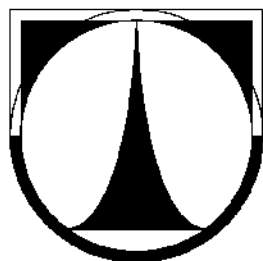


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Stanovení mikrotvrdosti polymerů jako metoda
indikace stavu vytvrzovacích a krystalizačních
pochodů**

**Evaluation microhardness as indication method for
state of hardening and crystallization**

2006

Petra Šťastná

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

Katedra materiálu

Studijní program: B 2341 Strojírenství

Obor: 3911 R 018 Materiály a technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

**Stanovení mikrotvrdosti polymerů jako metoda indikace stavu
vytvrzovacích a krystalizačních pochodů**

**Evaluation microhardness as indication method for state of
hardening and crystallization**

Petra Šťastná

KMT - 123

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Dora Kroisová, Ph.D.
Konzultant bakalářské práce: Ing. Dita Novotná

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 48

Počet tabulek: 45

Počet obrázků: 27

Počet příloh: 1

Datum: 22.5.2006

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra materiálů
Hálkova 6, 461 17 Liberec

ANOTACE

Jméno: Petra Šťastná

Obor: 3911 R 018 Materiály a technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

Téma práce: Stanovení mikrotvrdosti polymerů jako metoda
indikace stavu vytvrzovacích a krystalizačních poch

Číslo bakalářské práce: KMT - B - 123

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Dora Kroisová, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Dita Novotná

Anotace

Předmětem této bakalářské práce je využití stanovení mikrotvrdosti polymerů jako metody k indikaci stavu vytvrzovacích a krystalizačních pochodů v případě krystalizujících termoplastů a síťujících reaktoplastů.

Teoretická část pojednává obecně o plastech, jejich rozdělení, vlastnostech, popisuje krystalizaci termoplastů a vytvrzování reaktoplastů.

V experimentální části je popsán způsob přípravy vzorků, metoda měření, postup vyhodnocení naměřených hodnot a následné porovnání výsledků v grafech a tabulkách.

Klíčová slova:

Termoplasty, primární a sekundární krystalizace, reaktoplasty, vytvrzování reaktoplastů, mikrotvrdost polymerů.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra materiálů
Hájkova 6, 461 17 Liberec

ANNOTACION

Name: Petra Šťastná

Specialization: 3911 R 018 Materials and technologies

Focusing: Material engineering

Theme: Evaluation microhardness as indication method for
state of hardening and crystallization

Number of BSC work: KMT - B - 123

Leader of BSC work: Ing. Dora Kroisová, Ph.D.

Consulter: Ing. Dita Novotná

Abstract:

This work deals with use of microhardness as evaluation method for indication of crystallization and hardening of polymers.

Common plastic materials, their subdivision, parameters, crystallization and hardening of polymers is described are the theoretical part.

Preparation of specimens, measuring method and evaluation are described in the experimental part.

Key words:

Thermoplastic materials, primary and secondary crystallization, resin polymers, hardening of polymers, microhardness of polymers.

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucí bakalářské práce paní Ing. Doře Kroisové Ph.D., konzultantce slečně Ing. Dítě Novotné, za odbornou pomoc při zpracování tématu, ochotu a množství poskytnutých rad.

OBSAH

1	Úvod.....	8
2	Teoretická část.....	9
2.1	Definice plastů a jejich rozdělení.....	9
2.2	Termoplasty.....	11
2.2.1	Vlastnosti vybraných termoplastů.....	11
2.3	Krystalizace polymerů.....	12
2.4	Reaktoplasty.....	14
2.4.1	Základní rozdělení reaktoplastů.....	15
2.5	Mechanismus vytvrzování epoxidových pryskyřic.....	16
2.5.1	Vytvrzovací proces.....	16
2.5.2	Vliv struktury epoxidových pryskyřic a tvrdidel na průběh vytvrzování a vlastnosti vytvrzených hmot.....	17
2.5.3	Bod gelace.....	17
2.5.4	Doba zpracovatelnosti a vzestup reakční směsi.....	18
2.5.5	Smrštění při vytvrzování.....	18
2.6	Vlastnosti po vytvrzení.....	18
2.6.1	Mechanické vlastnosti.....	19
2.6.2	Tepelné vlastnosti.....	20
2.6.3	Elektrické vlastnosti.....	20
2.7	Chemická činidla.....	21
2.8	Tvrdost.....	21
2.9	Viskoelastické chování plastů.....	23
2.10	Mikrotvrdost.....	24
3	Experimentální část.....	25
3.1	Charakteristika vzorků a jejich označení.....	25
3.2	Příprava vzorků.....	25
3.3	Metoda stanovení mikrotvrdosti.....	26
3.4	Postup měření.....	27

4	Hodnocení výsledků a diskuze.....	28
4.1	Zpracování naměřených hodnot.....	28
4.2	Vzorec pro měření tvrdosti podle Vickerse.....	36
5	Závěr.....	47
6	Seznam literatury.....	48
7	Příloha	

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mě požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

1 Úvod

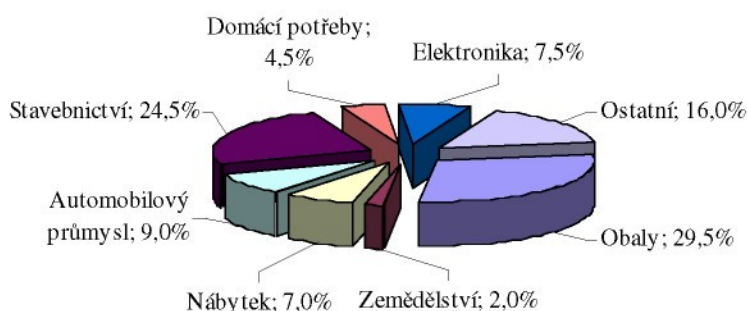
Současné století je charakterizováno mnoha převratnými objevy, které posunuly technické znalosti na kvalitativně vyšší úroveň a které připravily podmínky pro druhou průmyslovou revoluci, jejímž základem je využívání jaderné energetiky, mikroelektroniky, biotechnologie a nových konstrukčních materiálů.

Mezi moderní konstrukční materiály se dnes právem řadí i plasty, které jsou rovněž produktem 20. století. Rozhodujícího významu nabyly plasty vyráběné zcela synteticky chemickou cestou.

V historii plastů lze rozlišit tři vývojová stádia. Období asi od r.1900 do r.1940 je charakterizováno intenzivním výzkumem chemických látek a chemických reakcí vedoucích k syntéze nových druhů plastů. Ve druhém období, asi do r.1975, byla největší pozornost soustředěna na důkladný výzkum vlastností již objevených plastů a na hledání možností jejich využití v praxi. Původně byly plasty používány na málo náročné aplikace, jako bylo galanterní zboží, hračky, doplňky pro domácnosti, ale s rozšiřujícím se fondem znalostí začaly postupně pronikat do technické sféry, např. strojírenství, elektrotechniky, stavebnictví, dopravy a dalších. Pro třetí období, asi od r.1975, se stala typickou příprava plastů podle předem stanovených požadavků. Jde např. o plasty s vynikajícími mechanickými vlastnostmi, nebo o plasty odolávající vysokým teplotám, o plasty s vlastnostmi polovodičů.

Pro konstrukční aplikace byla vyvinuta nová skupina materiálů – kompozity.

V roce 1940 činila celosvětová výroba plastů asi 0,5 mil. tun, potom se zvyšovala přibližně každých pět let na dvojnásobek a v roce 1975 dosáhla 40 mil. tun. V současné době se na celém světě vyrábí asi 80 milionů tun plastů ročně. Jejich produkce se stále zvyšuje. Naprostá většina plastů se využívá pro technické účely.



Obr.1: Světová spotřeba plastů podle jejich použití.

K hlavním přednostem plastů patří jejich výborná zpracovatelnost. Zpracovávají se mnoha způsoby tváření na finální výrobky (nárazníky osobních automobilů, kryty vysavačů, přepravky na ovoce) nebo polotovary (desky, profily, trubky, fólie), které se mohou dále tvarovat, svařovat, lepit, obrábět.

Je nutno vědět, že existují i určité faktory limitující použitelnost plastů. Patří k nim relativně nízká teplotní odolnost, která u běžných plastů brání používat plastové díly při teplotách vyšších než asi 100 °C. Chování plastů při mechanickém namáhání vykazuje časovou závislost, což znamená, že např. hodnoty pevnosti v tahu nebo modulu pružnosti se snižují s prodlužující se dobou zatížení. Plasty mají oproti kovům také větší teplotní roztažnost.

2 Teoretická část

2.1 Definice plastů a jejich rozdělení

Plasty neboli plastické hmoty jsou materiály, jejichž podstatou jsou makromolekulární látky, které lze tvářet, např. teplem nebo tlakem. Za makromolekulární se považuje taková látka, jejíž molekulová hmotnost je vyšší než 10000. Z chemického hlediska se jedná o organické sloučeniny.

Makromolekulární látky se připravují polyreakcemi. Jsou to jednoduché chemické reakce, které se mohou mnohokrát opakovat. Polyreakce se mohou zúčastnit jen takové chemické sloučeniny, které mají v molekule alespoň dvě funkční skupiny schopné reagovat s dalšími molekulami. Opakování reakce je tedy umožněno vhodnou chemickou strukturou výchozích nízkomolekulárních sloučenin, které se označují jako monomer. Spojením mnoha monomerních jednotek vzniká polymer, což je látka se zcela novými vlastnostmi. Existují tři základní druhy polyreakcí - polymerace, polykondenzace a polyadice.

Při polymeraci se molekuly monomeru obsahujícího dvojnou vazbu mezi dvěma atomy uhlíku vzájemně spojují řetězovým mechanismem v polymer, aniž současně vzniká jakákoli vedlejší nízkomolekulární látka. Vznikající polymer je pak složen z jednotek o stejné hmotnosti, jakou měl výchozí monomer.

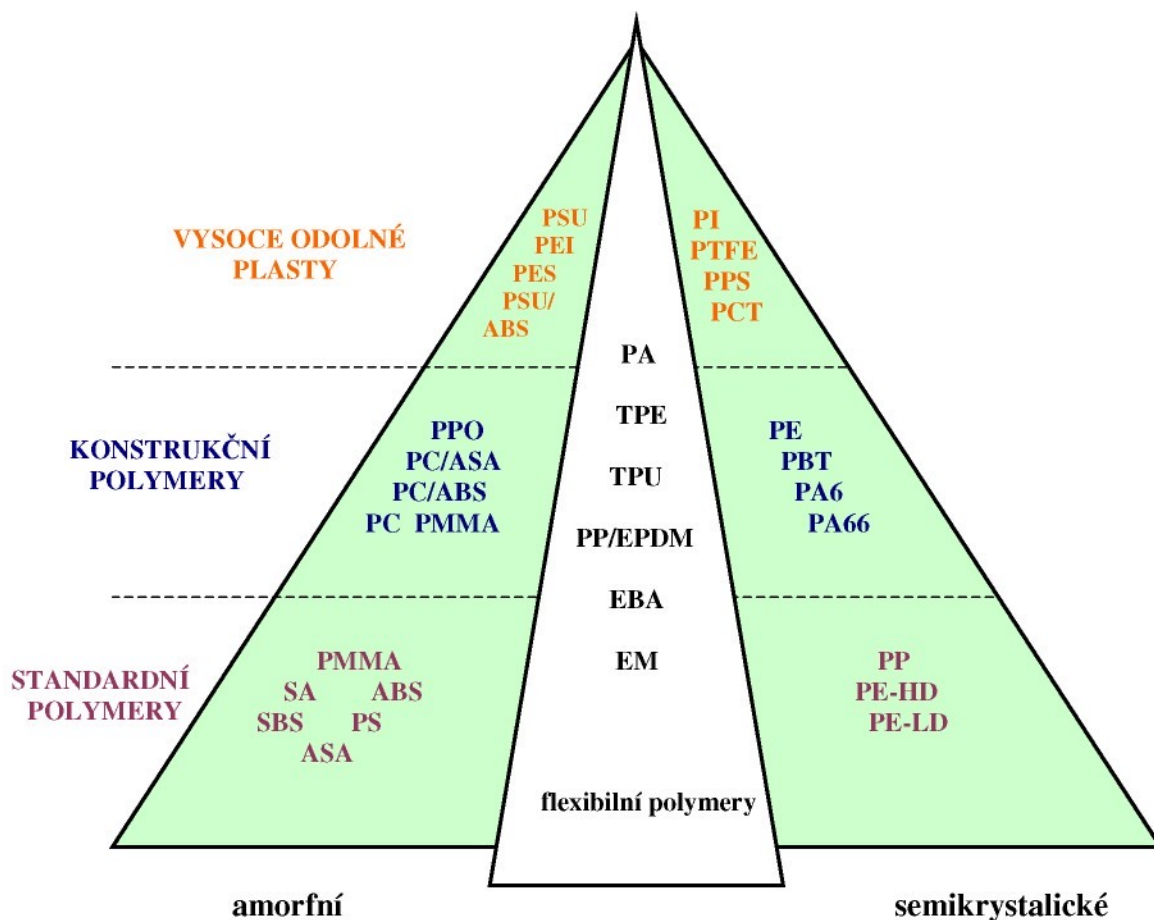
Polykondenzace – reakce se zúčastní zpravidla monomery různého druhu a vznik makromolekuly je provázen vždy tvorbou vedlejší nízkomolekulární sloučeniny. Rychlost polykondenzace je poměrně malá a reakce probíhá i několik hodin [3].

Třetím typem polyreakce je polyadice, kterou se připravují polymery, jež kromě uhlíku obsahují v řetězci i neuhlíkové atomy. Je založena na postupné adici jednoho monomeru na funkční skupinu monomeru druhého. Podobně jako u polymerace nevzniká vedlejší produkt, rychlost reakce je také malá.

Plasty lze členit do různých skupin podle různých kritérií. Pro praxi je nejdůležitější jejich dělení na základě jejich chování při zahřívání. Podle toho se dělí na termoplasty a reaktoplasty.

Dalším hlediskem při rozdělování plastů může být schopnost jejich makromolekul dosáhnout většího či menšího stupně uspořádanosti a vykazovat tak různou nadmolekulární strukturu. Podle toho se dělí na amorfní plasty, kde makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici, řetězce jsou v prostoru nepravidelně zkrouceny a propleteny, a na krystalické plasty, jejichž makromolekuly vykazují značný stupeň uspořádanosti – krystalinity [3].

Další možnost klasifikace polymerních materiálů vychází z jejich postavení na trhu – obr.2.



Obr.2 : Umístění jednotlivých polymerů v klasifikační pyramidě podle jejich postavení na trhu.

Dále plasty můžeme rozdělit na neplněné a plněné. Za neplněný plast považujeme takový, u kterého množství přísad prakticky neovlivňuje vlastnosti určující složky, tj. polymerní matrice. Přesáhne-li množství plniva určitou mez, začnou se výrazným způsobem měnit fyzikální a mechanické vlastnosti plastu a pak hovoříme o plněných plastech [3].

2.2 Termoplasty

Termoplasty jsou polymery, které zahříváním přecházejí do plastického stavu a pak je možné je tvářet do požadovaného tvaru. Do pevného stavu přejdou ochlazením pod určitou teplotu, jež je pro daný druh plastu typická.

Při zahřívání nastávají pouze změny fyzikální povahy, ale chemická struktura plastu se nemění. Proto lze proces plastikace a tuhnutí teoreticky opakovat do nekonečna.

Ve skutečnosti však při zvýšené teplotě dochází za spolupůsobení vzdušného kyslíku k nežádoucí degradaci polymeru, což se projevuje zhoršováním jeho vlastností.

Rychlost degradace se zvětšuje se stoupající teplotou a stupeň degradace závisí kromě teploty také na době jejího působení. U některých plastů podporují degradaci specificky působící látky, přítomné třeba jen v nepatrných množstvích, např. stopy vody nebo těžkých kovů [3].

Příklady termoplastů:

polyetylén PE, polypropylen PP, polyvinylchlorid PVC, polystyren PS

polyetylentereftalát PET, polyamid PA, polyuretany PUR

2.2.1 Vlastnosti vybraných termoplastů

Polyetylén PE

Polyetylén je semikrystalický termoplast, vykazuje relativně nižší pevnost a tuhost, ale velkou houževnatost. Elektroizolační vlastnosti jsou velmi dobré. Jsou hořlavé a mají nízkou odolnost proti povětrnosti. Nenavlhají a dobře odolávají kyselinám, zásadám i rozpouštědlům. Vyrábí se ve dvou základních typech, a to rozvětvený (nízkohustotní) a lineární. Nepatří mezi konstrukční plasty, protože mechanické vlastnosti nejsou vysoké. Odolnost vůči rázu je však vynikající [3].



Obr.3: Polyetylenová pěna.

