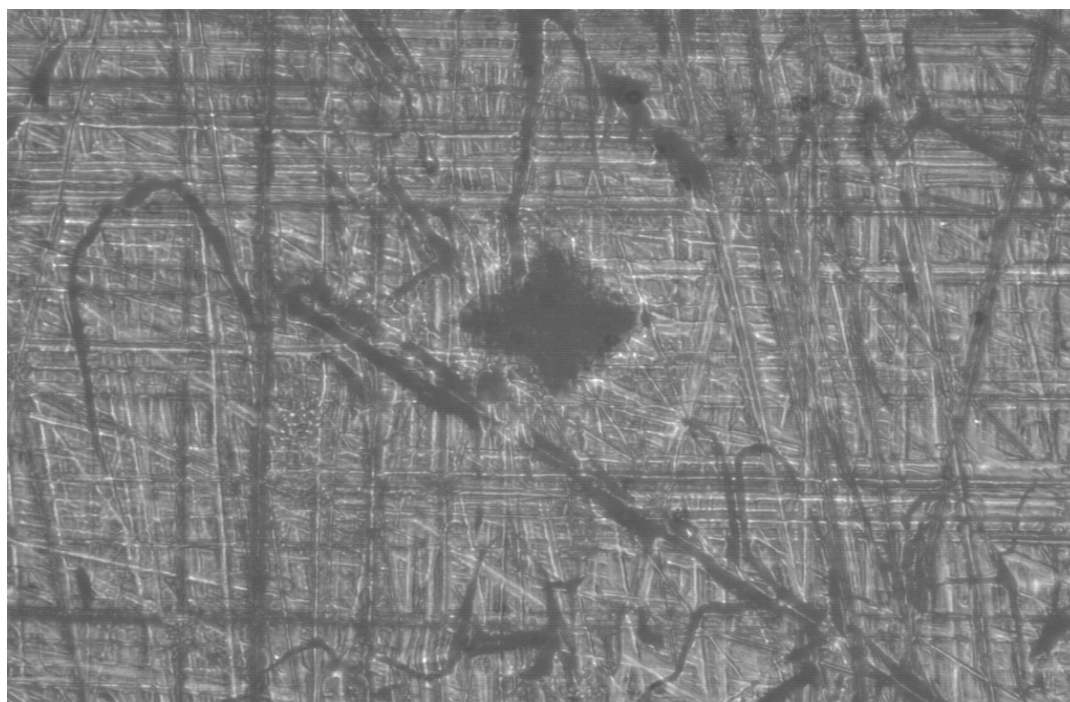


Obr. 29 Tvrdost polymeru Polyethylén Tereftalát (PET)

Polyethylén Tereftalát (PET) byl změřen všemi čtyřmi metodami a jenom metodou HB jsme naměřili zápornou hodnotu. Takže, jak vidíme na obr. 29, jsou všechny tři metody Shore A, D a HR15T pro tento materiál vyhovující. Z výsledků měření vidíme, že Polyethylén Tereftalát má docela slušnou tvrdost a proto jeho vlastnosti jsou také výhodou používán jako konstrukční plast.



Obr.30 Tvrdost polymeru PolyethylénTereftalát (PET) změřená mikrotvrdoměrem



Obr.31 Vtisk mikrotvrdoměru PolyethylénTereftalátu (PET)

Na obr. 30 můžete pozorovat hodnotu tvrdosti, kterou nám změřil mikrotvrdoměrem 11,572 HV. Tato hodnota odečtená z mikrotvrdoměru je určitě přesnější, jako hodnota, kterou jsme změřili předcházejícími čtyřmi metodami. Následující obrázek resp. obr. 31 nám reprezentuje tvar vtisku u daného typu materiálu.

2.1.8 Polypropylen (PP30% – černý)

VÝROBA:

- řetězec: izotaktický, syndiotaktický, ataktický,
- obecný vzorec: $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$,
- vznik při zpracování ropy,
- iontová – srážecí, bloková,
- vplynné fázi modifikované ZNK,

VLASTNOSTI:

- modul pružnosti 1 100-1500 MPa, pevnost 34-38 MPa,
- krystalinita 50-75%,
- nerozpustný ve všech organických rozpouštědlech,
- výborné elektroizolační vlastnosti,
- odolává vroucí vodě.

ZPRACOVÁNÍ:

- vstříkáním, vytlačováním, lisováním,
- v sušárně 280°C

1. ZVLÁŠTNOSTI

- MELT-BLOWN – extrémní teploty taveniny – „odfukování“ – netkaná rouna z mikrovláken.

2. VSTŘÍKOVÁNÍ: PP-H, PP-R, PP-B – nukleované typy s řízenou reologií – hromadná výroba kelímků a dalších potravinářských obalů. Velkoplošné technické vstříky do tloušťek 3 mm, malé domácí spotřebiče

3. VYFUKOVÁNÍ NÁDOB: Nádoby s hladkým vnějším povrchem – až 5 litrů (v malých i velkých sériích). Tenkost – tenké šepiny – například surfigové plováky

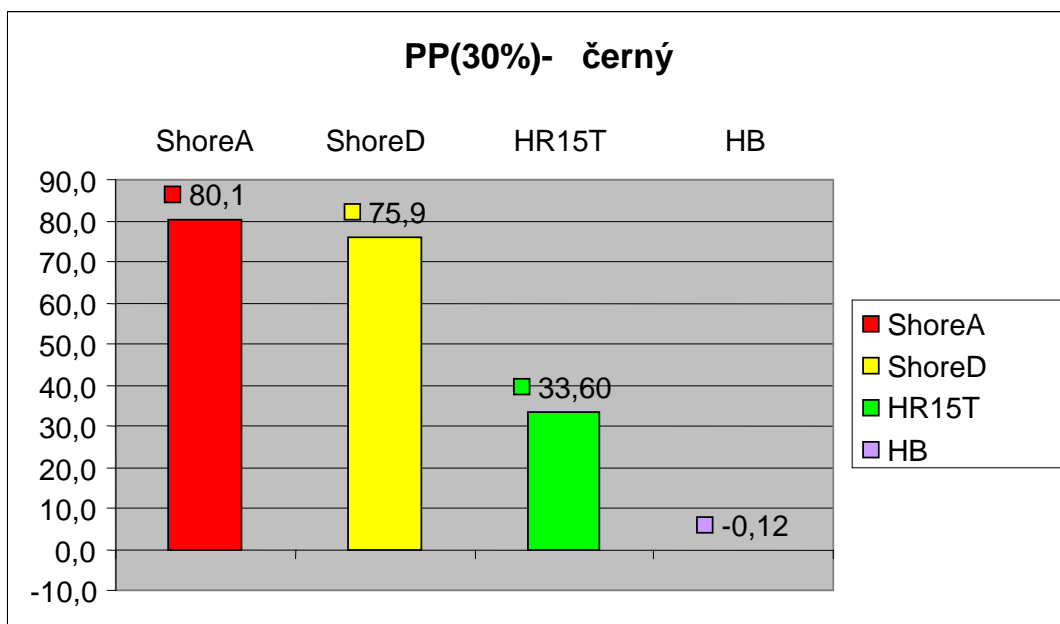
4. VYTLAČOVÁNÍ: PP trubky – domovní sanitární rozvod studené a teplé vody. desky – vany pro chemické lázně.