Polyetylén s zpracovává mnoha technologiemi. Vstřikováním se vyrábějí předměty spotřebního charakteru jako jsou dětské vaničky, koše na odpadky, kbelíky. Vytlačováním se vyrábějí trubky. Značné množství PE se spotřebují na výrobu fólií, které jsou důležitým obalovým materiálem v potravinářském i spotřebním průmyslu. Pevnost v tahu se pohybuje mezi 15 až 35 Mpa, modul pružnosti od 150 až 1000 Mpa [3].

Polyamid 6, PA 6

Je to semikrystalický termoplast tvořený lineárními makromolekulami. Na rozdíl od polyetylénu obsah krystalické fáze není vysoký, asi 25 až 45 %. Je to konstrukční plast s výhodnými mechanickými vlastnostmi. Pevnost v tahu se pohybuje mezi 41 až 81 MPa, modul pružnosti od 900 do 1600 MPa. Má mimořádně vysokou odolnost vůči otěru. Pro nízký koeficient tření je jedním z nejdůležitějších polymerů na výrobu ložisek schopných pracovat i bez mazání [3].

Polykarbonáty, PC

Jsou to amorfní termoplasty, které se vyznačují dobrými mechanickými vlastnostmi. Pevnost v tahu bývá až 70 MPa, modul pružnosti až 2500 MPa a houževnatost je tak vysoká, že ani při prudkém nárazu výrobek nepraskne. PC jsou velmi dobré konstrukční plasty. Vstřikováním se z nich vyrábějí telefony, přední a zadní stěny televizorů, kryty rozvodních skříní [3].

2.3 Krystalizace polymerů

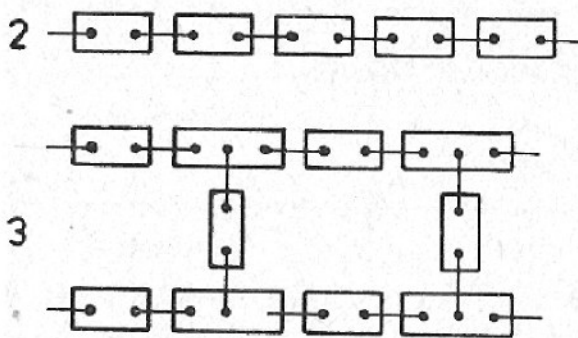
Krystalické oblasti se svými vlastnostmi výrazně liší od amorfních. Vlivem těsnějšího uspořádání makromolekul v krystalických oblastech a tím i větších soudržných sil má zvyšování krystalického podílu za následek zvýšení pevnosti, tuhosti a tvrdosti polymeru, při současném snížení houževnatosti. Krystalické oblasti mají vyšší hustotu než amorfní, dochází při průchodu světla hmotou k jeho rozptylu na rozhraní obou fází a hmota se jeví mléčně zakalená, což je důsledkem nehomogenní struktury polymeru. Amorfní polymery jsou čiré a průhledné [3].



Obr.4: Ukázky amorfních plastů.

Schopnost polymerů vytvářet uspořádanou strukturu závisí především na geometrickém tvaru řetězců, na počtu rozvětvení, na ohebnosti řetězců.

Obecně vzniká krystalická struktura tím snadněji, čím je molekula symetričtější, čím je řetězec hladší a pravidelnější. Velmi snadno krystalizuje polyetylén, který má jednoduchý a pravidelný řetězec. Tvar makromolekul je dán funkcí monomerů, která rozhoduje o možnosti vzniku makromolekul lineárních, rozvětvených nebo zesíťovaných.



Obr.5: Molekulární struktura

Kromě strukturních předpokladů jsou pro krystalizaci nutné i vhodné kinetické podmínky, které souvisí s pohyblivostí makromolekul nebo jejich částí. Ty závisí na teplotě, se kterou souvisí dva faktory rozhodující o tvorbě krystalické fáze, rychlost nukleace a rychlost krystalitů.

Nukleace znamená tvorbu krystalických zárodků, na nichž teprve rostou krystality. Pod teplotou skelného přechodu T_g a nad teplotou tání T_m k nukleaci nedochází. Těsně pod teplotou tání se tvoří jen malé množství zárodků, se snižující se teplotou rychlost nukleace roste až k maximu.

Primární nukleace se označuje jako homogenní, jestliže v soustavě nejsou přítomny žádné předem vytvořené zárodky ani cizí povrchy. Nukleaci je možno sledovat např. polarizačním mikroskopem podle vzniku dvojlomných oblastí. Při homogenní nukleaci vznikají zárodky skutečně nejprve přibližně lineárně s časem a nahodile v prostoru. Nakonec dosahuje počet vzniklých zárodků konstantní hodnoty a dále se již nemění.

Makroskopický postup krystalické fronty se nazývá lineární rychlost růstu. Lze jej sledovat u monokrystalů přímo, metodami optické nebo elektronové mikroskopie. Dílčí děje růstu jsou: difúze polymerních segmentů k povrchu rostoucího krystalu, adsorpce segmentů na povrchu krystalu za vzniku dvourozměrného zárodku (sekundární nukleace), skládání molekuly na povrchu v okolí přichyceného zárodku. Tento poslední krok je rychlý. Rychlost růstu určuje rychlost sekundární nukleace [3].

Jakmile je vytvořen krystalizační zárodek, zbytek molekuly se rychle naskládá na růstové ploše, při čemž zachovává přibližně stejnou periodu skládání, jako má zárodek. Růst probíhá po vrstvách. Vzniká lamelární útvar.

Druhou veličinou ovlivňující průběh krystalizace je doba, kterou má polymer k dispozici. Při pomalém ochlazování polymeru z teploty T_m se vytváří malé množství zárodků a struktura je hrubozrná. Chceme-li dosáhnout jemnozrné struktury, musí krystalizace probíhat při takové teplotě, kdy se tvoří velké množství zárodků.

Jestliže je krystalizace spojena s přeměnou fáze, to znamená že polymer přechází ze stavu kapalného do tuhého, hovoříme o primární krystalizaci. Ta však může ještě pokračovat i v tuhém stavu, často po velice dlouhou dobu i několika měsíců, a nazývá se sekundární krystalizace. Jsou s ní spojeny nejen změny rozměrů, ale i vlastností výrobků, je jevem nežádoucím. Schopnost krystalizace tedy závisí na druhu polymeru [3].

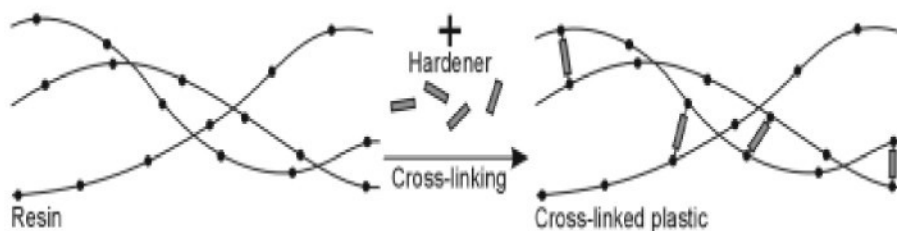
Celková rychlost krystalizace

Závislost stupně krystalizace (tj. obsahu krystalicky uspořádaných oblastí v semikrystalické soustavě) na době krystalizace vykazuje rysy typické pro dvoustupňový proces. V prvním stupni, při tzv. primární krystalizaci, proběhne největší část přeměny. Na něj pak navazuje mnohem pomalejší druhý stupeň, tzv. sekundární krystalizace.

Projevy sekundární krystalizace jsou patrné již v posledních stádiích primární krystalizace a projevují se ještě po dlouhé době (týdny, měsíce). Při sekundární krystalizaci dochází k uspořádání toho materiálu, který byl pro špatnou krystalizační schopnost vypuzen z primárních krystalů. Během sekundární krystalizace se pomalu organizuje a částečně začleňuje do existujících lamel, čímž se jejich tloušťka zvětšuje. Zároveň dochází ke kineticky obtížnému zdokonalování stavby krystalů [3].

2.4 Reaktoplasty

Přicházejí ke zpracování například jako poměrně nízkomolekulární sloučeniny, které v první fázi zahřívání měknou a je možné je tvářet, avšak tvařitelnost si podržují jen omezenou dobu, protože zahříváním se rozběhne polyreakce, zpravidla polykondenzace, která byla při výrobě polymeru v určité fázi přerušena a výsledkem je prostorově zesíťovaná struktura, která je pro reaktoplasty charakteristická. Tento děj se nazývá vytvrzování a je nevratný.



Obr.6: Tvar makromolekul.

Makromolekulární sítě vznikají spojováním lineárních nebo rozvětvených makromolekul, které obsahují dosud nevyčerpaná vazebná místa.

Vytvrzenou hmotu nelze znovu ani roztavit ani rozpustit v rozpouštědlech. Jednotlivé úseky makromolekul jsou totiž tak hustě propojeny chemickými vazbami, že celý výrobek je možno považovat za jedinou ohromnou makromolekulu.

Technologický odpad vznikající při zpracování reaktoplastů nelze na rozdíl do termoplastového odpadu znovu zpracovat. Roztavení reaktoplastů není možné dosáhnout zahřátím ani na sebevyšší teplotu, neboť při překročení určité teploty nastává trhání chemických vazeb v řetězcích a hmota degraduje. To je provázáno rychlým zhoršováním vlastností [3].

2.4.1 Základní rozdělení reaktoplastů

fenoplasty - novolaky

- rezoly

aminoplasty

epoxidy

polyestery

Fenoplasty = fenolické hmoty, je souhrnný název pro hmoty založené na syntetických pryskyřicích vznikajících polykondenzací fenolu s některými aldehydy. Podle druhu fenolu se může jednat o pryskyřice fenolové, krezolové. Nejběžnější jsou fenolformaldehydové pryskyřice.

Aminoplasty = aminové hmoty, vznikají kondenzací látek obsahujících v molekule aminoskupinu – NH_2 . Patří sem močovinoformaldehydové (UF) a melaminformaldehydové (MF) hmoty.

Epoxidy = epoxidové pryskyřice, jsou především hmoty známé jako kvalitní lepidla polárních materiálů, např. kovů, skla, keramiky aj. Dodávají se ve dvou druzích, podle toho, zda jsou určena pro práci při normální anebo při zvýšené teplotě.

Lepidla pro práci za studena jsou tekutá a před použitím se k nim musí přidat v předepsaném poměru tvrdidlo. Používají se ke spojování předmětů, které nelze zahřát, buď proto, že jsou příliš velké nebo že by se mohly deformovat. Lepidla pro vytvrzování za tepla jsou tuhá a tvrdidlo již obsahují.

Polyestery (nenasycené) = jsou nejčastějším pojivem pro stříhaná skleněná vlákna nebo skelné tkaniny (skelné lamináty s pevností asi 280 N/mm^2). Odolávají chemikáliím a teplotám asi do 120°C . Používají se jako materiály pro skladovací nádrže, cisterny a potrubí v chemii a potravinářství, trupy člunů a menších lodí, karosérie sportovních automobilů, motocyklových přívěsů, střešní krytiny, křesla, stolky, vany, jako vyztužující konstrukce pro nádrže a potrubí z termoplastů apod. Vysokotlaké nádoby a potrubí se vyrábějí navíjením skleněných vláken (impregnovaných polyesterovou pryskyřicí) v určitém směru na tvarové jádro. Dosahuje se pevnosti přes 800 N/mm^2 ve směru vláken což jsou hodnoty porovnatelné s kvalitními zušlechtěnými ocelemi.

Proti termoplastům jsou vysoce tuhé a tvrdé, tepelně odolné i stálé za tepla, odolné vůči povětrnosti a korozi za napětí, nevýhodou je malá tažnost.

Reaktoplasty se na finální výrobky zpracovávají lisováním nebo přetlačováním či nejmodernějším způsobem vstřikováním. Poměrně malý význam má odlévání a ještě menší význam vytlačování. Používají se jako lisovací hmoty, nátěrové hmoty, lepidla, tmely, vrstvené lamináty, zalévací hmoty [3].

2.5 Mechanismus vytvrzování epoxidových pryskyřic

2.5.1 Vytvrzovací proces

Vytvrzování epoxidových pryskyřic je proces, ve kterém se pomocí chemických reakcí převádějí nízkomolekulární, rozpustné a tavitelné epoxidové monomery a oligomery na netavitelné a nerozpustné polymery, které vykazují trojrozměrnou strukturu. Epoxidové pryskyřice dosahují po vytvrzení řady vlastností, jako je mechanická pevnost, rozměrová stálost, tepelná odolnost a další, které jsou pro většinu aplikací nezbytné.

Vytvrzování epoxidových pryskyřic se provádí pomocí tvrdidel, což jsou látky schopné reagovat s epoxidovými ale i hydroxylovými skupinami přítomnými v monomeru a stávají se součástí vytvořené sítě.

Do první skupiny patří všechna polyadiční tvrdidla, např. polyamidy, polykarboxylové kyseliny a anhydridy, aminoaminy apod., do druhé skupiny pak tzv. polymerační tvrdidla jako např. Lewisovy báze a kyseliny a komplexní katalyzátory [1].

2.5.2 Vliv struktury epoxidových pryskyřic a tvrdidel na průběh vytvrzování a vlastnosti vytvrzených hmot

Epoxidové pryskyřice dosahují konečných užitečných vlastností až po vytvrzení. Tyto vlastnosti lze značně ovlivnit výběrem monomerů, tj. epoxidových pryskyřic, tvrdidel a vytvrzovacím režimem, ale i dalšími přísadami jako jsou urychlovače, modifikátory, plniva a nastavovačla.

Při studiu těchto souvislostí můžeme postupovat dvěma cestami, buď vědecky – výchozí látky, proces vzniku, struktura a vlastnosti, nebo empiricky s vynecháním studia struktury. První postup je zdánlivě zdlouhavější, přináší však trvale zobecňující poznatky. Druhý má náhodný charakter, nelze se však zatím bez něho obejít, protože nejsou dosud zdaleka známy všechny vztahy mezi konečnými vlastnostmi a strukturou vzniklé látky [1].

2.5.3 Bod gelace

Bod gelace je typickým rysem všech síťovacích reakcí. Je to okamžik, kdy se v systému objeví nekonečná struktura, což se vizuálně projeví ztrátou tekutosti nebo přítomností nerozpustného podílu. Z technologického, popř. kinetického hlediska je důležitá doba gelace, ale pro strukturní informace má význam hlavně kritická konverze funkčních skupin v bodě gelace [1].

Pogelační oblast

V pogelační oblasti nastává postupné vázání rozpustných částic solu do nekonečné struktury – gelu. Sol je rozpustný a lze ho ze vzorku extrahovat. S postupující konverzí roste podíl gelu a zároveň stupeň síťování [1].

2.5.4 Doba zpracovatelnosti a vzestup teploty reakční směsi

Dobou zpracovatelnosti, často také uváděnou jako lící životnost, se rozumí doba při dané teplotě zpracování, po kterou je možné hotovou lící směs ještě odlévat a odlitky jsou kvalitní. Chemická vytvrzovací reakce začíná po smíšení pryskyřice s tvrdicí přísadou.

Při příliš krátké době zpracovatelnosti nemusí být odlitek homogenní, nebo může mít velké vnitřní pnutí, zvláště obsahuje-li kovové zálitky. Při dlouhé době je výrobní cyklus zbytečně dlouhý a může docházet k nežádoucí sedimentaci plniv.

Po uplynutí doby zpracovatelnosti přechází lící směs rychle do stavu gelu za teploty, která stoupá vlivem exotermické reakce. Dochází tak k objemovému smrštění. Vzestup teploty a množství uvolněného tepla jsou opět závislé na druhu reagujících látek, jejich množství, výchozí teplotě a možnosti odvodu tepla, plnění. Proto se také směsi s rychlým vytvrzením za studena zřídka používají k odlévání větších bloků, kde není zajištěn dobrý odvod vzniklého tepla. Teplota se zvyšuje s množstvím reagující směsi až do hmotnosti 5 kg, nad ní je další vzestup teploty již nevýrazný. Pro vlastní zalévání velice záleží na tvaru a druhu formy. Největší vzrůst teploty vzniká ve formách s aktivní částí blížící se kulovému tvaru a tehdy, je-li forma ze špatně tepelně vodivého materiálu [1].

2.5.5 Smrštění při vytvrzování

Celkové smrštění odlitku vzniká od okamžiku gelace pryskyřice, tj. jeho hlavní část se uskutečňuje při reakci v tuhé fázi, provázené zvýšením teploty směsi. Projevuje se zmenšením rozměrů a zvětšením hustoty. Skládá se ze dvou složek. Prvou je smrštění způsobené vytvrzovací reakcí, druhou složkou je změna objemu vlivem chladnutí z teploty vytvrzovací na teplotu normální. Z toho vyplývá, že smrštění je dáno hlavně rozdílem teplot a velikostí koeficientu teplotní roztažnosti. S ohledem na uvedené vlastnosti se velmi příznivě projevují plniva, která smrštění podstatně snižují [1].