POUŽITÍ:

· Medicína-Průhledné sterilizovatelné lékařské potřeby-například stříkačky; PP-B-vstříkovačnické výrobky-útesla autobaterií, opravy, vědra, cestovní kufry, kufříky na nářadí nebo také zahradní nábytek, (másteček). AUTOMOBIL VÝPRAVA: PP+palivo (například másteček čipiliny)-zadní krytysvětlometů, nádržky, rozvody chladicí kapaliny, výplně dveří a topení. Nízkoteplotní houževnatost-PP-B nebo směsi PP/EP(D)M-nárazníky a spoiler

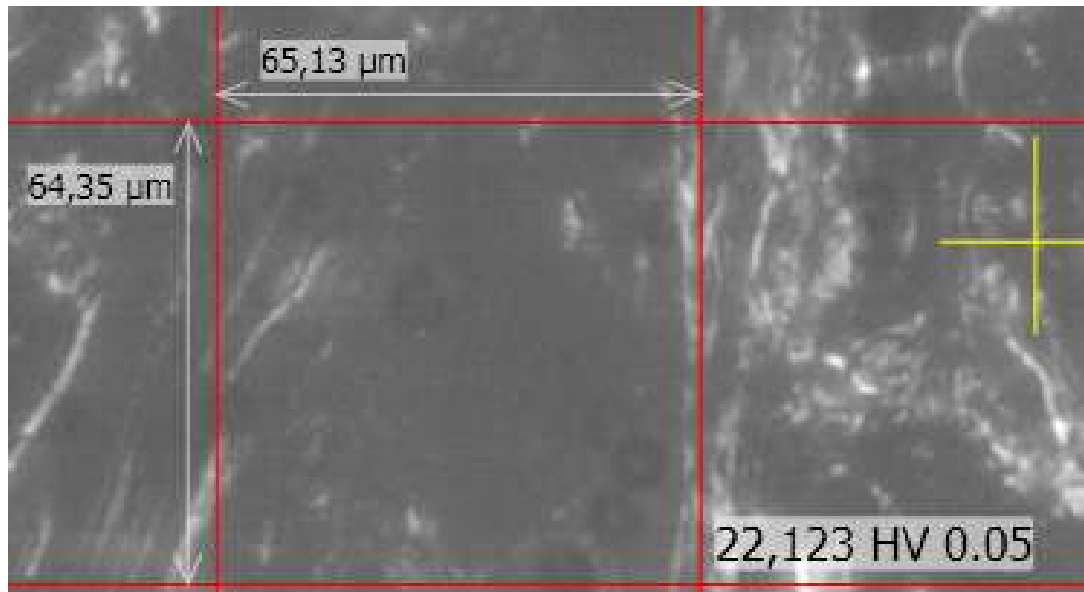
OBCHODNÍ NÁZVY:

- ESCORENE PP-Exxon Chemical,
- MOSTEN-Chemopetrol,
- NOVOLEN-BASF,
- TATREN-Slovnaft,
- TIPPLEN-TVK

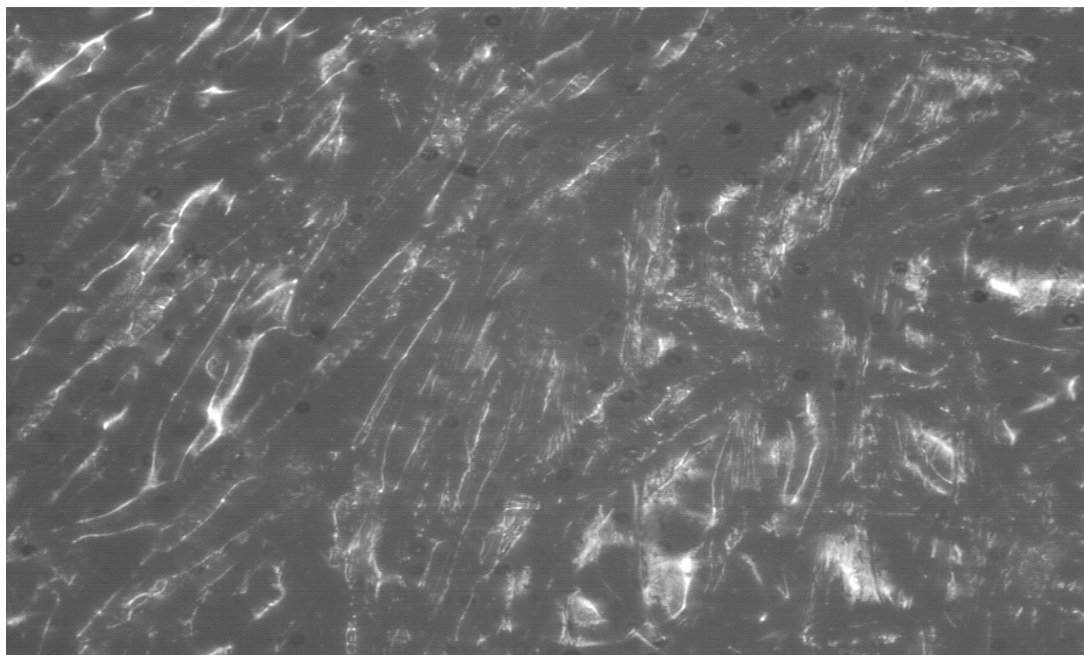


Obr.32 Tvrdost polymeru černý Polypropylen 30% skelných vláken

U tohoto typu materiálu byla naměřena relativně vysoká hodnota tvrdosti metodou HR15T v porovnání s předcházejícími materiály. Kromě metody HB jsou pro tento materiál vyhovující všechny tři metody měření tvrdosti. (viz obr.32)



Obr.33 Tvrdost polymeru černý Polypropylen s 30% skelných vláken změřenamikrotvrdoměrem



Obr.34 Vtisk mikrotvrdoměru černého Polypropylen s 30% skelných vláken

Tvrdost černého Polypropylen s 30% skelných vláken byla jako kovářské předcházejících materiálů změřenamikrotvrdoměrem, který má hodnotu tvrdosti 22,123 HV, jak je zřetelné na obr.33. Vtisk hrotu mikrotvrdoměru je zobrazen na obr.34, ale jelikož má povrch materiálu černou barvu, tak tvrdost není úplně zřetelná.