2.6 Vlastnosti po vytvrzení

Optimální konečné vlastnosti odlitku se získají jen za předpokladu, že dobře navržená lící směs je správně vytvrzena, tzn. že v odlitku nejsou prakticky žádné volné epoxidové skupiny, ani přebytek tvrdidla. To předpokládá jednak správné vzájemné dávkování a promíchání, jednak dodržení podmínek pro co nejlepší dotvrzení, především teploty a času [1].

2.6.1 Mechanické vlastnosti

Ve většině případů jsou epoxidové odlitky vystaveny statickému mechanickému namáhání buď působením vnějších vlivů, nebo je napětí způsobeno rychlým ohřátím průchodem proudem. V provozu se pak vyskytují také nebezpečná namáhání vlivem chvění apod. Uvedená namáhání se vyskytují nejen při teplotách normálních, ale často při zvýšených, které mohou vést k rychlému selhání součásti, popř. ke stárnutí materiálu, kdy se nevratně zhoršují fyzikální vlastnosti. Mechanické vlastnosti závisejí především na volbě licí směsi a teplotě. Důležitý je i způsob a doba namáhání. Teplota a doba namáhání jsou označovány jako dva základní činitele, které jsou rozhodující při posuzování materiálu. Licí epoxidy jsou prakticky vždy izotropní, homogenní materiály s relativně nízkou mezí pevnosti v tahu a vysokou pevností v tlaku [1].

Mez pevnosti v tahu

Hodnoty meze pevnosti v tahu se pohybují zhruba mezi 30 až 70 MPa při normální teplotě. Směrem k nižším teplotám pevnost mírně stoupá, naopak s rostoucí teplotou se snižuje. Nejvyšších pevností se dosahuje u dianových epoxidů, přičemž volba tvrdidla má velkou důležitost. Epoxidy novolakové a zvláště acetalové mají pevnosti nižší. Z toho vyplývá univerzálnější použití dianových epoxidů, zvláště jako konstrukčního materiálu.

Při zkoušce pevnosti v tahu se většinou také zjišťuje průběh křivky napětí-deformace, která je důležitým ukazatelem houževnatosti materiálu. Pokud není materiál homogenní, projeví se to poklesem pevnosti, přičemž nejčastější příčinou jsou vzduchové dutiny vzniklé při nesprávném zpracování a odlévání směsi. Pro jejich odstranění je nejvýhodnější použít sníženého tlaku (vakua) [1].

Mez pevnosti v tlaku

Mez pevnosti v tlaku je stejně jako mez pevnosti v tahu závislá na teplotě, stupni a druhu modifikace, druhu a kvalitě přípravy licí směsi, popřípadě přítomnosti plniv. Pro licí pryskyřice dianového typu se pohybují hodnoty od 60 MPa při normální teplotě až do 200 MPa pro nemodifikované epoxidy tvrditelné za horka [1].

Mez pevnosti v ohybu

Hodnoty jsou v úzké souvislosti k použité pryskyřici a tvrdidlu. Pro dianové typy se dosahuje nejvyšších hodnot při vytvrzování polyamidy a diaminy. V případě, že je odlitek při provozu vystaven působení zvýšené teploty, dochází ke stárnutí materiálu [1].

Rázová houževnatost

Hodnoty jednotlivých směsí se mohou pohybovat v širokém rozmezí podle houževnatosti materiálu. Rázovou zkouškou lze rychle a objektivně posoudit, zda jde o houževnatý nebo křehký materiál. S klesající teplotou rázová houževnatost klesá [1].

Modul pružnosti

Modul pružnosti opět závisí na složení směsi a jejím vytvrzení. Není konstantní, ale mění se v závislosti na čase, teplotě a napětí [1].

Vliv dávkování tvrdidel

Je nutné věnovat zvýšenou pozornost dávkování jednotlivých složek licí směsi. Jinak může dojít k nežádoucímu zhoršení vlastností především mechanických.

Chování směsí není při změnách dávkování tvrdidla jednotné. U aminových tvrdidel pevnost v ohybu, tahu i rázu s rostoucí dávkou tvrdidla stoupá. U pevnosti v tlaku není průběh tak jednoznačný, spíše má charakter klesající [1].

Dynamické namáhání

Důležitou vlastností licích pryskyřic je také jejich odolnost proti dynamickému namáhání. Tato vlastnost souvisí vedle řady dříve uvedených, jako je např. mechanická pevnost, modul pružnosti, tvrdost, houževnatost, také s únavou materiálu, vznikem a narůstáním trhlin, vznikem tepla při deformaci apod.

Jde tedy o jevy značně složité, a proto posouzení materiálu v tomto směru nebývá možné bez přímého experimentálního ověřování [1].

2.6.2 Tepelné vlastnosti

Sledování tepelných vlastností licích směsí je důležité zvláště v případech, kdy jsou odlitky vystaveny v provozu zvýšené teplotě, často doprovázené mechanickým namáháním. V tomto případě dochází u každé směsi v určitém intervalu teploty k jejímu měknutí, což může vést k poškození odlitku [1].

2.6.3 Elektrické vlastnosti

Z elektrického hlediska lze epoxidy zařadit podle elektrických vlastností, především hodnot izolačních odporů, mezi izolanty.

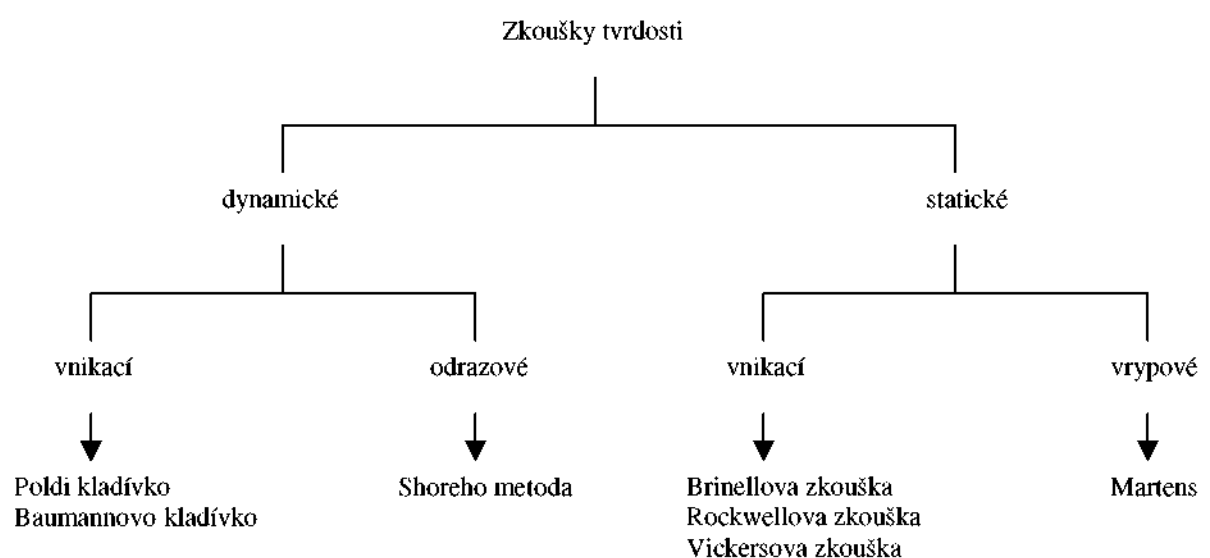
Vzhledem k těmto vlastnostem a snadné technologii zpracování se epoxidů hojně využívá nejen na konstrukční aplikace, ale i na izolační součásti, především v silnoproudé elektrotechnice [1].

2.7 Chemická činidla

Na odlitky z epoxidů mohou během provozu, zvláště v chemickém průmyslu, působit různá chemická činidla, která mohou buď podporovat stárnutí, nebo odlitky zcela znehodnotit korozí. Chemikálie mohou difundovat do odlitků a způsobit jejich bobtnání. Zjišťují se změny hmotností a rozměrů, mechanických vlastností a elektrických vlastností [1].

2.8 Tvrdost

Tvrdostí se rozumí odpor proti vnikání tělesa z jiného materiálu do zkoušeného materiálu. Hodnotíme ji podle stopy vtisku, která vtláčováním vznikne. Zkušební těleso může být různých tvarů (kulička, kužel, jehlan), vždy z dostatečně tvrdých materiálů (kalená ocel, diamant, slinutý karbid). Tělísko se vtláčuje určitou silou a za přesně definovaných podmínek daných příslušnou normou. U každého tvaru vnikajícího tělesa se určují jiné rozměry vtisku. To platí pro statické zkoušky tvrdosti. Pro dynamické měření tvrdosti se působí na zkoušený vzorek rázem [1].



Obr.7: Rozdělení zkoušek tvrdosti.

Dynamické zkoušky

Měření Poldi kladívkem je srovnávací metoda. Úderem kladiva na úderník vznikne jednak vtisk na zkoušeném materiálu a jednak na porovnávací tyčce, která je vložena v kladívku. Vnikacím tělesem je kulička. Tvrdost porovnávací tyčinky je známá a z velikosti obou vtisků se pak snadno v tabulkách odečte tvrdost zkoušeného materiálu.

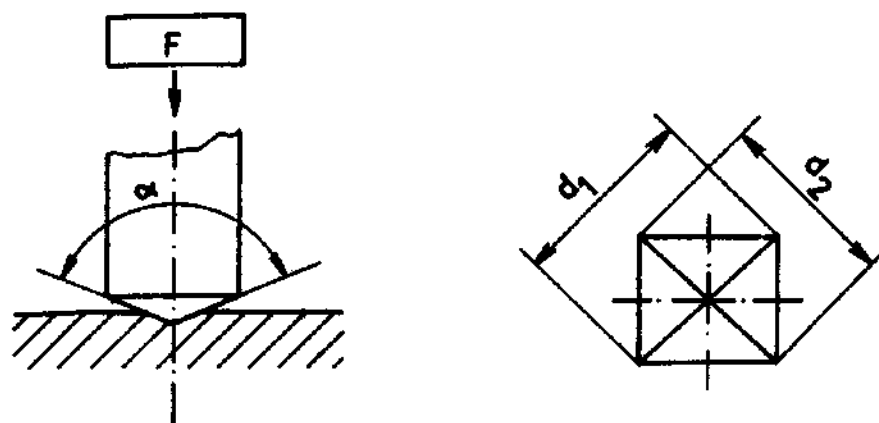
Shoreho metodou se posuzuje výška odrazu závaží, které dopadlo z určité výšky na zkoušený materiál. Závaží je ukončeno diamantovým hrotem a tvrdoměr je označován jako skleroskop [1].

Statické zkoušky

Vrypová zkouška podle Martense se provádí obecně tak, že se na zkoušeném materiálu se vytvoří vryp určité šířky. K tomu je zapotřebí určité zatížení, které je ukazatelem tvrdosti.

Zkouška podle Brinella (HB) – do zkoušeného materiálu se vtlačuje určitou silou ocelová kulička určitého průměru. Měřítkem tvrdosti je velikost vzniklého vtisku.

Vnikacím tělískem zkoušky podle Vickerse (HV) je čtyřboký diamantový jehlan jehož vrcholový úhel je 136° . Po odlehčení se měří úhlopříčka vtisku.

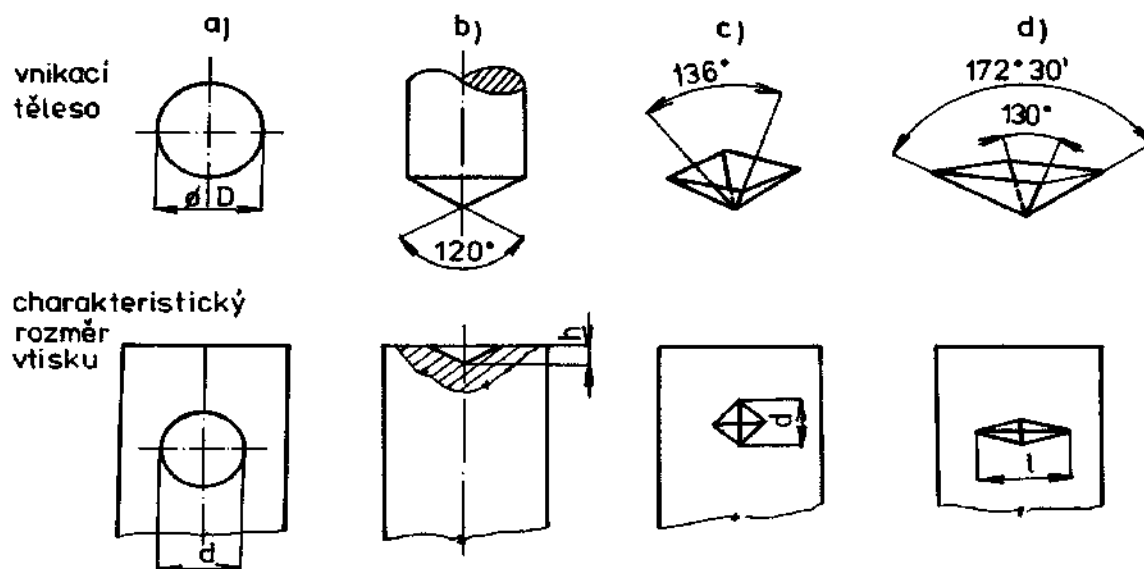


Obr.8: Schéma zkoušky tvrdosti podle Vickerse.

Diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° a zaoblením hrotu 0,2 mm nebo kalená ocelová kulička je vnikacím tělískem zkoušky tvrdosti podle Rockwella (HRC, HRB, HRA).

Tvrdost je dána hloubkou vtisku dosažené působením plného zatížení, která je měřena od hloubky odpovídajícího předběžného zatížení a zmenšena o zpětnou pružnou deformaci.

Při měření se nejprve zatíží vnikací tělísko předběžným zatížením a poté začne působit přídatné zatížení [1].



Obr.9: Tvary nejčastěji užívaných vnikacích těles a zjišťované rozměry vtisků při měření tvrdosti. Metody: a) Brinellova, b) Rockwellova, c) Vickersova, d) Knoopova.

Tyto zkoušky jsou využívány k měření tvrdosti kovů. Stanovení tvrdosti polymerů je komplikováno jejich viskoelastickým chováním [1].

2.9 Viskoelastické chování plastů

Při aplikaci jakéhokoliv materiálu v konstrukční praxi, jsou důležité jeho deformační vlastnosti, které vyjadřují vztah mezi vnější silou a deformací materiálu. Mezní případy představují ideálně pružné těleso a ideálně viskozni kapalinu.

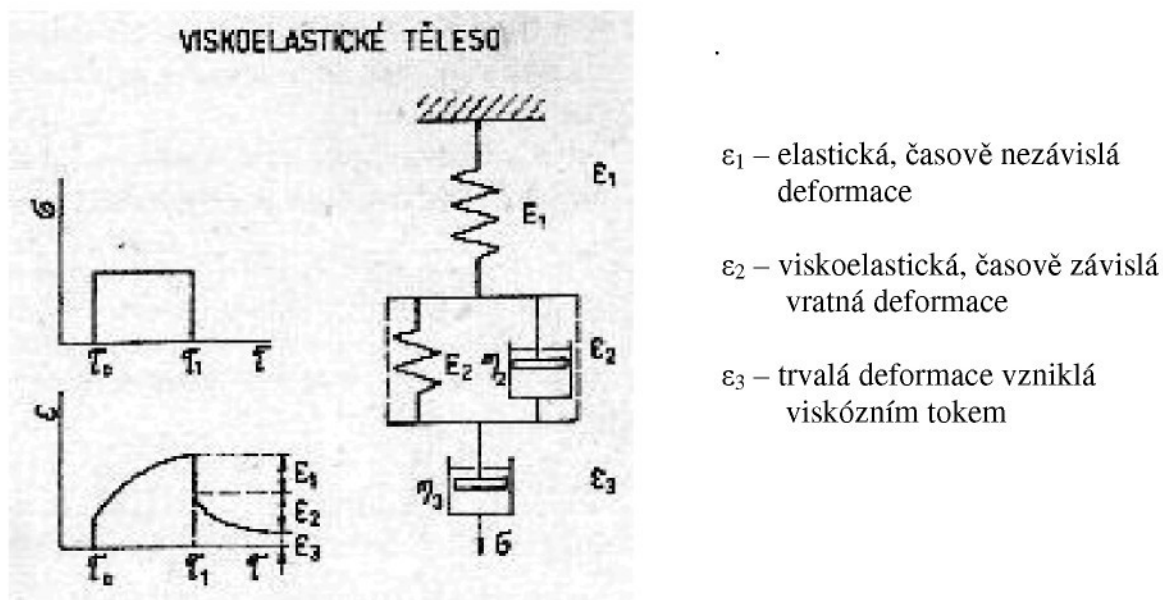
Pro deformaci ideálně pružného tělesa za podmínky jednoosého tahového namáhání platí Hookův zákon: $\sigma = E \cdot \varepsilon$, kde σ – normálové napětí, E – modul pružnosti v tahu, ε – relativní prodloužení.