2.1.9 Polyamid(25%)

Polyamidy-lineární polymery amid. skupinami –CONH–, dle sídla početů C a v
meru, všechny jsou z 30 až 50% krystalické a neprůhledné, jsou zakalené, mají vysoký
modul, konstrukční plasty.

VÝROBA:

· polykondenzace

VLASTNOSTI:

· pevnost 70 MPa
· nižší odolnost vůči UV,
· vysoká houževnatost,
· tvrdost,
· odolnost na otěr,
· nasákavost,
· malá viskozitaaveniny

ZPRACOVÁNÍ:

· vstříkování (konstrukční dílce), zvláknění, vytlačování, vyfukování a rotační odlévání

POUŽITÍ:

· hlavně textil, vlákna, monofily, folie, obecný plast na konstrukční díly (ozubená kola,
pastorky, palivové nádrže motorů, ventily, vzduchové systémy, sací potrubí motorů, atd.).

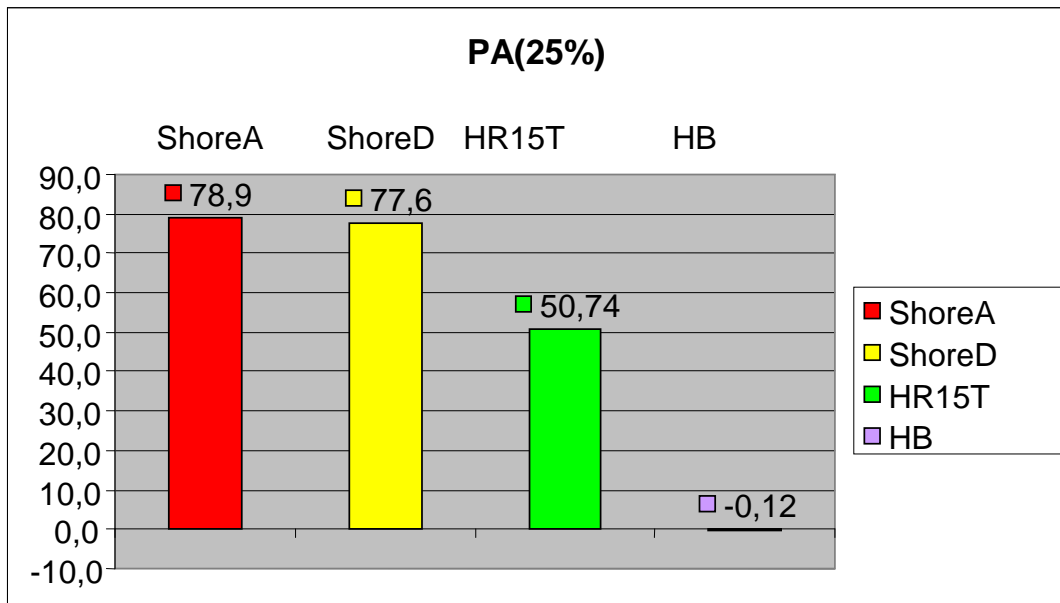
OBCHODNÍ NÁZVY:

Polyamid 6:

· CHEMLON - Humenné,
· SILON - Planá. Lužnicí.

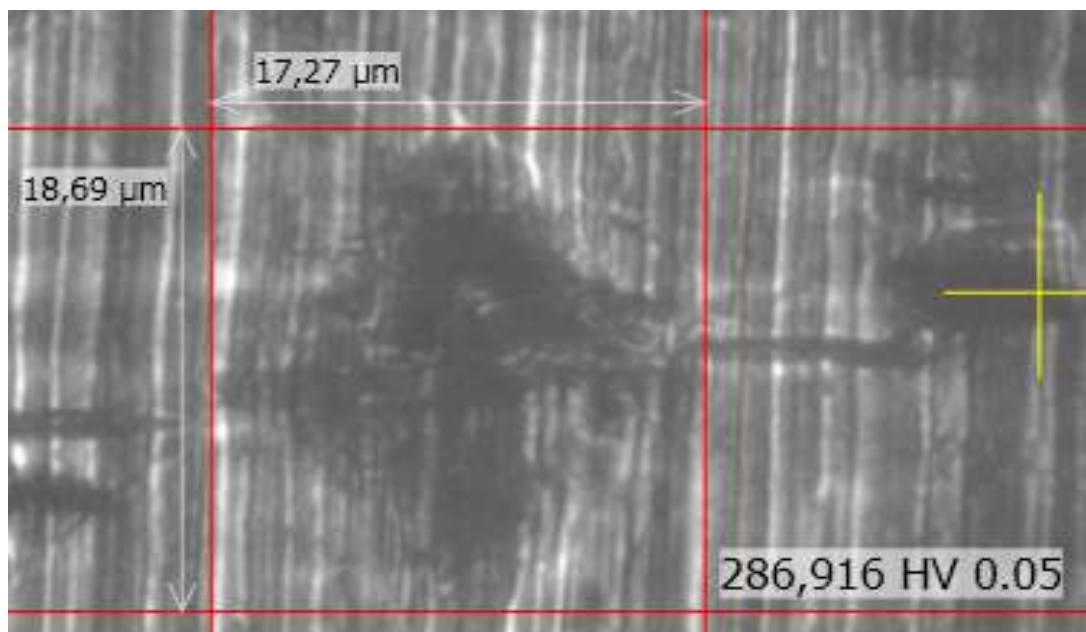
Polyamid 66:

· NYLON

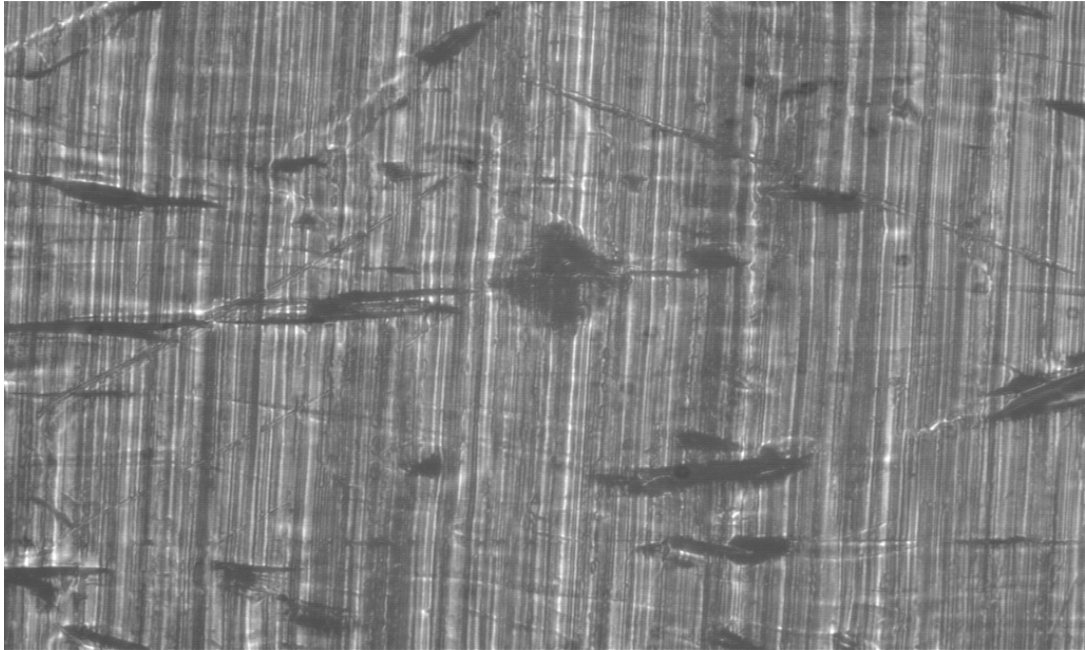


Obr.35 Tvrdost polymeru Polyamid plněný 25% skelných vláken

U tohoto vzorku polymeru Polyamid(25%) je jednoznačně nejvyšší hodnota tvrdosti u metody HR15T ze všech měřených materiálů (viz obr.35), u metody HB je hodnota identická pro všechny materiály a osetý čemethody ShoreA a ShoreD jsou hodnoty podobné hodnotami u ředcházajících materiálů.



Obr.36 Tvrdost polymeru Polyamid plněný 25% skelných vláken z měřením mikrotvrdostem



Obr.37 Vtisk mikrotvrdoměrů u Polyamidu plněného 25% skelných vláken

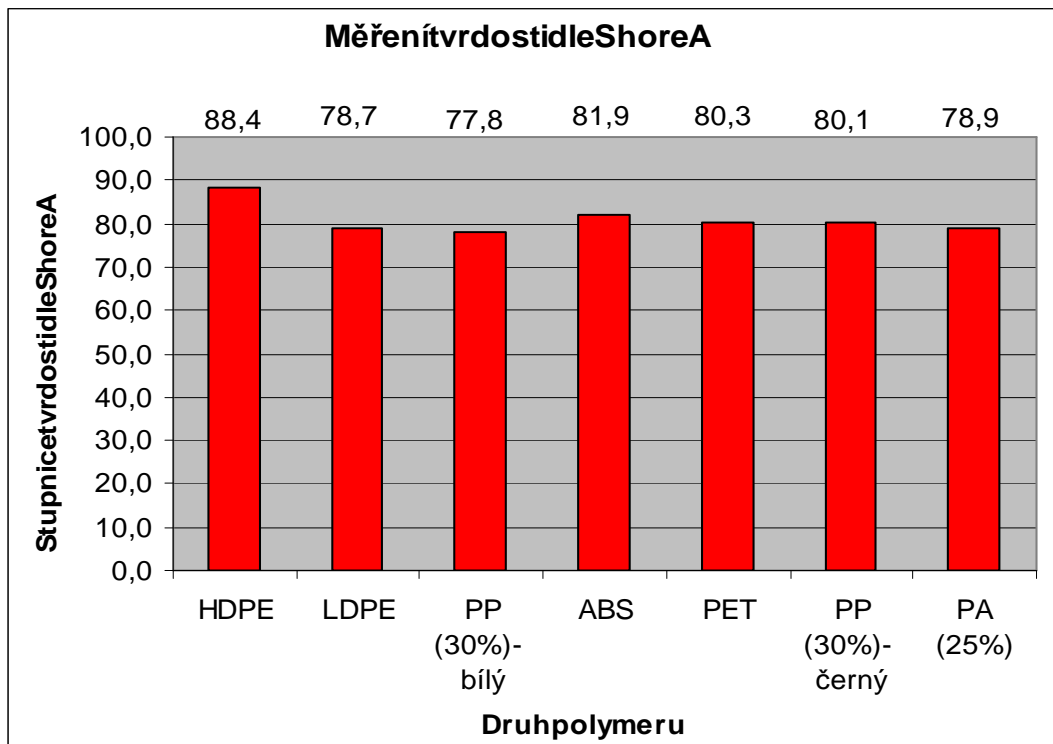
Na obr.36 je zobrazena hodnota tvrdosti, která v mode čtí mikrotvrdoměrů je 286,916 HV, což je jednoznačně nejvyšší tvrdost, kterou jsme namikrotvrdoměrů naměřili. Vtisku tohoto typu materiálů vidíme na obr.37 a můžeme říct, že je velmi zřetelný.

2.2 Zhodnocení tvrdosti různých druhů plastů dle určité metody

2.2.1 Měření tvrdosti dle metody SHORE A

Shore A							
	HDPE	LDPE	PP(30%)- bílý	ABS	PET	PP(30%)- černý	PA(25%)
1.	83,8	81,3	72,7	80,8	78,4	77,4	79,1
2.	94,6	85,8	77,0	89,6	84,5	73,3	78,9
3.	93,4	77,0	72,3	90,5	77,4	73,6	79,0
4.	87,8	77,4	74,6	79,2	87,6	73,9	79,2
5.	90,4	76,2	80,0	75,2	85,3	74,4	78,6
6.	92,6	78,6	83,2	80,1	79,3	76,7	78,6
7.	93,0	77,8	87,2	81,8	79,1	82,4	78,5
8.	95,0	80,9	74,6	79,6	92,0	79,1	79,1
9.	91,6	74,5	74,0	77,2	77,4	81,2	81,1
10.	94,0	78,4	76,7	87,4	81,1	78,9	77,8
11.	93,9	78,6	83,2	79,4	77,9	88,7	78,6
12.	84,8	73,6	81,1	80,9	74,7	79,2	79,1
13.	86,6	75,1	81,3	86,8	78,0	86,7	78,5
14.	88,9	78,8	77,6	78,4	78,9	76,9	78,6
15.	85,8	76,5	78,9	82,3	76,9	77,6	78,9
16.	84,9	75,9	74,1	81,7	80,7	88,6	79,1
17.	88,7	83,2	78,5	78,6	78,1	78,2	79,0
18.	91,3	75,1	79,0	79,6	77,9	87,0	79,4
19.	81,7	75,2	82,3	91,0	74,2	91,3	78,6
20.	85,7	70,5	75,7	82,2	76,9	73,2	77,9
21.	84,4	81,3	77,8	78,7	80,5	83,0	79,2
22.	80,6	88,8	78,7	83,1	83,6	79,5	79,1
23.	84,9	85,6	76,2	85,6	89,8	79,8	78,8
24.	86,2	82,4	75,5	77,1	79,9	81,4	79,1
25.	85,4	79,8	73,7	80,7	77,5	80,9	78,7
\bar{x}	88,4	78,7	77,8	81,9	80,3	80,1	78,9
σ	4,292629	4,218088	3,7341755	4,282523	4,476651	5,122392019	0,597215762