Ideálně pružné těleso lze charakterizovat těmito znaky: deformace se ustaví okamžitě, jakmile začne působit vnější napětí a její velikost je přímo úměrná napětí. S časem se dále nemění.

Na vnější namáhání polymery reagují tak, že deformace zahrnuje vždy současně složku elastickou, i plastickou čili (viskozni tok) a navíc ještě tzv. deformaci zpožděně elastickou. Protože ta, stejně jako deformace plastická, závisí kromě velikosti působícího napětí na době jeho působení, je celková deformace časově závislá. Takové deformační chování se nazývá

viskoelastické. Viskoelasticitu materiálu je možné znázornit Tucketovým modelem, který z kvalitativního hlediska dobře vystihuje chování skutečných polymerů [2].

Tucketův model



Obr.10: Časová závislost deformace viskoelastického tělesa

2.10 Mikrotvrдость

Pro speciální účely, např. při studiu anizotropie krystalických polymerů, se používá mikrotvrdoměr. Metoda stanovení mikrotvrlosti je v podstatě Vickersova zkouška, kdy se do materiálu vtlačuje čtyřboký diamantový jehlan při velmi malých zatíženích, jen několik gramů. Je třeba vytvořit přesně umístěný vtisk. Po odlehčení se měří úhlopříčka vtisku pomocí mikroskopu.

Pokud budeme porovnávat výsledky mikrotvrlosti a makrotvrlosti při stejném tvaru vnikacího tělíska, zjistíme, že vyšší jsou naměřené hodnoty mikrotvrlosti. Toto se dá vysvětlit zmenšením vtisku po odlehčení měřeného vzorku o pružnou deformaci. Podíl této pružné deformace na celkové velikosti vtisku se s klesající velikostí vtisku zvětšuje. Při měření mikrotvrlosti pak vliv této deformační složky není zanedbatelný [1].

3 Experimentální část

3.1 Charakteristika vzorků a jejich označení

Epoxidová pryskyřice

Epoxidové lepidlo ChS Epoxy 371

Charakteristika: ChS Epoxy 371 je epoxidová pryskyřice modifikovaná nereaktivním změkčovadlem. Je to silně viskózní pryskyřice hustoty asi $1,13 \text{ g/cm}^3$ při 23°C . Vytvrzuje se po smísení s vhodnými tvrdidly při teplotách 15 až 80°C .

Použití: ChS Epoxy 371 se používá k přípravě lepících kompozic pro lepení kovu, skla, keramiky a jiných vhodných materiálů a k přípravě tmelu. ChS Epoxy 371 vytvrzená ChS-tvrdidlem P 11 splňuje hygienické požadavky vyhlášky MZ ČR č. 37/2001 Sb. na výrobky přicházející do přímého styku s pitnou vodou. Před aplikací nesmí být kompozice zředěny přídavkem jakéhokoliv ředidla či rozpouštědla.

Vlastnosti ChS tvrdidla P11

Charakteristika: ChS-tvrdidlo P 11 je směs technických polyalkylenpolyaminů, obsahující převážně diethylentriamin.

Použití: ChS-tvrdidlo P 11 se používá k vytvrzování epoxidových pryskyřic a systémů především pro oblast stavebnictví, dále při výrobě kompozitů a pro výrobu lepidel.

3.2 Příprava vzorků

Pro přípravu vzorků epoxidové pryskyřice byla použita metoda odlévání do duralových forem. Formy byly separovány roztokem včelího vosku v benzínu, pro zajištění homogenity vzorků – odstranění vzduchových bublin bylo použito vytvrzování v přetlakové komoře.

Vytvrzování při přetlaku $0,6 \text{ MPa}$ a laboratorní teplotě trvalo cca 24 hodin, poté byly vzorky z formy vyjmuty a dotvrzovány do okamžiku měření za laboratorní teploty $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$, chladu $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ a zvýšené teploty $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$.



Obr.11: Fotografie forem.



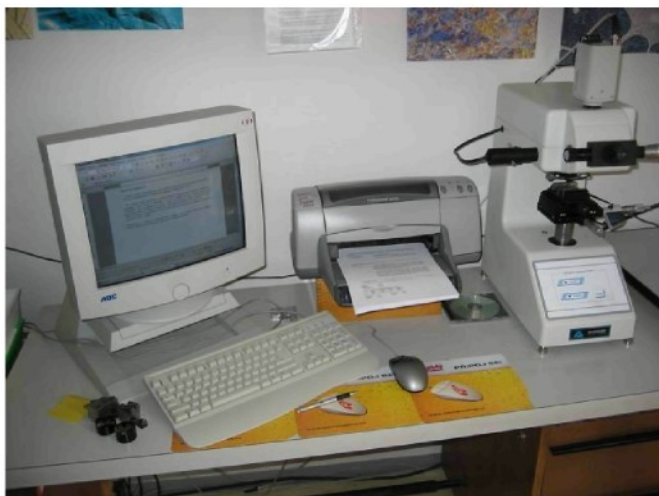
Obr.12: Fotografie přetlakové nádoby.

Pro přípravu vzorků polyetylénu bylo použito práškového polyetylénu s označením RM8343. Cca 8g prášku bylo odváženo do Petriho misky a roztaveno v pánce při teplotě $(150 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Z tohoto disku byly nařezány vzorky, které byly opět uchovávány při laboratorní teplotě $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$, chladu $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$ a zvýšené teplotě $(80 \pm 5) ^\circ\text{C}$ do okamžiku měření.

3.3 Metoda stanovení mikrotvrdosti

Pro měření byla zvolena metoda mikrotvrdosti podle Vickerse ČSN EN ISO 4516 Kovové a jiné anorganické povlaky – Zkoušky podle Vickerse a podle Knoop. Tato zkouška je normována pro kovové materiály, lze ji ale aplikovat i pro polymerní materiály. Je však nutné brát v úvahu viskoelastické chování polymerních materiálů.

K měření byl použit mikrotvrdoměr Micromet 2101 firmy Buehler. Tento přístroj byl propojen s počítačovou technikou a k měření byl využit počítačový systém LUCIA G.



LUCIA je program vyvinutý pro snímání, archivaci a analýzu obrazu. Je využíván v přírodních vědách, v materiálovém výzkumu a při kontrole kvality. Program byl speciálně vyvinut a upraven pro měření mikrotvrdosti dle Vickerse a Knoop.

Obr.13: Měřicí pracoviště.

3.4 Postup měření

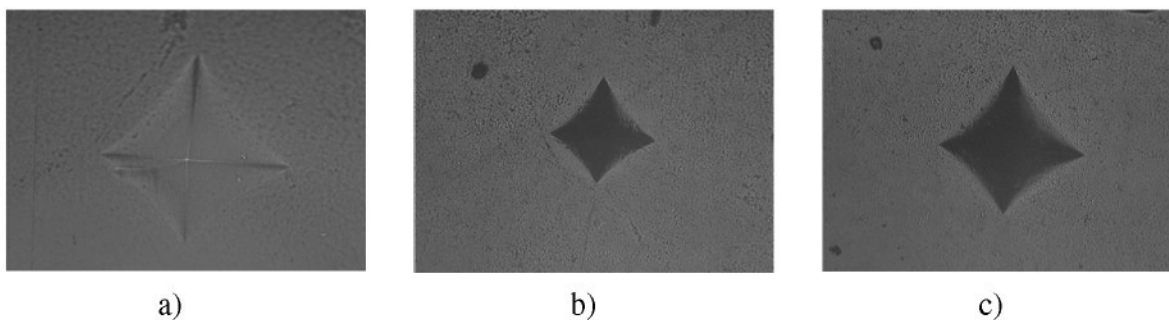
Při měření podle Vickerse je důležité, aby povrchy zkoušených vzorků byly kvalitní. Měření probíhalo při laboratorní teplotě $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti cca 50 %. Doba zatěžování byla 12 s. K dispozici byly dva objektivy. Pro větší rozlišení byl použit objektiv se 40ti násobným zvětšením a s nižší rozlišovací schopností objektiv s 10ti násobným zvětšením.

Použita byla postupně tři zatížení: 10 g, 50 g, 100 g. Pokud povrch vzorků nebyl dostatečně kvalitní, bylo nutné použít větší zatěžovací sílu 300 g, aby byl vzniklý vtisk měřitelný. Pro každé zatížení byla provedena 3 měření.



Obr.14: Měřicí zařízení.

V programu LUCIA byly nastaveny potřebné parametry: zatěžovací síla, objektiv, doba zatížení. Po nastavení těchto parametrů byl z monitoru odečten a zaostřen povrch vzorku, na kterém bylo zvoleno vhodné místo pro vytvoření vpichu. Vpichy nebyly prováděny příliš blízko u kraje vzorku.



Obr. 15: Vtisky vzorků PE_21.4.

a) zatížení 10g, objektiv 40x b) zatížení 50g, objektiv 10x c) zatížení 100g, objektiv 10x

Vnikací těleso bylo pomalu vtlačováno do povrchu, kde zůstalo po nastavenou dobu zatížení. Po jeho odstranění se okamžitě měří vtisk. Měření je prováděno postupným označováním čtyř bodů, což jsou koncové body dvou úhlopříček vzniklého vtisku. Tento postup se opakuje pro další tři měření.

Pro měření jsou důležité délky obou úhlopříček a jejich aritmetický průměr. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách v programu LUCIA.

4 Hodnocení výsledků a diskuze

4.1 Zpracování naměřených hodnot

Polymerní materiály vykazují viskoelastické chování, proto je dále nutné přepočítat naměřené hodnoty. V následujících tabulkách jsou zaznamenány naměřené délky úhlopříček d_1 a d_2 a jejich aritmetický průměr d . S těmito hodnotami se dále pracuje.

Tabulky průměrných hodnot úhlopříček a ploch získaných při různém zatížení, materiál – epoxid.

Tab.1: VZOREK 22_16.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	$d_1[\mu\text{m}]$	$d_2[\mu\text{m}]$	$d[\mu\text{m}]$	HV 0,05	$d_1[\mu\text{m}]$	$d_2[\mu\text{m}]$	$d[\mu\text{m}]$	HV 0,1	$d_1[\mu\text{m}]$	$d_2[\mu\text{m}]$	$d[\mu\text{m}]$
1	1.5	110.2	110.8	110.5	1.1	317.9	266.2	292.0	1.5	355.8	354.3	355.1
2	1.5	115.5	109.1	112.3	1.3	253.1	281.0	267.0	1.4	346.2	374.9	360.6
3	1.6	105.8	107.5	106.6	1.2	310.2	253.2	281.7	1.6	356.6	319.8	338.2
	minimum	1,5	maximum	1,6	minimum	1,1	maximum	1,3	minimum	1,4	maximum	1,6
	průměr	1,5	median	1,5	průměr	1,2	median	1,2	průměr	1,5	median	1,5

Tab.2: VZOREK 22_15.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	$d_1[\mu\text{m}]$	$d_2[\mu\text{m}]$	$d[\mu\text{m}]$	HV 0,05	$d_1[\mu\text{m}]$	$d_2[\mu\text{m}]$	$d[\mu\text{m}]$	HV 0,1	$d_1[\mu\text{m}]$	$d_2[\mu\text{m}]$	$d[\mu\text{m}]$
1	6.5	54.6	52.2	53.4	6.6	110.7	127.0	118.9	6.5	167.0	170.2	168.6
2	6.8	53.1	51.6	52.3	7.0	110.8	119.1	114.9	6.5	161.4	175.7	168.6
3	7.1	51.6	50.8	51.2	6.5	128.5	110.7	119.6	6.4	168.2	172.8	170.5
	minimum	6,5	maximum	7,1	minimum	6,5	maximum	7,0	minimum	6,4	maximum	6,5
	průměr	6,8	median	6,8	průměr	6,7	median	6,6	průměr	6,5	median	6,5

Tab.3: VZOREK 22_14.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	$d_1[\mu\text{m}]$	$d_2[\mu\text{m}]$	$d[\mu\text{m}]$	HV 0,05	$d_1[\mu\text{m}]$	$d_2[\mu\text{m}]$	$d[\mu\text{m}]$	HV 0,1	$d_1[\mu\text{m}]$	$d_2[\mu\text{m}]$	$d[\mu\text{m}]$
1	7.6	49.8	49.0	49.4	8.1	107.9	105.7	106.8	8.4	135.1	162.9	149.0
2	7.4	50.4	50.0	50.2	8.3	107.3	104.3	105.8	8.7	157.5	135.0	146.3
3	7.3	50.2	50.8	50.5	7.8	107.3	111.4	109.3	7.5	157.4	156.6	157.0
	minimum	7,3	maximum	7,6	minimum	7,8	maximum	8,3	minimum	7,5	maximum	8,7
	průměr	7,4	median	7,4	průměr	8,1	median	8,1	průměr	8,2	median	8,4

Tab.4: VZOREK 22_13.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	6.5	53.1	53.6	53.3	9.2	102.5	97.8	100.1	7.2	144.0	176.5	160.3
2	9.3	41.9	47.2	44.5	8.0	106.8	109.2	108.0	7.4	148.7	168.5	158.6
3	7.5	46.1	53.4	49.7	8.7	98.8	107.5	103.1	7.8	155.1	152.7	153.9
	minimum	6,5	maximum	9,3	minimum	8,0	maximum	9,2	minimum	7,2	maximum	7,8
	průměr	7,7	median	7,5	průměr	8,6	median	8,7	průměr	7,5	median	7,4

Tab.5: VZOREK 22_11.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	8.2	49.8	45.5	47.7	9.1	109.1	93.1	101.1	8.2	150.8	150.4	150.6
2	7.5	46.4	53.4	49.9	8.5	103.2	105.7	104.4	9.6	137.5	140.0	138.7
3	8.2	45.1	50.0	47.5	8.8	109.2	95.9	102.6	8.8	136.7	153.6	145.2
	minimum	7,5	maximum	8,2	minimum	8,5	maximum	9,1	minimum	8,2	maximum	9,6
	průměr	7.9	median	8,2	průměr	8,8	median	8,8	průměr	8,9	median	8,8

Tab.6: VZOREK 22_10.3.

	10g				50g				300g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,3	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	11.7	41.9	37.8	39.8	10.1	93.1	98.3	95.7	10.4	229.0	233.9	231.4
2	12.6	36.1	40.6	38.3	11.3	104.9	76.2	90.5	11.0	229.9	220.3	225.1
3	8.8	43.1	48.8	45.9	11.1	83.6	99.6	91.6	10.9	225.3	227.3	226.3
	minimum	8,8	maximum	12,6	minimum	10,1	maximum	11,3	minimum	10,4	maximum	11,0
	průměr	11,0	median	11,7	průměr	10,8	median	11,1	průměr	10,7	median	10,9

Tab.7: VZOREK 22_9.3.

	10g				50g				300g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,3	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	12.9	39.2	36.5	37.9	10.9	103.2	81.1	92.2	11.2	237.6	208.9	223.3
2	12.3	34.4	43.2	38.8	11.4	77.8	102.6	90.2	10.1	245.0	224.4	234.7
3	13.6	36.0	37.8	36.9	10.7	86.8	99.1	93.0	10.1	238.3	231.0	234.6
	minimum	12,3	maximum	13,6	minimum	10,7	maximum	11,4	minimum	10,1	maximum	11,2
	průměr	13,0	median	12,9	průměr	11,0	median	10,9	průměr	10,5	median	10,1

Tab.8: VZOREK 22_8.3.

	10g				50g				300g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,3	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	10.4	42.4	42.2	42.3	11.3	86.6	94.9	90.7	11.2	226.5	218.9	222.7
2	10.5	44.6	39.4	42.0	9.6	102.0	94.9	98.4	9.6	233.5	248.4	241.0
3	9.6	46.4	41.6	44.0	10.8	71.0	114.4	92.7	11.8	205.9	228.4	217.2
	minimum	9,6	maximum	10,5	minimum	9,6	maximum	11,3	minimum	9,6	maximum	11,8
	průměr	10,2	median	9,6	průměr	10,5	median	10,8	průměr	10,9	median	11,2

Tab.9: VZOREK teplota_16.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	11.3	42.3	38.8	40.6	9.7	103.0	92.0	97.5	10.2	136.6	133.4	135.0
2	9.3	44.3	45.1	44.7	8.8	102.9	102.7	102.8	10.7	129.5	133.5	131.5
3	9.7	44.1	43.2	43.7	8.7	107.4	99.0	103.2	11.1	129.5	128.8	129.2
	minimum	9,3	maximum	11,3	minimum	8,7	maximum	9,7	minimum	10,2	maximum	11,1
	průměr	10,1	median	9,7	průměr	9,1	median	8,8	průměr	10,7	median	10,7

Tab.10: VZOREK teplota_15.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	11.5	37.9	42.4	40.1	10.5	94.4	93.3	93.8	10.2	126.3	143.2	134.8
2	12.8	37.8	38.3	38.1	10.1	95.3	96.1	95.7	9.2	142.5	141.5	142.0
3	9.8	45.7	41.4	43.6	10.0	96.8	96.0	96.4	10.0	133.4	138.4	135.9
	minimum	9,8	maximum	12,8	minimum	10,0	maximum	10,5	minimum	9,2	maximum	10,2
	průměr	11,4	median	11,5	průměr	10,2	median	10,1	průměr	9,8	median	10,0

Tab.11: VZOREK teplota_14.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	9.8	41.8	45.4	43.6	10.5	94.5	93.7	94.1	12.1	115.5	132.1	123.8
2	8.2	47.1	48.1	47.6	10.2	95.3	95.3	95.3	10.1	126.3	144.5	135.4
3	9.1	47.1	43.3	45.2	9.0	95.5	106.9	101.2	11.3	140.6	115.3	128.0
	minimum	8,2	maximum	9,8	minimum	9,0	maximum	10,5	minimum	10,1	maximum	12,1
	průměr	9,0	median	9,1	průměr	9,9	median	10,2	průměr	11,2	median	11,3

Tab.12: VZOREK teplota_13.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	9.7	42.0	45.3	43.7	9.1	99.6	102.2	100.9	9.5	138.3	141.5	139.9
2	11.7	37.6	42.1	39.8	9.1	101.0	101.2	101.1	9.3	149.8	132.1	141.0
3	10.8	41.5	41.2	41.4	9.2	97.8	102.8	100.3	9.5	134.4	145.6	140.0
	minimum	9,7	maximum	11,7	minimum	9,1	maximum	9,2	minimum	9,3	maximum	9,5
	průměr	10,8	median	10,8	průměr	9,1	median	9,1	průměr	9,4	median	9,5

Tab.13: VZOREK teplota_11.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	11.3	37.2	43.7	40.5	10.9	88.3	96.5	92.4	11.7	118.6	133.5	126.1
2	11.6	39.8	40.0	39.9	9.5	99.9	98.0	98.9	10.3	142.3	126.4	134.3
3	11.4	40.8	40.0	40.4	9.6	97.4	99.5	98.4	9.8	136.7	137.7	137.2
	minimum	11,3	maximum	11,6	minimum	9,5	maximum	10,9	minimum	9,8	maximum	11,7
	průměr	11,4	median	11,4	průměr	10,0	median	9,6	průměr	10,6	median	10,3

Tab.14: VZOREK teplota_10.3.

	10g				50g				100g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	14.7	33.1	37.8	35.5	9.0	98.3	104.3	101.3	9.5	132.1	147.1	139.6
2	14.5	34.0	37.4	35.7	10.0	101.5	91.5	96.5	10.9	126.4	134.3	130.4
3	12.2	38.4	39.5	38.9	10.8	96.2	89.4	92.8	13.4	109.0	125.9	117.4
	minimum	12,2	maximum	14,7	minimum	9,0	maximum	10,8	minimum	9,5	maximum	13,4
	průměr	13,8	median	14,5	průměr	9,9	median	10,0	průměr	11,3	median	10,9

Tab.15: VZOREK teplota_9.3.

	10g				50g				300g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,3	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	13.6	38.0	36.0	37.0	11.8	87.0	90.0	88.5	13.2	199.4	211.2	205.3
2	12.8	37.1	39.0	38.1	12.4	90.3	82.9	86.6	13.7	197.4	205.9	201.7
3	13.4	34.7	39.6	37.2	11.9	92.1	84.5	88.3	10.6	221.9	236.1	229.0
	minimum	12,8	maximum	13,6	minimum	11,8	maximum	12,4	minimum	10,6	maximum	13,7
	průměr	13,3	median	13,4	průměr	12,0	median	11,9	průměr	12,5	median	13,2

Tab.16: VZOREK teplota_8.3.

	10g				50g				300g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,3	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	13.9	33.8	39.3	36.5	11.5	87.6	91.9	89.8	11.4	230.5	210.9	220.7
2	12.1	37.5	40.8	39.2	11.7	94.5	83.5	89.0	11.9	225.9	205.9	215.9
3	13.4	34.2	40.2	37.2	11.4	97.1	82.9	90.0	11.2	227.3	218.7	223.0
	minimum	12,1	maximum	13,9	minimum	11,4	maximum	11,7	minimum	11,2	maximum	11,9
	průměr	13,1	median	13,4	průměr	11,6	median	11,5	průměr	11,5	median	11,4

Tab.17: VZOREK chlad_16.3.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	1.5	109.6	110.7	110.2	1.7	243.4	230.6	237.0	1.6	344.2	335.7	339.9
2	1.5	110.6	114.6	112.6	1.5	247.5	242.6	245.1	1.5	358.8	344.9	351.9
3	1.5	105.5	116.9	111.2	1.5	248.1	241.8	245.0	1.7	339.0	318.1	328.6
	minimum	1,5	maximum	1,5	minimum	1,5	maximum	1,7	minimum	1,5	maximum	1,7
	průměr	1,5	median	1,5	průměr	1,6	median	1,5	průměr	1,6	median	1,6

Tab.18: VZOREK chlad_15.3.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	5.1	59.3	60.9	60.1	5.2	133.4	133.6	133.5	5.1	188.4	194.8	191.6
2	5.3	57.7	60.4	59.0	5.3	133.1	131.2	132.1	5.1	184.3	197.9	191.1
3	5.2	61.0	58.4	59.7	5.0	131.9	139.8	135.8	5.3	184.4	189.1	186.8
	minimum	5,1	maximum	5,3	minimum	5,0	maximum	5,3	minimum	5,1	maximum	5,3
	průměr	5,2	median	5,2	průměr	5,2	median	5,2	průměr	5,1	median	5,1

Tab.19: VZOREK chlad_14.3.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	4.2	68.0	65.4	66.7	4.7	141.4	140.0	140.7	4.5	198.1	209.0	203.6
2	4.5	64.2	64.4	64.3	4.7	135.2	147.0	141.1	4.6	204.4	197.2	200.8
3	4.2	65.9	66.8	66.3	4.8	134.3	144.8	139.5	4.7	203.6	192.5	198.1
	minimum	4,2	maximum	4,5	minimum	4,7	maximum	4,8	minimum	4,5	maximum	4,7
	průměr	4,3	median	4,2	průměr	4,7	median	4,7	průměr	4,6	median	4,6

Tab.20: VZOREK chlad_13.3.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	4.7	62.8	62.8	62.8	4.3	140.1	153.4	146.7	4.4	205.9	204.4	205.1
2	4.6	63.4	63.4	63.4	4.1	155.0	145.6	150.3	4.4	206.0	206.6	206.3
3	4.2	66.1	66.5	66.3	4.5	141.4	146.4	143.9	4.6	195.7	207.5	201.6
	minimum	4,2	maximum	4,7	minimum	4,1	maximum	4,5	minimum	4,4	maximum	4,6
	průměr	4,5	median	4,6	průměr	4,3	median	4,3	průměr	4,4	median	4,4

Tab.21: VZOREK chlad_11.3.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	5.0	67.5	53.8	60.7	4.9	139.0	135.9	137.5	4.3	202.0	211.4	206.7
2	4.4	72.1	57.6	64.8	5.2	135.9	132.0	133.9	4.2	215.3	205.1	210.2
3	4.8	59.9	64.4	62.2	5.3	135.0	128.7	131.8	4.7	196.1	200.9	198.5
	minimum	4,4	maximum	5,0	minimum	4,9	maximum	5,3	minimum	4,2	maximum	4,7
	průměr	4,7	median	4,8	průměr	5,1	median	5,2	průměr	4,4	median	4,3

Tab.22: VZOREK chlad_10.3.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	5.0	59.0	62.8	60.9	4.8	140.7	137.5	139.1	4.0	205.1	223.2	214.1
2	4.8	62.2	62.0	62.1	5.0	146.4	127.0	136.7	4.3	213.3	200.9	207.1
3	4.8	59.3	64.6	62.0	4.5	147.9	140.6	144.2	4.8	201.4	192.2	196.8
	minimum	4,8	maximum	5,0	minimum	4,5	maximum	5,0	minimum	4,0	maximum	4,8
	průměr	4,9	median	4,8	průměr	4,7	median	4,8	průměr	4,4	median	4,3

Tab.23: VZOREK chlad_9.3.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	6.1	54.6	55.6	55.1	5.5	132.7	128.1	130.4	5.0	187.7	197.2	192.4
2	5.8	65.3	47.8	56.5	6.6	114.4	122.3	118.4	6.4	177.9	162.8	170.4
3	5.8	53.3	59.6	56.4	6.0	118.3	129.8	124.1	6.5	166.4	170.9	168.6
	minimum	5,8	maximum	6,1	minimum	5,5	maximum	6,6	minimum	5,0	maximum	6,5
	průměr	5,9	median	5,8	průměr	6,0	median	6,0	průměr	6,0	median	6,4

Tab.24: VZOREK chlad_8.3.

	10g				50g				300g			
	40x				40x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,3	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	5.3	47.2	71.6	59.4	6.6	127.7	110.2	118.9	5.4	305.7	338.2	322.0
2	5.7	59.1	55.1	57.1	6.7	110.5	124.9	117.7	6.1	316.4	285.2	300.8
3	6.1	56.7	53.6	55.1	6.7	110.3	124.8	117.5	5.9	332.6	282.7	307.7
	minimum	5,3	maximum	6,1	minimum	6,6	maximum	6,7	minimum	5,4	maximum	6,1
	průměr	5,7	median	5,7	průměr	6,7	median	6,7	průměr	5,8	median	5,9

Tabulky průměrných hodnot úhlopříček a ploch získaných při různém zatížení, materiál – polyetylen.

Tab.25: VZOREK PE_teplota_20.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	3.7	71.6	69.5	70.6	3.2	172.2	167.9	170.1	3.0	233.5	260.8	247.1
2	3.5	70.6	75.2	72.9	3.1	174.1	174.6	174.4	3.2	231.3	249.0	240.1
3	3.1	76.0	78.1	77.0	3.0	167.6	186.5	177.1	3.1	244.1	247.6	245.9
	minimum	3,1	maximum	3,7	minimum	3,0	maximum	3,2	minimum	3,0	maximum	3,2
	průměr	3,4	median	3,5	průměr	3,1	median	3,1	průměr	3,1	median	3,1

Tab.26: VZOREK PE_teplota_21.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.9	78.1	81.0	79.6	3.2	175.9	164.0	169.9	3.2	240.3	238.7	239.5
2	2.9	77.7	81.4	79.5	3.3	168.7	168.0	168.4	3.1	239.6	245.9	242.8
3	2.9	78.2	82.9	80.5	3.3	171.1	166.3	168.7	3.3	238.6	237.0	237.8
	minimum	2,9	maximum	2,9	minimum	3,2	maximum	3,3	minimum	3,1	maximum	3,3
	průměr	2,9	median	2,9	průměr	3,2	median	3,3	průměr	3,2	median	3,2

Tab.27: VZOREK PE_teplota_22.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	3.3	76.4	74.4	75.4	3.0	171.7	182.2	176.9	3.0	258.8	237.9	248.4
2	3.2	77.3	76.0	76.6	3.0	166.2	186.5	176.4	3.0	257.1	240.2	248.6
3	2.9	85.0	76.2	80.6	2.9	191.3	169.3	180.3	3.1	252.7	233.5	243.1
	minimum	2,9	maximum	3,3	minimum	2,9	maximum	3,0	minimum	3,0	maximum	3,1
	průměr	3,1	median	3,2	průměr	2,9	median	3,0	průměr	3,0	median	3,0

Tab.28: VZOREK PE_teplota_23.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.8	77.2	84.8	81.0	3.1	171.9	173.3	172.6	3.4	236.4	234.2	235.3
2	2.8	79.9	82.0	80.9	3.1	172.5	176.0	174.3	3.1	245.0	243.0	244.0
3	2.9	79.1	82.0	80.6	3.1	172.8	171.1	172.0	3.4	236.2	233.3	234.8
	minimum	2,8	maximum	2,9	minimum	3,1	maximum	3,1	minimum	3,1	maximum	3,4
	průměr	2,8	median	2,8	průměr	3,1	median	3,1	průměr	3,3	median	3,4

Tab.29: VZOREK PE_teplota_25.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	3.0	74.5	81.7	78.1	3.3	164.8	170.5	167.6	3.3	233.3	242.6	238.0
2	3.0	73.9	84.4	79.1	3.1	168.4	177.8	173.1	3.4	237.6	232.9	235.2
3	3.0	80.3	76.2	78.3	3.0	171.6	178.4	175.0	3.3	230.9	246.8	238.9
	minimum	3,0	maximum	3,0	minimum	3,0	maximum	3,3	minimum	3,3	maximum	3,4
	průměr	3,0	median	3,0	průměr	3,1	median	3,1	průměr	3,3	median	3,3

Tab.30: VZOREK PE_20.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.6	84.2	85.1	84.7	3.1	171.7	174.7	173.2	2.8	250.8	260.8	255.8
2	2.7	78.7	86.4	82.6	3.3	163.5	170.0	166.7	2.8	269.4	242.1	255.8
3	3.1	73.8	81.7	77.8	2.9	179.5	176.3	177.9	2.7	262.1	259.3	260.7
	minimum	2,6	maximum	3,1	minimum	2,9	maximum	3,3	minimum	2,7	maximum	2,8
	průměr	2,8	median	2,7	průměr	3,1	median	3,1	průměr	2,8	median	2,8

Tab.31: VZOREK PE_22.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.7	80.3	84.2	82.2	2.8	178.0	183.4	180.7	2.8	263.0	252.8	257.9
2	2.7	79.8	84.8	82.3	2.8	174.1	187.5	180.8	3.0	261.9	238.5	250.2
3	2.7	82.1	83.6	82.9	2.8	174.3	188.5	181.4	3.0	258.6	242.6	250.6
	minimum	2,7	maximum	2,7	minimum	2,8	maximum	2,8	minimum	2,8	maximum	3,0
	průměr	2,7	median	2,7	průměr	2,8	median	2,8	průměr	2,9	median	3,0

Tab.32: VZOREK PE_23.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.6	85.4	84.2	84.8	2.7	189.4	184.6	187.0	2.8	259.1	254.5	256.8
2	2.6	84.8	85.6	85.2	2.6	188.2	187.3	187.7	2.7	258.5	263.8	261.1
3	2.5	86.0	85.3	85.7	2.7	189.3	180.0	184.6	2.7	261.9	261.6	261.8
	minimum	2,5	maximum	2,6	minimum	2,6	maximum	2,7	minimum	2,7	maximum	2,8
	průměr	2,6	median	2,6	průměr	2,7	median	2,7	průměr	2,7	median	2,7

Tab.33: VZOREK PE_24.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.5	2.6	88.3	81.7	2.8	178.4	186.4	182.4	2.8	249.9	268.3	259.1
2	2.5	2.5	84.5	88.7	2.6	194.2	184.6	189.4	2.7	250.8	272.9	261.8
3	2.6	2.5	84.4	87.8	2.7	186.8	182.2	184.5	2.7	272.0	253.8	262.9
	minimum	2,5	maximum	2,6	minimum	2,6	maximum	2,8	minimum	2,7	maximum	2,8
	průměr	2,5	median	2,5	průměr	2,7	median	2,7	průměr	2,7	median	2,7

Tab.34: VZOREK PE_25.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.5	86.0	86.0	86.0	2.6	189.4	189.4	189.4	2.6	265.7	269.0	267.3
2	2.5	85.1	87.3	86.2	2.5	191.2	190.8	191.0	2.7	263.7	262.9	263.3
3	2.3	88.5	89.3	88.9	2.5	193.8	188.6	191.2	2.6	266.6	264.0	265.3
	minimum	2,3	maximum	2,5	minimum	2,5	maximum	2,6	minimum	2,6	maximum	2,7
	průměr	2,4	median	2,5	průměr	2,6	median	2,5	průměr	2,6	median	2,6

Tab.35: VZOREK PE_chlad_20.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	3.1	76.4	79.1	77.7	3.2	178.2	159.6	168.9	3,2	246.1	232.3	239.2
2	3.0	80.9	75.4	78.2	2.9	185.4	173.1	179.3	3.4	234.5	233.2	233.8
3	2.8	87.8	74.8	81.3	3.2	163.9	176.7	170.3	2.9	64.3	443.0	253.6
	minimum	2,8	maximum	3,1	minimum	2,9	maximum	3,2	minimum	2,9	maximum	3,4
	průměr	3,0	median	3,0	průměr	3,1	median	3,2	průměr	3,2	median	3,2

Tab.36: VZOREK PE_chlad_21.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.9	77.4	81.7	79.5	3.1	174.2	171.7	173.0	3.4	220.2	244.5	232.3
2	2.9	82.1	76.5	79.3	3.3	170.3	166.3	168.3	3.3	223.3	247.7	235.5
3	3.1	76.6	79.3	78.0	3.4	171.8	160.2	166.0	3.5	219.2	243.8	231.5
	minimum	2,9	maximum	3,1	minimum	3,1	maximum	3,4	minimum	3,3	maximum	3,5
	průměr	3,0	median	2,9	průměr	3,2	median	3,3	průměr	3,4	median	3,4

Tab.37: VZOREK PE_chlad_22.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	3.0	76.5	81.1	78.8	3.4	167.1	164.7	165.9	3.4	219.6	248.4	234.0
2	3.1	80.4	74.5	77.4	3.5	162.2	164.7	163.5	3.3	231.2	241.1	236.2
3	3.2	72.8	80.2	76.5	3.4	170.4	161.7	166.1	3.2	242.6	241.2	241.9
	minimum	3,0	maximum	3,2	minimum	3,4	maximum	3,5	minimum	3,2	maximum	3,4
	průměr	3,1	median	3,1	průměr	3,4	median	3,4	průměr	3,3	median	3,3

Tab.38: VZOREK PE_chlad_23.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.7	82.9	83.4	83.1	2.6	191.7	187.1	189.4	2.8	270.8	248.1	259.4
2	2.6	84.2	83.4	83.8	2.7	184.6	188.6	189.6	3.0	255.5	241.6	248.6
3	2.6	86.8	82.3	84.6	2.9	179.9	179.8	179.9	2.9	247.6	254.9	251.3
	minimum	2,6	maximum	2,7	minimum	2,6	maximum	2,9	minimum	2,8	maximum	3,0
	průměr	2,6	median	2,6	průměr	2,7	median	2,7	průměr	2,9	median	2,9

Tab.39: VZOREK PE_chlad_24.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.9	87.6	72.4	80.0	3.3	173.8	162.1	168.0	3.0	240.2	259.8	250.0
2	2.7	79.7	86.4	83.1	2.7	188.2	180.3	184.2	2.9	269.2	239.5	254.4
3	3.3	75.4	74.4	74.9	3.1	177.0	171.4	174.2	3.0	267.0	227.9	247.4
	minimum	2,7	maximum	3,3	minimum	2,7	maximum	3,3	minimum	2,9	maximum	3,0
	průměr	3,0	median	2,9	průměr	3,0	median	3,1	průměr	3,0	median	3,0

Tab.40: VZOREK PE_chlad_25.4.