Tab.4 Naměřené hodnoty metodou SHORE A



Obr.38 Tvrd

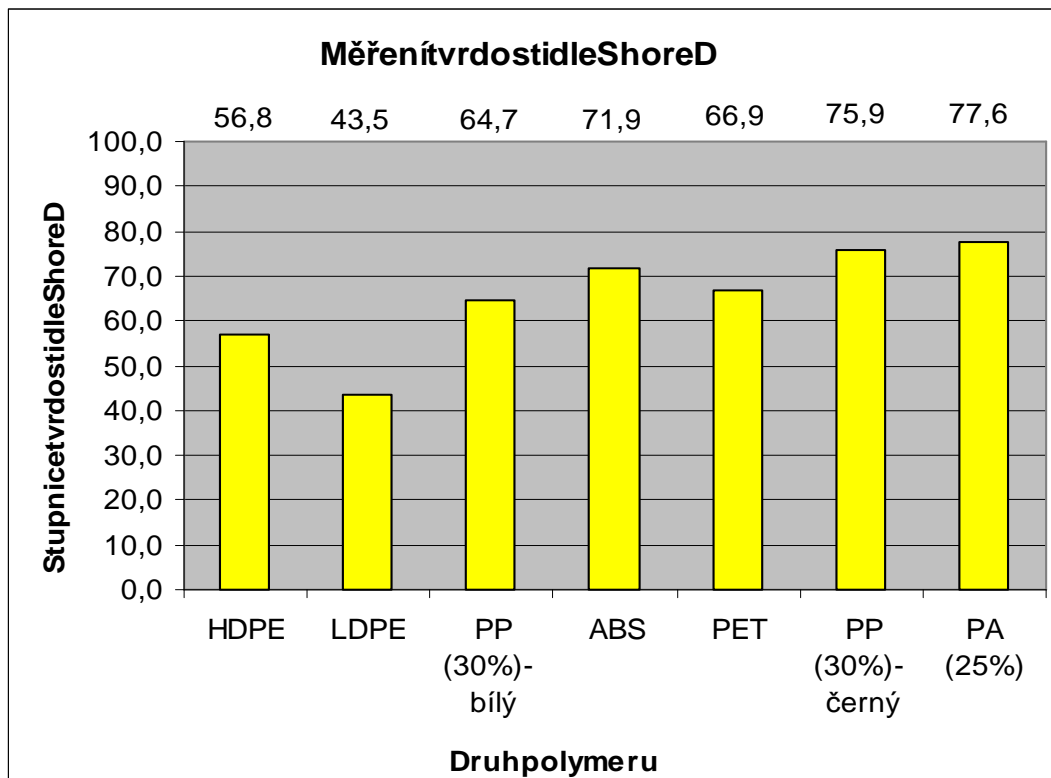
ost polymerů podle SHORE A

Měření tvrdosti metodou Shore A je pro měření polymerů resp. plastů velmi efektivní a vyhovující, protože tato metoda nám umožňuje měřit všechny materiály v rozsahu klidných hodnot, takže touto metodou lze měřit všechny typy vybraných termoplastů. Nejvyšší tvrdost byla naměřena u vysokohustotního polyethylénu (HDPE). Naopak nejmenší tvrdost měl bílý polypropylen s 30% skelných vláken. Obě tyto hodnoty jsou zřetelně vidět na obr. 38. Můžeme ale říct, že rozdíl mezi jednotlivými termoplasty měřenými touto metodou, tedy metodou Shore A nebyl nijak znatelný (viz. tab. 4), jak tomu je u následujících metod.

2.2.2 Měření tvrdosti metodou SHORED

ShoreD							
	HDPE	LDPE	PP(30%)- bílý	ABS	PET	PP(30%)- černý	PA(25%)
1.	56,6	43,5	64,8	70,8	66,2	77,5	76,5
2.	57,2	43,3	65,0	72,4	56,8	80,0	78,6
3.	56,4	44,5	62,9	71,5	75,1	79,5	78,3
4.	56,3	43,8	62,7	72,5	69,2	79,8	77,6
5.	56,5	44,8	65,2	72,0	69,9	74,9	78,3
6.	58,8	44,1	66,3	71,9	58,2	78,7	77,8
7.	57,0	43,9	66,8	72,0	69,6	81,6	76,3
8.	57,6	43,3	64,0	70,6	75,1	77,5	76,7
9.	56,9	44,8	64,5	72,0	64,5	72,4	78,0
10.	56,9	42,4	65,9	71,6	69,2	72,5	77,7
11.	57,3	43,6	63,6	71,8	69,4	74,9	78,1
12.	57,0	44,2	64,0	70,1	60,7	73,8	77,7
13.	56,4	43,6	62,8	72,2	72,1	71,6	77,8
14.	56,0	44,0	64,4	71,9	59,9	72,8	78,2
15.	56,8	42,5	63,2	72,0	68,4	74,9	77,7
16.	55,6	42,1	62,0	72,5	69,5	73,3	76,4
17.	56,2	43,1	67,2	72,2	68,7	78,7	78,0
18.	57,9	43,7	67,4	71,9	70,7	75,0	77,3
19.	56,0	43,8	65,1	71,6	68,4	79,0	76,3
20.	55,6	42,5	66,3	72,5	73,9	77,4	77,6
21.	57,9	43,1	68,0	71,9	62,1	73,9	78,2
22.	57,1	42,8	62,5	72,9	70,3	75,0	78,2
23.	57,2	43,6	66,8	72,1	57,8	73,9	78,5
24.	56,3	41,3	63,8	72,8	59,7	76,5	77,0
25.	56,4	44,4	63,0	72,1	68,3	72,4	77,6
\bar{x}	56,8	43,5	64,7	71,9	66,9	75,9	77,6
σ	0,748599	0,855726	1,726634491	0,6431174	5,4586415	2,875470976	0,70218706

Tab.5 Naměřené hodnoty metodou SHORED



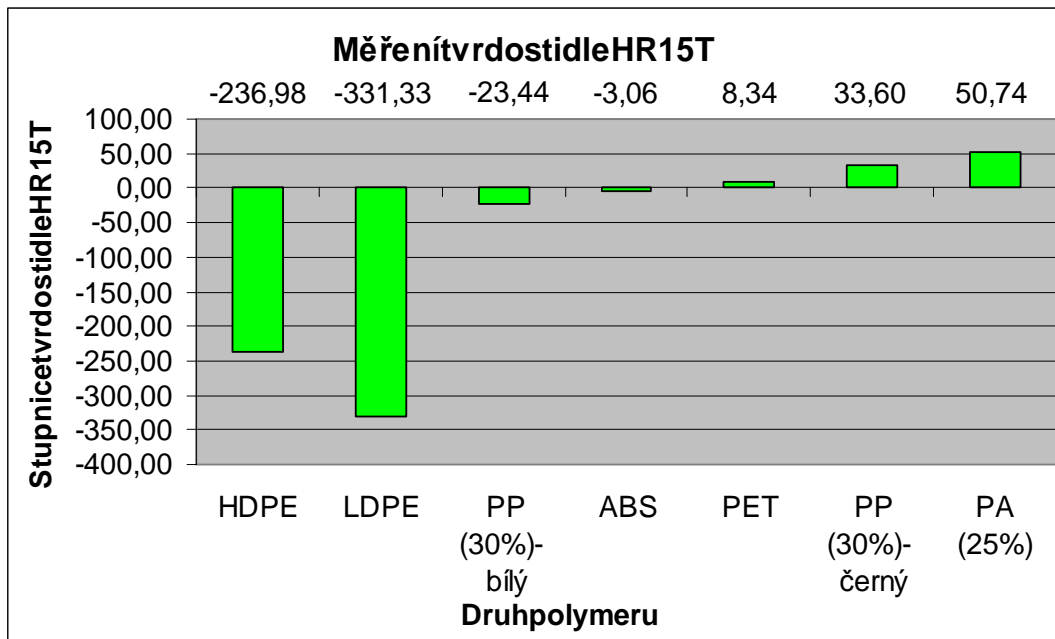
Obr.39 Tvrdost polymerů podle SHORE D

Tato metoda, tedy metoda Shore D je také velmi užitečná a efektivní pro plasty, ale tady jsou už rozdíly tvrdosti jednotlivých materiálů větší. Podle této metody je ze všech měřených materiálů nejtvrdší Polyamid (25%) a naopak nejmenší tvrdost má nízkohustotní Polyethylen (LDPE). Když se podíváme do tab. 5 na všech 25 hodnot tvrdosti u všech 7 materiálů, vidíme, že rozdíly mezi nimi nejsou příliš velké. Pouze Polyethylen (PET) jsou odchylnější, což může být způsobeno špatnou výrobou, tedy špatným vstříkovaním.

2.2.3 Měření tvrdosti metodou HR15T

HR15T-Vnikací měřítko: 1/16"							
	HDPE	LDPE	PP(30%)- bílý	ABS	PET	PP(30%)- černý	PA(25%)
1.	-242,33	-331,15	-21,55	2,71	13,14	52,23	53,42
2.	-251,12	-332,27	-28,72	-3,26	3,04	32,48	43,99
3.	-239,54	-336,02	-24,93	-0,89	8,27	29,97	51,90
4.	-227,22	-321,18	-25,94	7,97	14,72	26,70	49,63
5.	-244,20	-334,05	-22,17	-6,19	8,83	35,08	50,20
6.	-222,13	-328,22	-18,19	0,49	6,32	29,82	53,89
7.	-231,71	-337,17	-18,92	-4,68	9,54	27,35	55,97
8.	-233,19	-330,17	-27,76	-11,62	9,30	33,56	39,06
9.	-236,07	-336,52	-22,03	-12,83	5,84	29,63	38,68
10.	-251,12	-338,11	-23,93	-7,85	6,08	39,86	50,34
11.	-232,56	-325,56	-21,76	1,24	1,29	36,69	59,48
12.	-239,78	-327,46	-24,72	0,68	5,79	33,71	51,29
13.	-229,66	-333,41	-25,12	3,80	6,60	30,01	48,53
14.	-242,18	-322,98	-27,72	-12,45	13,23	31,05	53,23
15.	-241,59	-324,16	-28,72	0,68	6,64	38,92	46,88
16.	-234,58	-328,47	-20,08	0,63	9,06	33,66	58,26
17.	-237,12	-322,15	-19,17	2,10	16,36	35,98	53,28
18.	-237,54	-337,06	-24,17	-10,17	11,39	29,68	51,33
19.	-238,51	-340,21	-25,92	1,19	5,41	31,76	56,97
20.	-240,45	-334,58	-26,48	-7,53	12,71	31,43	51,86
21.	-242,57	-326,49	-21,97	-3,64	11,77	34,27	48,87
22.	-229,74	-332,68	-19,54	0,77	3,17	44,74	47,35
23.	-225,45	-336,19	-19,78	-8,90	5,55	30,39	48,58
24.	-237,18	-325,94	-22,57	-5,49	2,29	31,85	53,89
25.	-236,85	-341,08	-24,19	-3,16	12,27	29,06	51,71
\bar{x}	-236,98	-331,33	-23,44	-3,06	8,34	33,60	50,74
σ	7,1072669	5,8194088	3,171685934	5,560113	4,06234	5,644015356	5,047790672

Tab.6 Naměřené hodnoty metodou HR15T



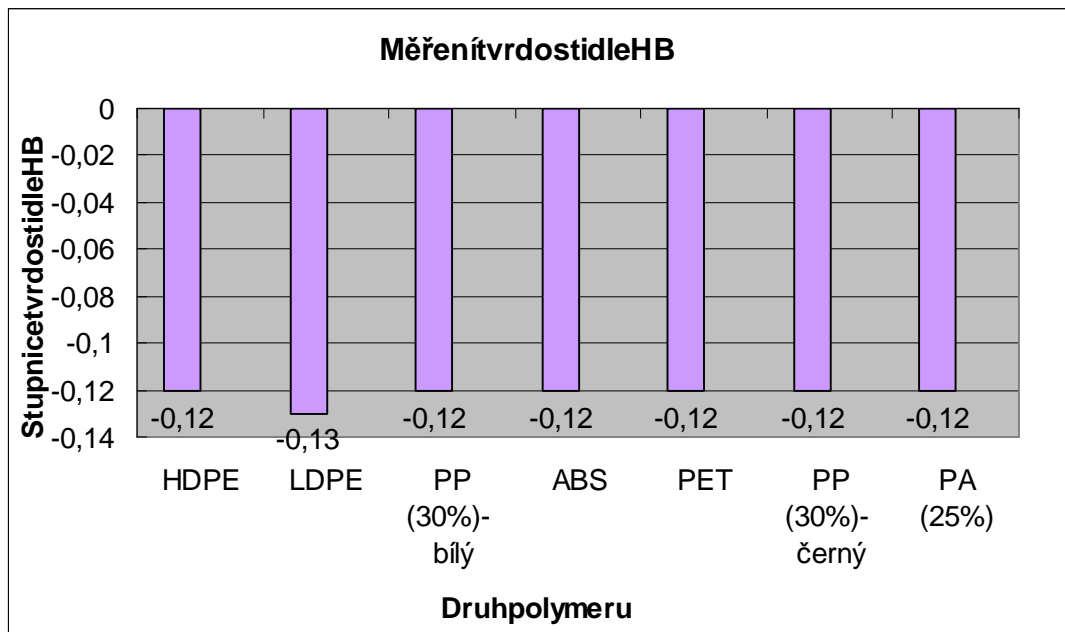
Obr.40 Tvrdost polymerů podle HR15T

Při měření tvrdosti zkoušebními tělesy metodou HR15T je vidět, že tato metoda není vhodná pro všechny typy zkoušených materiálů. Dá se tedy říci, že pro měkké materiály, jako je například nízkohustotní polyethylen (LDPE), vysokohustotní polyethylen (HDPE) apod., je tato metoda měření tvrdosti nevhodná. Naopak tato metoda vyhovuje materiálům polyamid (25%) a dalším, jak je jasné z obr. 40.