	10g				50g				100g			
	40x				10x				10x			
č.	HV 0,01	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,05	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]	HV 0,1	d ₁ [μm]	d ₂ [μm]	d[μm]
1	2.9	86.1	73.4	79.7	2.9	178.3	176.5	177.4	2.9	252.0	254.5	253.3
2	2.9	81.4	77.8	79.6	2.7	183.8	190.1	187.0	2.8	255.2	263.1	259.1
3	2.9	78.2	81.5	79.8	2.9	175.3	183.8	179.5	3.0	252.6	248.5	250.6
	minimum	2,9	maximum	2,9	minimum	2,7	maximum	2,9	minimum	2,8	maximum	3,0
	průměr	2,9	median	2,9	průměr	2,8	median	2,9	průměr	2,9	median	2,9

4.2 Vzorec pro měření tvrdosti podle Vickerse

$$HV = 1,854 \cdot \frac{F}{d^2} \dots \dots \dots \text{kde } F \text{ je zátěžná síla [N]} \quad (1)$$

$$\frac{1,854}{d^2} \dots \dots \dots \text{je plocha povrchu vtisku [mm}^2\text{]}$$

Síla F, je síla, která v materiálu vytvoří otisk pyramidy, jejíž základna má úhlopříčku d.

Postup výpočtu mikrotvrdosti vzorku 22_16.3.:

Průměrné plochy vtisku (d_{10}^2 , d_{50}^2 , d_{100}^2) vypočteme jako:

$$d_{10}^2 = d_{10} \cdot d_{10} \quad (2)$$

kde d_{10}^2 je průměrná plocha vtisku při zatížení 10g [mm²]
 d_{10} je průměrná hodnota úhlopříček [mm]

získáme ji ze vztahu
$$d_{10} = \frac{\sum_{n=1}^3 d_n}{n} \quad (3)$$

kde d je průměrná hodnota z dvou naměřených úhlopříček [mm]
 n je počet měření při jednom zatížení, v našem případě $n = 3$

Obdobně spočítáme plochy d_{50}^2 , d_{100}^2 pro zatížení 50g a 100g. (tab.41)

Při výpočtu je nutný převod jednotek z [μm] na [mm]. Velikost ploch vtisků byly vyneseny do grafů. Vynášená zatěžující síla byla získána přepočtem:

$$F = m \cdot g \quad (4)$$

kde F je zatěžující síla [N]
 m je hmotnost zvoleného závaží (0,01; 0,05; 0,1 a 0,3) [kg]
 g je gravitační zrychlení $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

Tab.41: Hodnoty zatěžujících sil.

Zatížení [g]	10	50	100	300
Zatěžující síla F [N]	0,0981	0,4905	0,9810	2,9430

Získané 3 body v grafu proložíme lineární regresí a získáme tak příslušnou rovnici přímky ve tvaru:

$$y = k \cdot x + q \quad (5)$$

kde k je směrnice přímky
 q je úsek vyřatý přímkou na ose y

Hodnota směrnice přímky k vyjadřuje poměr $\frac{F}{d^2}$ z rovnice (1) [4].

Pro vzorek 22_16.3. má rovnice přímky tvar: $Y = 7,77x - 0,0314$ (6)

z toho vyplývá $\frac{F}{d^2} = 7,77$ (7)

Po dosazení do vzorce (1) dostaneme:

$$HV = 1,854 \cdot \frac{F}{d^2} = 1,854 \cdot 7,77 = 14,4 \text{ MPa} \quad (8)$$

Výsledná mikrotvrdost vzorku 22_16.3. je tedy **14,4 Mpa** [4].

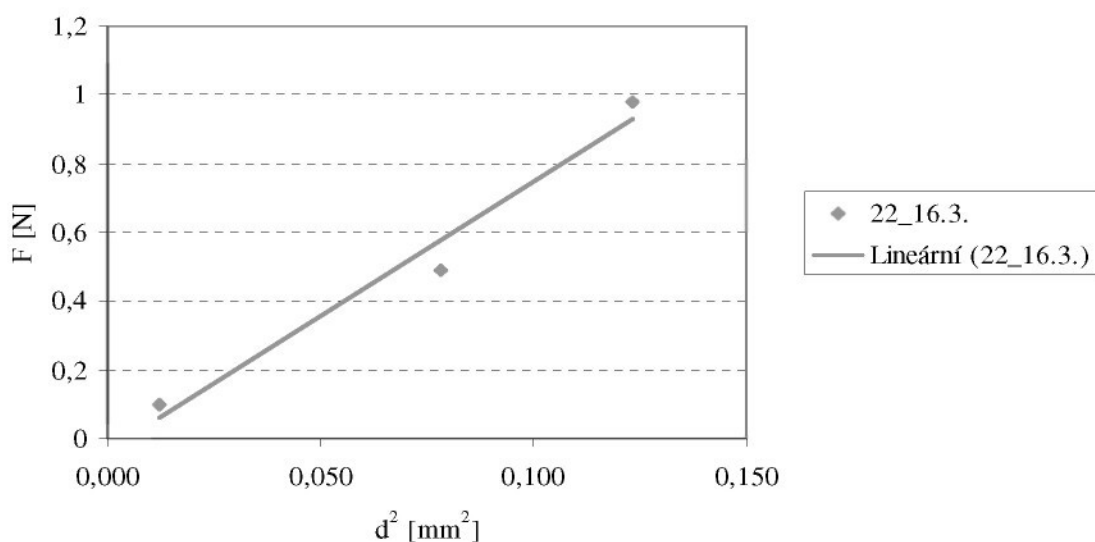
Tab.42: Průměrné hodnoty úhlopříček a ploch získaných při různém zatížení, materiál: epoxid

vzorek	d ₁₀ [μm]	d ₅₀ [μm]	d ₁₀₀ [μm]	d ₃₀₀ [μm]	d ₁₀ ² [mm ²]	d ₅₀ ² [mm ²]	d ₁₀₀ ² [mm ²]	d ₃₀₀ ² [mm ²]
22_16.3.	109,8	280,2	351,3		12,06x10 ⁻³	78,51x10 ⁻³	123,41x10 ⁻³	
22_15.3.	52,3	117,8	169,2		2,74x10 ⁻³	13,88x10 ⁻³	28,63x10 ⁻³	
22_14.3.	50,0	107,3	150,8		2,50x10 ⁻³	11,51x10 ⁻³	22,74x10 ⁻³	
22_13.3.	49,1	103,7	157,6		2,41x10 ⁻³	10,75x10 ⁻³	24,84x10 ⁻³	
22_11.3.	48,4	102,7	144,8		2,34x10 ⁻³	10,55x10 ⁻³	20,97x10 ⁻³	
22_10.3.	41,3	92,6		227,6	1,71x10 ⁻³	8,57x10 ⁻³		51,80x10 ⁻³
22_9.3.	37,9	91,8		230,9	1,44x10 ⁻³	8,43x10 ⁻³		53,31x10 ⁻³
22_8.3.	42,8	93,9		226,9	1,83x10 ⁻³	8,82x10 ⁻³		51,48x10 ⁻³
teplota_16.3.	43,0	101,2	131,9		1,85x10 ⁻³	10,24x10 ⁻³	17,40x10 ⁻³	
teplota_15.3.	40,6	95,3	137,6		1,65x10 ⁻³	9,08x10 ⁻³	18,93x10 ⁻³	
teplota_14.3.	45,5	96,9	129,1		2,07x10 ⁻³	9,39x10 ⁻³	16,67x10 ⁻³	
teplota_13.3.	41,6	100,8	140,3		1,73x10 ⁻³	10,16x10 ⁻³	19,68x10 ⁻³	
teplota_11.3.	40,3	96,6	132,6		1,62x10 ⁻³	9,33x10 ⁻³	17,6 x10 ⁻³	
teplota_10.3.	36,7	96,9	129,1		1,35x10 ⁻³	9,39x10 ⁻³	16,67x10 ⁻³	
teplota_9.3.	37,4	87,8		212,0	1,40x10 ⁻³	7,71x10 ⁻³		44,94x10 ⁻³
teplota_8.3.	37,6	89,6		219,9	1,41x10 ⁻³	8,01x10 ⁻³		48,36x10 ⁻³
chlad_16.3.	111,3	242,4	340,1		12,39x10 ⁻³	58,76x10 ⁻³	115,67x10 ⁻³	
chlad_15.3.	59,6	133,8	189,8		3,55x10 ⁻³	17,90x10 ⁻³	36,02x10 ⁻³	
chlad_14.3.	65,8	140,4	200,8		4,33x10 ⁻³	19,71x10 ⁻³	40,32x10 ⁻³	
chlad_13.3.	64,2	147,0	204,3		4,12x10 ⁻³	21,61x10 ⁻³	41,74x10 ⁻³	
chlad_11.3.	62,7	134,4	205,1		3,93x10 ⁻³	18,06x10 ⁻³	42,07x10 ⁻³	
chlad_10.3.	61,7	140,0	206,0		3,81x10 ⁻³	19,60x10 ⁻³	12,44x10 ⁻³	
chlad_9.3.	56,0	124,3	177,1		3,14x10 ⁻³	15,45x10 ⁻³	31,36x10 ⁻³	
chlad_8.3.	57,2	118,0		310,2	3,27x10 ⁻³	13,92x10 ⁻³		96,22x10 ⁻³

Tab.43: Průměrné hodnoty úhlopříček a ploch získaných při různém zatížení, materiál : PE

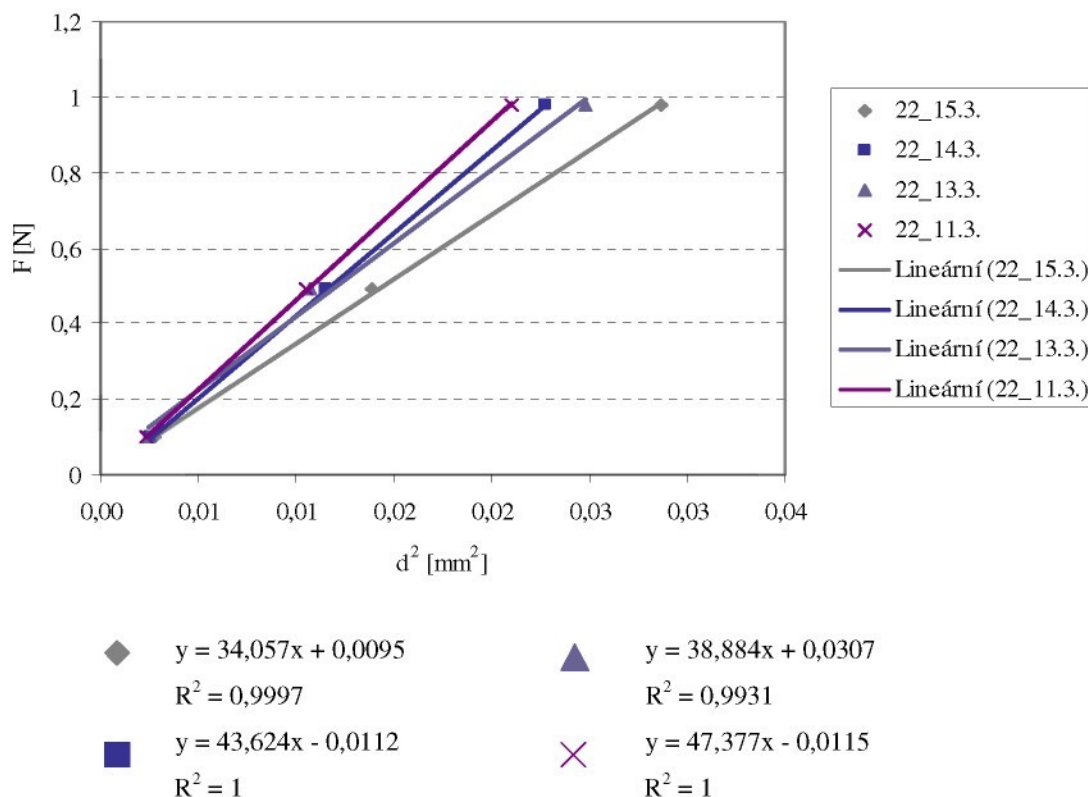
vzorek	$d_{10}[\mu\text{m}]$	$d_{50}[\mu\text{m}]$	$d_{100}[\mu\text{m}]$	$d_{10}^2 [\text{mm}^2]$	$d_{50}^2 [\text{mm}^2]$	$d_{100}^2 [\text{mm}^2]$
PE_chlad_20.4.	79,1	172,8	242,2	$6,26 \times 10^{-3}$	$29,86 \times 10^{-3}$	$58,66 \times 10^{-3}$
PE_chlad_21.4.	78,9	169,1	233,1	$6,23 \times 10^{-3}$	$28,59 \times 10^{-3}$	$54,34 \times 10^{-3}$
PE_chlad_22.4.	77,6	165,2	237,4	$6,02 \times 10^{-3}$	$27,29 \times 10^{-3}$	$56,36 \times 10^{-3}$
PE_chlad_23.4.	83,8	186,3	253,1	$7,02 \times 10^{-3}$	$34,71 \times 10^{-3}$	$64,06 \times 10^{-3}$
PE_chlad_24.4.	79,3	175,5	250,6	$6,29 \times 10^{-3}$	$30,80 \times 10^{-3}$	$62,80 \times 10^{-3}$
PE_chlad_25.4.	79,7	181,3	254,3	$6,35 \times 10^{-3}$	$32,87 \times 10^{-3}$	$64,67 \times 10^{-3}$
PE_teplota_20.4.	73,5	173,9	244,4	$5,40 \times 10^{-3}$	$30,24 \times 10^{-3}$	$59,73 \times 10^{-3}$
PE_teplota_21.4.	79,9	169	240,0	$6,38 \times 10^{-3}$	$28,56 \times 10^{-3}$	$57,60 \times 10^{-3}$
PE_teplota_22.4.	77,5	177,9	246,7	$6,00 \times 10^{-3}$	$31,65 \times 10^{-3}$	$60,86 \times 10^{-3}$
PE_teplota_23.4.	80,8	172,9	238,0	$6,53 \times 10^{-3}$	$29,89 \times 10^{-3}$	$56,64 \times 10^{-3}$
PE_teplota_25.4.	78,5	171,9	237,4	$6,16 \times 10^{-3}$	$29,55 \times 10^{-3}$	$56,36 \times 10^{-3}$
PE_20.4.	81,7	172,6	257,4	$6,67 \times 10^{-3}$	$29,79 \times 10^{-3}$	$66,25 \times 10^{-3}$
PE_22.4.	82,5	180,9	252,9	$6,81 \times 10^{-3}$	$32,72 \times 10^{-3}$	$63,96 \times 10^{-3}$
PE_23.4.	85,2	186,4	259,9	$7,26 \times 10^{-3}$	$34,74 \times 10^{-3}$	$67,55 \times 10^{-3}$
PE_24.4.	85,9	185,4	261,3	$7,38 \times 10^{-3}$	$34,37 \times 10^{-3}$	$68,28 \times 10^{-3}$
PE_25.4.	87,0	190,5	265,3	$7,57 \times 10^{-3}$	$36,29 \times 10^{-3}$	$70,38 \times 10^{-3}$

V grafech na obr.16, 17, 18 jsou vyneseny závislosti velikosti vtisků na zatěžující síle pro materiály 22_16.3. – 22_8.3.. Pod grafy jsou rovnice přímek a odpovídající hodnoty spolehlivosti R.