2.2.4 Měření tvrdosti metodou HB

H5/49-Vnikacít ělísko: HB5mm							
	HDPE	LDPE	PP(30%)-bílý	ABS	PET	PP(30%)- černý	PA(25%)
1.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
2.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
3.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
4.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
5.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
6.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
7.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
8.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
9.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
10.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
11.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
12.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
13.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
14.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
15.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
16.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
17.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
18.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
19.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
20.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
21.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
22.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
23.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
24.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
25.	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
\bar{x}	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
σ	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 7 Naměřené hodnoty metodou HB



Obr.41

Tvrdost polymerů dle HB

Metoda HB je jednoznačně vyhovující pro našetypované materiály. Z tab. 7 můžeme jednoznačně vidět, že jsou menší a říší pouze jednu hodnotu pro všechny typy materiálů s výjimkou materiálu Nízkohustotní Polyethylen (LDPE), kde byla hodnota o něco málo jiná, ale můžeme říct, že téměř totožná.

2.3 Diskuse výsledků

Praktická resp. experimentální část zahrnuje soubor měření tvrdosti knímž bylo použito celkem 7 typů termoplastů (HDPE, LDPE, PP30% - bílý, ABS, PET, PP30% - černý, PA25%) používaných v průmyslové praxi.

Provedly jsme 4 zkoušky měření tvrdosti (SHORE A, SHORE D, HR15T, HB). Každý jeden typ materiálu jsme měřili 25-krát každé metodou měření tvrdosti. Ze všech 25 měření jsme následně vypočetli aritmetický průměr (\bar{x}) a také střední kvadratickou chybu aritmetického průměru (σ).

Naměřené hodnoty jsme graficky zpracovaly a vyhodnotily. A z vyhodnocených a zpracovaných výsledků jsme hledali vhodnou metodu pro měření uvedených typů termoplastů.

Byla provedena zkouška měření tvrdosti dle SHORE A, která se nám jevila jako velmi vhodná. Nejvyšší hodnotu tvrdosti dle této metody dosáhl termoplast Vysokohustotní Polyethylen (HDPE), který dosáhl hodnotu 88,4 Shore. Naopak nejmenší tvrdost podle této metody má termoplast Polypropylen 30% - bílý, který dosáhl hodnotu 77,8 Shore. V porovnání s vlastnostmi použitých plastů jsou tyto hodnoty, ale i hodnoty ostatních termoplastů pochopitelné.

U zkoušky tvrdosti dle SHORE D byly naměřeny podobné hodnoty tvrdosti i když nějaké rozdíly se našli. U této metody byla naměřena nejvyšší tvrdost a to hodnota 77,6 Shore u materiálu Polyamids 25% skelných vláken a nejnižší tvrdost měřili u materiálu Nízkohustotní Polyethylen (LDPE) s hodnotou 43,5 Shore. Tato metoda je pro tyto použité materiály velmi vhodná, jako i pro všechny plasty.

Metoda HR15T už nebyla tak efektivní, jako například metoda Shore, protože ne všechny termoplasty jsou touto metodou dokázaly změřit. Takže můžeme říct, že tato metoda je použitelná jen pro některé typy plastů.

Metoda měření tvrdosti dle Brinella je pro tyto použité plasty naprosto nevhodná.

Posledním měřením jsme provedli mikrotvrdostní měření a tímto způsobem zobrazili tvar vtisku pro každý jeden použitý plast.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se soustředil na problematiku měření tvrdosti různých typů polymerů resp. termoplastů, kdy jsem použil různé metody měření tvrdosti. Byl proveden soubor měření zahrnujícím měření tvrdosti standardním způsobem pro plasty a toměřování tvrdosti dle metod Shore A a Shore D. Naopak další dvě zkoušky, které jsem provedla to zkouška pomocí Brinella (HB) a metody HR 15T, které nebyly úplně typické pro plasty, což se odrazilo na výsledcích měření tvrdosti.

Výsledky všech metod měření tvrdosti byly přehledně sepsány do tabulek a následně graficky vyhodnoceny. Výsledky jednotlivých typů měření byly navzájem mezi sebou porovnány. Z výsledků měření je jednoznačně patrné, že nejvhodnější metoda pro měření tvrdosti plastů je metoda Shore D a také metoda Shore A. Obě tyto metody byly použity přímo u všech 7 termoplastů. Další metodou měření tvrdosti, kterou jsme v této práci použily, byla metoda HR 15T. Tato metoda už nebyla použitelná u všech typů použitých plastů. Tato metoda se osvědčila pouze u tvrdších plastů, jako jsou Polyethylén Tereftalát, Polypropylen (30%) – černý a Polyamid (25%). U dalších plastů tato metoda už nebyla příliš efektivní. Poslední metoda, kterou jsme použili, byla metoda měření tvrdosti dle Brinella (HB). A tato metoda byla zcela nevhodná pro našety termoplastů, protože jsme naměřili konstantní hodnoty pro všechna použitá materiálu (viz tab. 7), což je naprosto nevhodné a také nelogické, aby měřili všechna použitá materiálu stejnou tvrdost, když ostatní metody poukázala na odlišnou tvrdost jednotlivých materiálů.

Posledním měření, které jsem učinil, bylo na mikrotvrdoměru. Mikrotvrdoměr změřil každý plast a naměřil tvrdost podle stupnice Vickers (HV). Následně jsem za pomoci kamery udělal snímek v tisku pomikrotvrdoměru pro každý jeden použitý materiál.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DOLEŽAL, P.; PACAL, B.. *Hodnocení mikrotvrdosti struktur materiálů*. VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, s. 2–16.
- [2] TICHAVA, M.. *Měření tvrdosti pryže a plastů v současném zkoušebnictví: Technická zpráva VUG PT Zlín*. Zlín 1985, s. 31–34.
- [3] RYBNIKÁŘ, F.; DITRYCH, Z.; KLÁČEL, Z. et al.. *Analýza a zkoušení plastických hmot*. Praha: SNTL 1965, s. 415–418.
- [4] PLUHAŘ, J. et al.. *Nauka o materiálech*. Praha 1989.
- [5] JAROUŠEK, J.. *Metody zkoumání polymerů*. VŠCHT Pardubice 1984, s. 125–140.
- [6] PŘEDNÁŠKY Z PŘEDMĚTU KONSTRUKCE FOREM.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