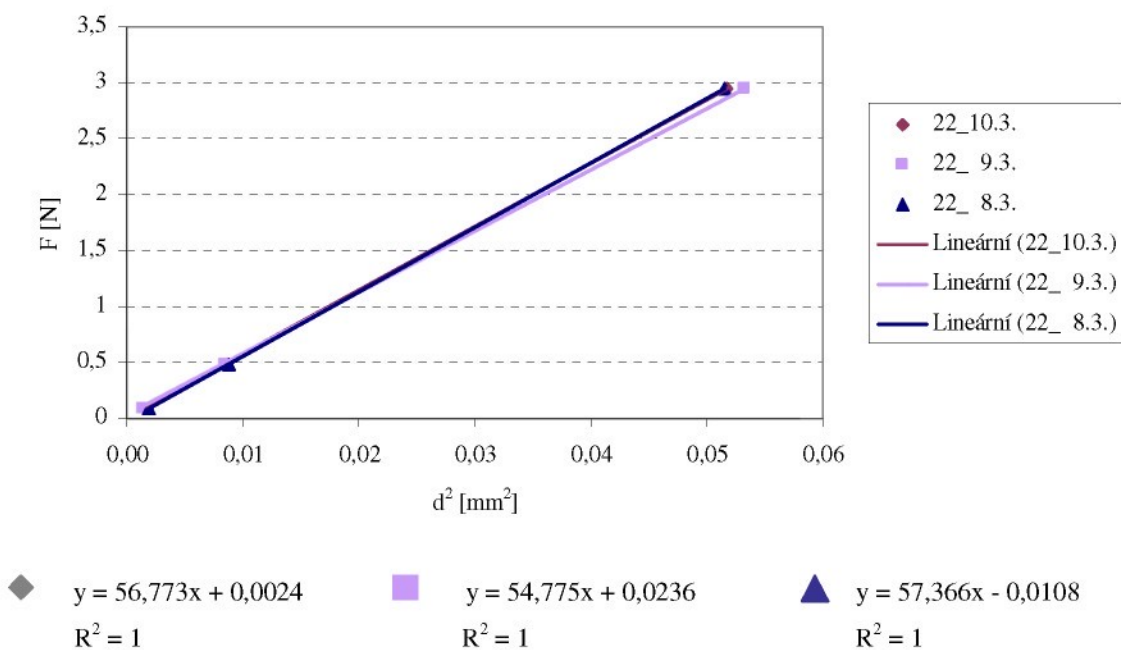


$y = 7,7751x - 0,0314$
 $R^2 = 0,9696$

Obr. 16: Graf závislosti velikostí vtisků na zatěžující síle pro vzorek 22_16.3.

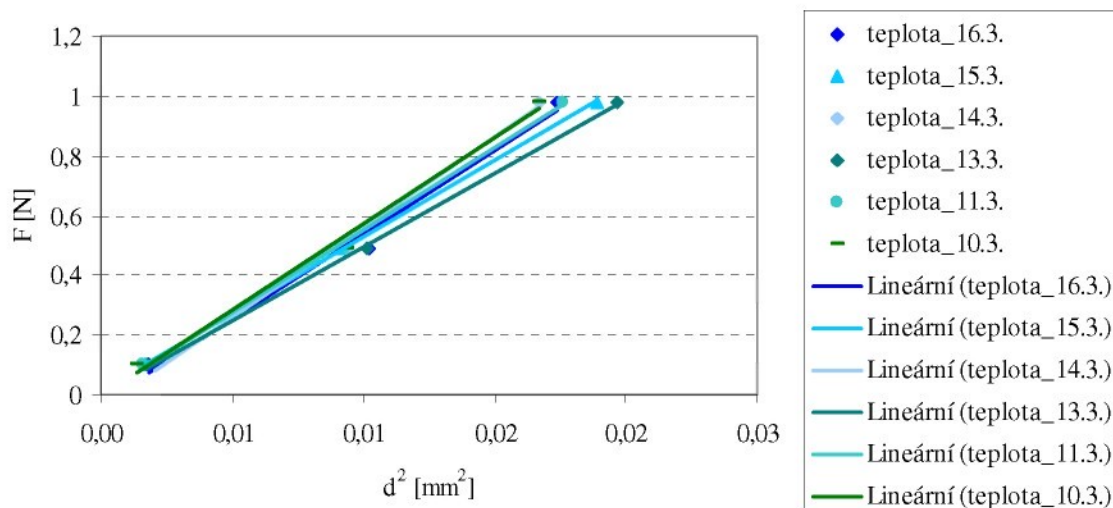


Obr. 17: Graf závislosti velikostí vtisků na zatěžující síle pro vzorky 22_16.3. – 22_11.3.



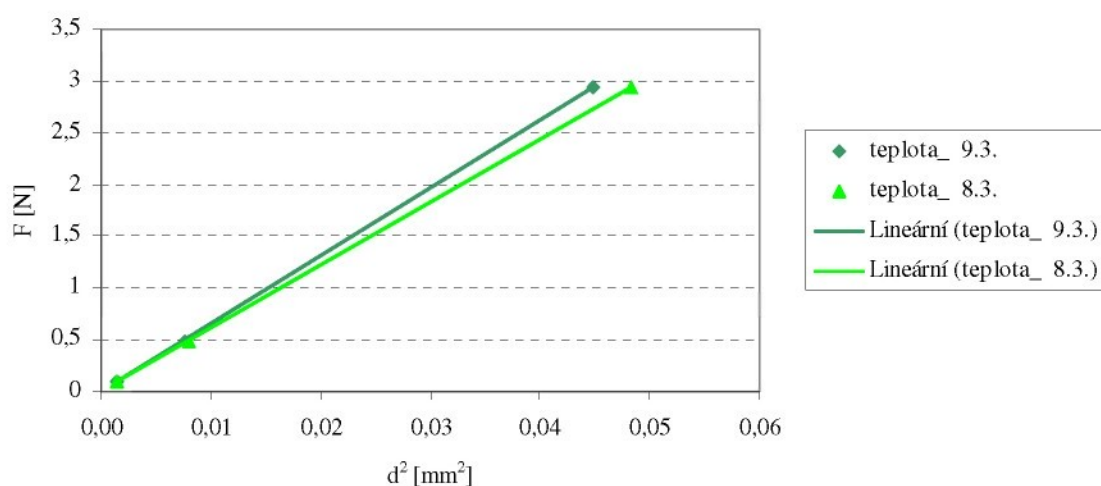
Obr. 18: Graf závislosti velikostí vtisků na zatěžující síle pro vzorky 22_10.3. – 22_8.3.

V grafech na obr.19, 20 jsou vyneseny závislosti velikosti vtisků na zatěžující síle pro **materiály teplota_16.3. – teplota_8.3.** Pod grafy jsou rovnice přímek a odpovídající hodnoty spolehlivosti R.



◆ $y = 56,494x - 0,0321$ $R^2 = 0,988$	▲ $y = 51,025x + 0,0187$ $R^2 = 0,9997$	◆ $y = 60,466x - 0,0438$ $R^2 = 0,9957$
◆ $y = 49,237x + 0,0051$ $R^2 = 0,9992$	● $y = 55,299x - 0,0031$ $R^2 = 0,9981$	— $y = 57,478x - 0,002$ $R^2 = 0,9981$

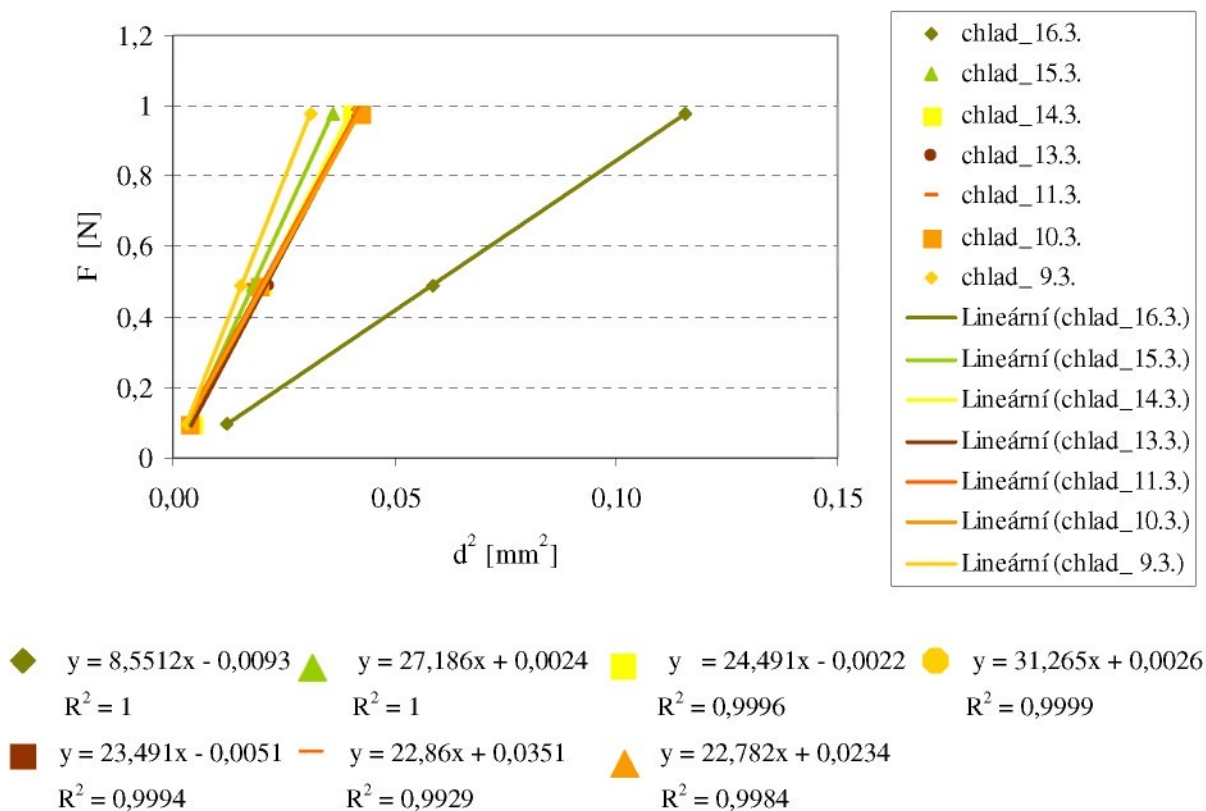
Obr. 19: Graf závislostí velikostí vtisků na zatěžující síle pro vzorky teplota_16.3. – teplota_10.3.



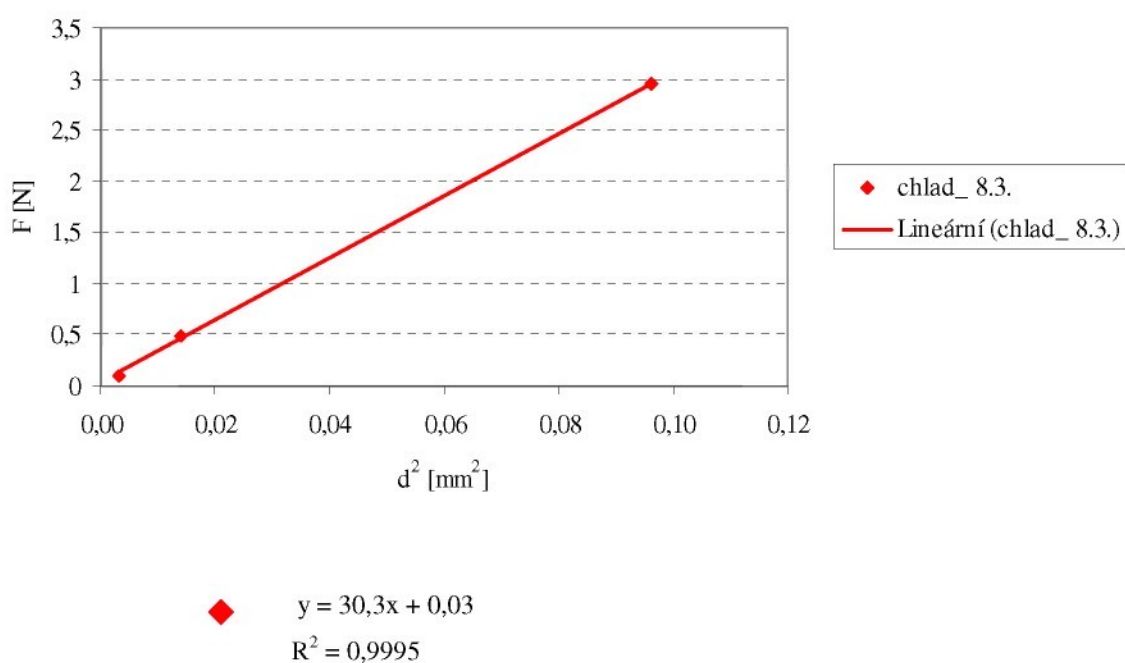
◆ $y = 65,525x - 0,0033$ $R^2 = 1$	▲ $y = 60,66x + 0,0089$ $R^2 = 1$
---------------------------------------	--------------------------------------

Obr. 20: Graf závislostí velikostí vtisků na zatěžující síle pro vzorky teplota_9.3., 8.3.

V grafech na obr.21, 22 jsou vyneseny závislosti velikosti vtisků na zatěžující síle pro **materiály chlad_16.3. – chlad_8.3.** Pod grafy jsou rovnice přímk a odpovídající hodnoty spolehlivosti R.

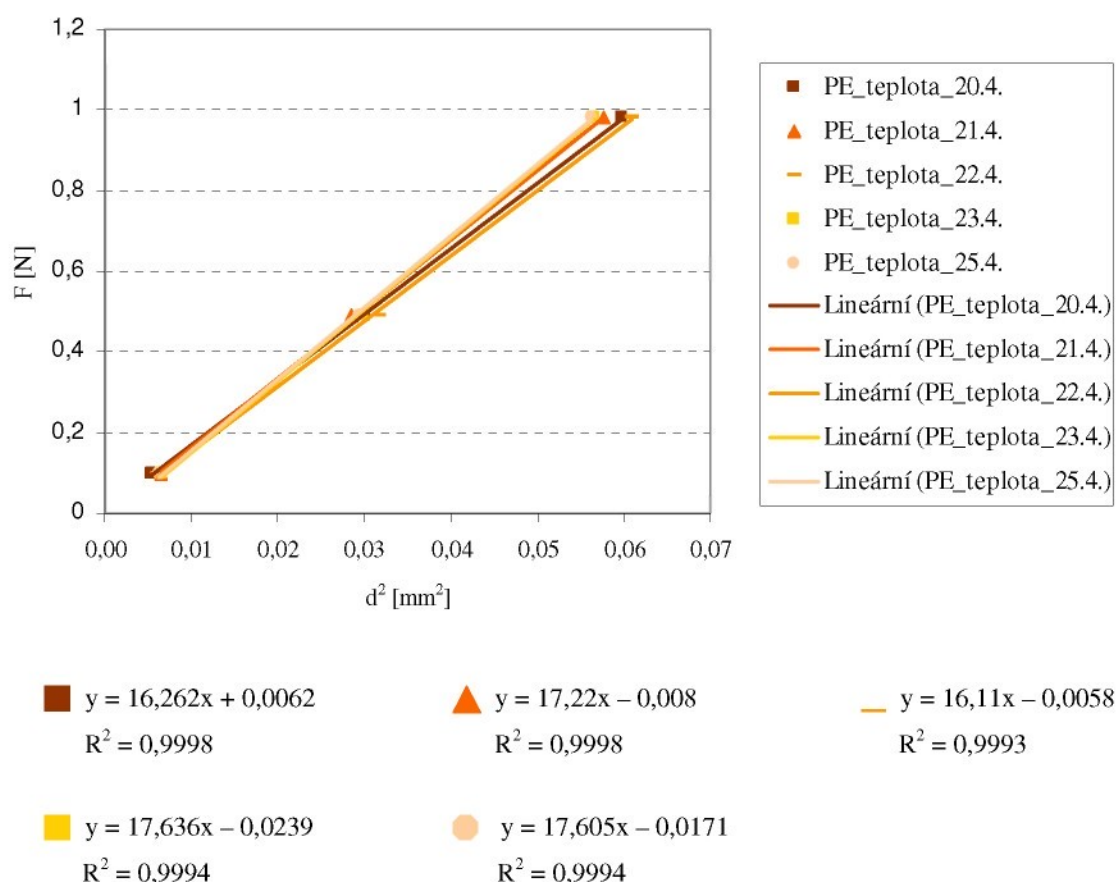


Obr. 21: Graf závislostí velikostí vtisků na zatěžující síle pro vzorky chlad_16.3.- chlad_9.3.