D	Průměr ocelové kuličky.[mm]
h	Hloubka vtisku.[mm]
d	Kulová výše čkubyšební kuličky.[mm]
F	Zatěžující síla.[N]
F ₁	Síla před zatížením.[N]
F ₂	Síla zatížením.[N]
S	Plocha dle úhlu.[min ⁻²]
h	Hloubka dle úhlu.[mm]
d ₁ , d ₂	Uhlop říčky.[mm]
a	Konstanta (Vickers).
HB	Tvrdość měřená podle Brinella.[HB]
HV	Tvrdość měřená podle Vickerse.[HV]
HK	Tvrdość měřená kuželem.[HK]
HRA	Tvrdość měřená diamantovým kuželem.[HRA]
HRB	Tvrdość měřená ocelovou kuličkou.[HRB]
HRC	Tvrdość měřená diamantovým kuželem.[HRC]
HR15T	Tvrdość měřená ocelovou kuličkou.[HR15T]
u	Délka uhlop říčky.[Nmm]
x _i	I-tá hodnota řešení veličiny.
\bar{x}	Aritmetický průměr hodnot řešení veličiny.
n	Počet řešení.
σ	Směrodatná odchylka.
$\sigma^{\bar{}}$	Střední kvadratická chyba aritmetického průměru.
π	Ludolfovo číslo.

ABS	Terpolymernabáziakrylonitrilu, butadienu a styrenu.
ASA	Terpolymernabáziakrylonitrilu, styrenu a akrylátu.
HDPE	Vysokohustotnípolyethylen.
HRC	Tvrdość podle Rockwella.
LDPE	Nízkohustotnípolyethylen .
PA	Polyamid.
PET	Polyethyléntereftalát.
PP	Polypropylen.
ShA	Tvrdość měřená tvrdoměrem Shore A.
ShD	Tvrdość měřená tvrdoměrem Shore D.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr.1 Zkoušky tvrdosti[3]</i>	11
<i>Obr.2 Průběh zkoušebního zatížení – metoda Brinell[2]</i>	13
<i>Obr.3 Ruční tvrdostěr Poldi[3]</i>	14
<i>Obr.4 Podstata zkoušky dle Vickerse[4]</i>	15
<i>Obr.5 Podstata zkoušky tvrdosti dle Knoop[1]</i>	18
<i>Obr.6 Průběh zatížení u zkoušky dle Rockwella[2]</i>	21
<i>Obr.7 Princip metody Rockwell – Stanovení tvrdosti[2]</i>	22
<i>Obr.8 Schéma měřícího přístroje Shore[5]</i>	24
<i>Obr.9 Poldiho kládívko[2]</i>	26
<i>Obr.10 Schéma Baumannova kládívka[2]</i>	27
<i>Obr.11 Schéma měření tvrdosti duroskopem[2]</i>	28
<i>Obr.12 Schéma měření tvrdosti Shoreho skleroskopem[2]</i>	30
<i>Obr.13 Vstříkovací stroj[6]</i>	31
<i>Obr.14 Tvrdostěr SHORE</i>	36
<i>Obr.15 Rockwellův tvrdostěr AFRI Integraf E</i>	37
<i>Obr.16 Mikrotvrdostěr FM-700 (Microhardnesstester FM-700)</i>	37
<i>Obr.17 Tvrdost polymeru Vysokohustotní Polyethylén (HDPE)</i>	39
<i>Obr. 18 Tvrdost polymeru Vysokohustotní Polyethylén (HDPE) změřena mikrotvrdoměrem</i>	39
<i>Obr.19 Vtisk mikrotvrdostěru u Vysokohustotního Polyethylénu (HDPE)</i>	40
<i>Obr.20 Tvrdost polymeru Nízkohustotní Polyethylén (LDPE)</i>	41
<i>Obr. 21 Tvrdost polymeru Nízkohustotní Polyethylén (LDPE) změřena mikrotvrdoměrem</i>	42
<i>Obr.22 Vtisk mikrotvrdostěru u Nízkohustotního Polyethylénu (LDPE)</i>	42
<i>Obr.23 Tvrdost polymeru bílý Polypropylen 30% skelných vláken</i>	44
<i>Obr. 24 Tvrdost polymeru bílý Polypropylen s 30 % skelných vláken změřena mikrotvrdoměrem</i>	45
<i>Obr.25 Vtisk mikrotvrdostěru u bílého Polypropylen 30% skelných vláken</i>	45
<i>Obr.26 Tvrdost polymeru Akrylonitril-butadien-styren (ABS)</i>	47
<i>Obr. 27 Tvrdost polymeru Akrylonitril-butadien-styren (ABS) změřena mikrotvrdoměrem</i>	47

<i>Obr.28</i> Tvrdost mikrotvrdoměrem u Akrylonitril-butadien-styrenu (ABS)	48
<i>Obr.29</i> Tvrdost polymeru PolyethylénTereftalát (PET)	49
<i>Obr.30</i> Tvrdost polymeru PolyethylénTereftalát (PET) změřenámikrotvrdoměrem.....	50
<i>Obr.31</i> Tvrdost mikrotvrdoměrem u PolyethylénTereftalátu (PET)	50
<i>Obr.32</i> Tvrdost polymeru černý Polypropylen s 30% skelných vláken	52
<i>Obr.33</i> Tvrdost polymeru černý Polypropylen s 30% skelných vláken změřenámikrotvrdoměrem.....	53
<i>Obr.34</i> Tvrdost mikrotvrdoměrem u černého Polypropylenus 30% skelných vláken	53
<i>Obr.35</i> Tvrdost polymeru Polyamid plněný 25% skelných vláken	55
<i>Obr.36</i> Tvrdost polymeru Polyamid plněný 25% skelných vláken změřenámikrotvrdoměrem.....	55
<i>Obr.37</i> Tvrdost mikrotvrdoměrem u Polyamiduplněného 25% skelných vláken	56
<i>Obr.38</i> Tvrdost polymeru podle SHOREA	58
<i>Obr.39</i> Tvrdost polymeru podle SHORED	60
<i>Obr.40</i> Tvrdost polymeru podle HR15T	62
<i>Obr.41</i> Tvrdost polymeru podle HB	64

SEZNAM TABULEK

<i>Tab.1</i> Zkušební zatížení pro zkoušku tvrdosti podle Vickersse [1]	16
<i>Tab.2</i> Stupnice podle Rockwella [2]	20
<i>Tab.3</i> Tabulky měření tvrdosti různých materiálů	35
<i>Tab.4</i> Naměřené hodnoty metodou SHOREA	57
<i>Tab.5</i> Naměřené hodnoty metodou SHORED	59
<i>Tab.6</i> Naměřené hodnoty metodou HR15T	61
<i>Tab.7</i> Naměřené hodnoty metodou HB	63