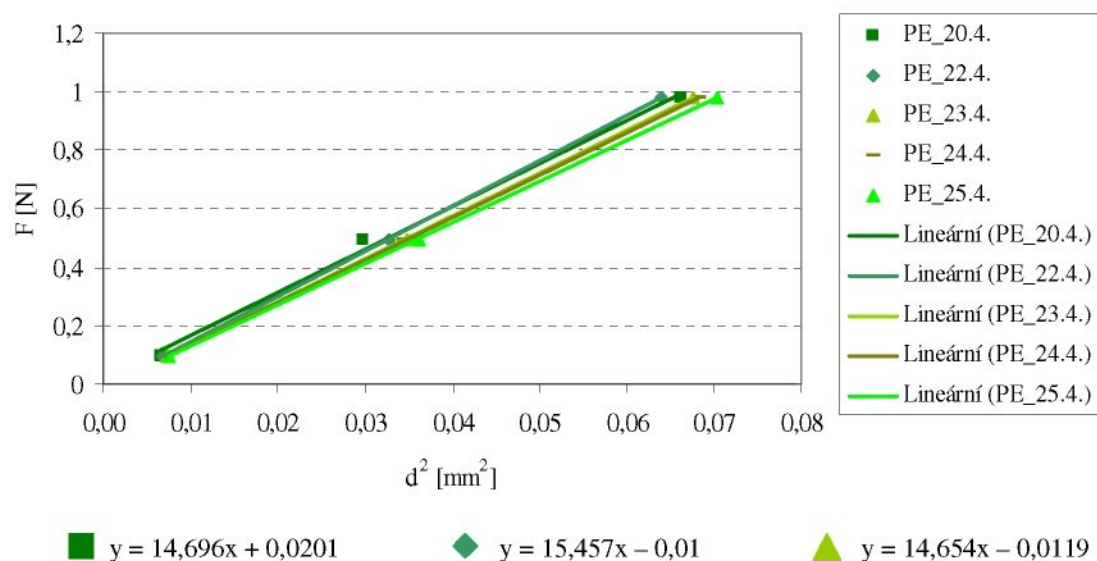
Obr. 22: Graf závislostí velikostí vtisků na zatěžující síle pro vzorek chlad_8.3.

V grafu na obr. 23 jsou vyneseny závislosti velikosti vtisků na zatěžující síle pro **materiály PE_teplota**. Pod grafy jsou rovnice přímek a odpovídající hodnoty spolehlivosti R.



Obr. 23: Graf závislostí velikostí vtisků na zatěžující síle pro vzorek PE_teplota.

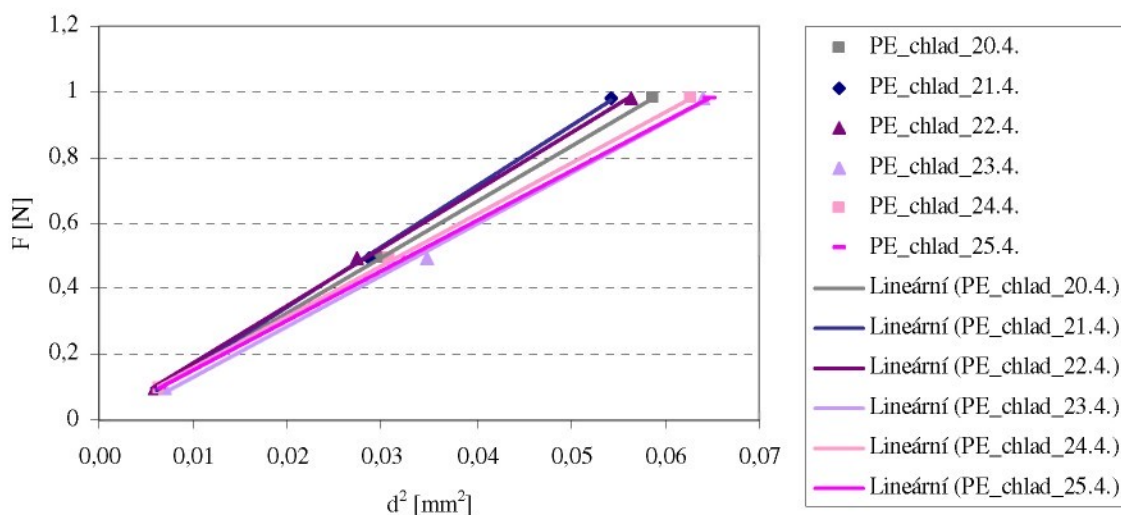
V grafech na obr.24, 25 jsou vyneseny závislosti velikosti vtisků na zatěžující síle pro **materiály PE_20.4.-PE_25.4., PE_chlad**. Pod grafy jsou rovnice přímek a odpovídající hodnoty spolehlivosti R.



$$R^2 = 0,9958 \quad y = 14,496x - 0,0085 \quad R^2 = 0,9958$$

$$R^2 = 0,9999 \quad y = 14,067x - 0,0125 \quad R^2 = 0,9998$$

Obr. 24: Graf závislostí velikostí vtisků na zatěžující síle pro vzorky PE_20.4.-PE_25.4..



$$y = 16,856x - 0,0093 \quad R^2 = 1$$

$$y = 18,369x - 0,0227 \quad R^2 = 0,9995$$

$$y = 17,499x + 0,0001 \quad R^2 = 0,9994$$

$$y = 15,491x - 0,0231 \quad R^2 = 0,9978$$

$$y = 15,609x + 0,0035 \quad R^2 = 0,9998$$

$$y = 15,148x - 0,0014 \quad R^2 = 0,9999$$

Obr. 25: Graf závislostí velikostí vtisků na zatěžující síle pro vzorky PE_chlad.

Z každé rovnice přímky získáme její směrnici, která je rovna poměru $\frac{F}{d^2}$ (tab.42,43)

Po vynásobení konstantou 1,854 (rovnice č.1) dostáváme výslednou mikrotvrdost v MPa.

Hodnoty mikrotvrdosti byly zaokrouhleny na celá čísla.

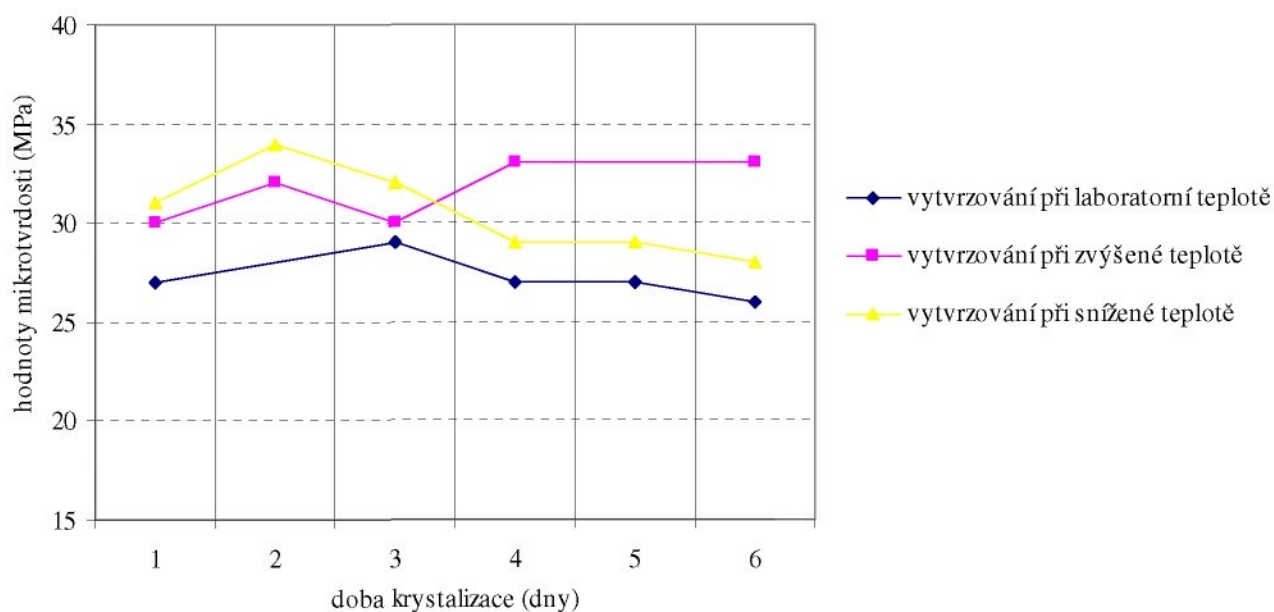
Tab.44: Hodnoty mikrotvrdosti jednotlivých vzorků: materiál epoxid

vzorek	$\frac{F}{d^2}$	Mikrotvrdost [MPa]	vzorek	$\frac{F}{d^2}$	Mikrotvrdost [MPa]	vzorek	$\frac{F}{d^2}$	Mikrotvrdost [MPa]
22_16.3.	7,77	14	teplota_16.3.	56,49	105	chlad_16.3.	8,55	16
22_15.3.	34,06	63	teplota_15.3.	51,03	95	chlad_15.3.	27,19	50
22_14.3.	43,62	81	teplota_14.3.	60,47	112	chlad_14.3.	24,49	45
22_13.3.	38,88	72	teplota_13.3.	49,24	91	chlad_13.3.	23,49	44
22_11.3.	47,38	88	teplota_11.3.	55,3	103	chlad_11.3.	22,86	42
22_10.3.	56,77	105	teplota_10.3.	57,48	107	chlad_10.3.	22,78	42
22_9.3.	54,78	102	teplota_9.3.	65,53	121	chlad_9.3.	31,27	58
22_8.3.	57,37	106	teplota_8.3.	60,66	112	chlad_8.3.	30,3	56

Tab.45: Hodnoty mikrotvrlosti jednotlivých vzorků: materiál PE

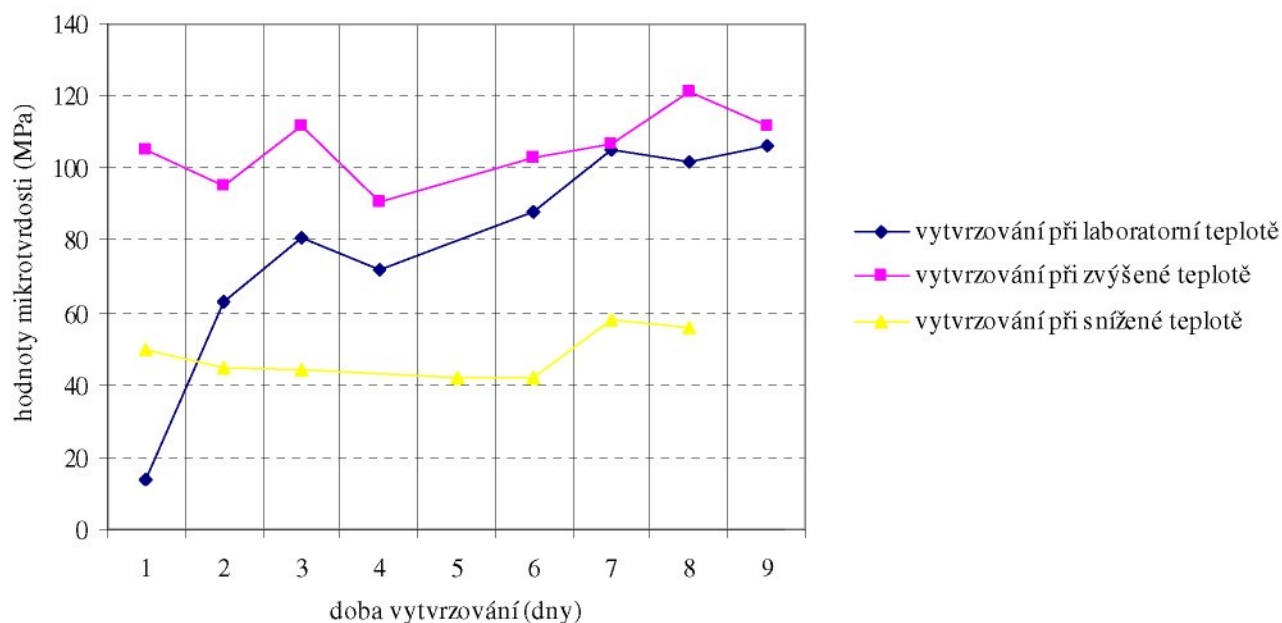
vzorek	$\frac{F}{d^2}$	Mikrotvrlost [MPa]	vzorek	$\frac{F}{d^2}$	Mikrotvrlost [MPa]	vzorek	$\frac{F}{d^2}$	Mikrotvrlost [MPa]
PE_20.4.	14,70	27	PE_teplota_20.4.	16,26	30	PE_chlad_20.4.	16,86	31
PE_22.4.	14,46	29	PE_teplota_21.4.	17,22	32	PE_chlad_21.4.	18,37	34
PE_23.4.	14,65	27	PE_teplota_22.4.	16,11	30	PE_chlad_22.4.	17,50	32
PE_24.4.	14,50	27	PE_teplota_23.4.	17,64	33	PE_chlad_23.4.	15,49	29
PE_25.4.	14,10	26	PE_teplota_25.4.	17,61	33	PE_chlad_24.4.	15,61	29
						PE_chlad_25.4.	15,15	28

V grafu na obr.26 je vynesena závislost mikrotvrlosti na čase u polyetylénu.



Obr. 26: Graf závislosti mikrotvrlosti na čase u polyetylénu.

V grafu na obr.27 je vynesena závislost mikrotvrlosti na čase u epoxidové pryskyřice.



Obr. 27: Graf závislosti mikrotvrlosti na čase u epoxidové pryskyřice.

Diskuze

Z obrázku č.26 a 27 je patrné odlišné chování rozdílných typů polymerů – polymeru amorfního – reaktoplastu, představovaného epoxidovou pryskyřicí a polymeru krystalického – termoplastu, představovaného polyetylénem.

Z průběhů křivek na obr.26 je zřejmé, že u krystalizujícího materiálu proběhl proces primární krystalizace okamžitě po přechodu z kapalně do pevné fáze a že další proces - sekundární krystalizace - zde nebyl pro danou dobu měření zaznamenán. Vliv rozdílných teplot na proces krystalizace nebyl zaznamenán.

Z průběhů křivek na obr.27 je patrné, že proces dotvrzování je časové i teplotně závislý. Nejnižších hodnot mikrotvrlosti je dosaženo při dotvrzování při snížené teplotě (5 ± 1) °C, kdy proces síťování nemůže probíhat dostatečnou rychlostí. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo při dotvrzování za zvýšené teploty (80 ± 5) °C, kdy je síťovací proces usnadněn právě zvýšenou teplotou. Hodnoty mikrotvrlosti se v tomto případě významně neliší od počátečních hodnot a časová závislost je zde tedy nevýznamná.

Zajímavým výsledkem je chování epoxidové pryskyřice dotvrzované při laboratorní teplotě (23 ± 2) °C, kdy dochází k dotváření polymerní sítě, což se projeví zvýšením tvrdosti v čase. Hodnoty mikrotvrlosti se zvyšují z cca 14 MPa (měření po jednom dni) na hodnoty cca 114 MPa (měření po sedmi dnech) což představuje cca osminásobné zvýšení.

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo posoudit vhodnost využití stanovení mikrotvrdoti polymerů jako metody k indikaci stavu vytvrzovacích a krystalizačních pochodů. Bakalářská práce, je rozdělena do dvou částí.

V teoretické části jsou popsány definice a vlastnosti plastů, obecné metody měření mikrotvrdoti a některé vlastnosti vybraných polymerů.

V experimentální části je popsána metoda měření, jsou zde zaznamenány naměřené hodnoty, postup jejich vyhodnocení a následné porovnání výsledků v grafech a tabulkách.

Měřené vzorky byly rozděleny do dvou skupin. První skupinu tvořily vzorky z epoxidové pryskyřice, druhou skupinu vzorky z polyetylenu. Cílem práce bylo zjistit, zda se naleznou významné rozdíly jak u odlišných materiálů, tak i u téhož polymeru.

U epoxidové pryskyřice byla naměřena největší mikrotvrdot u vzorku, který byl dotvrzován při zvýšené teplotě a nejmenší mikrotvrdot pak u vzorku dotvrzovaného za chladu. Z výsledků měření je zřejmé, že vlastnosti síťujícího polymeru – epoxidové pryskyřice se mění v závislosti na čase i teplotě vytvrzování, kdežto vlastnosti krystalizujícího polymeru – polyetylenu se nemění ani v čase (pro danou dobu měření) ani v závislosti na teplotě.

Z uvedených měření plyne, že stanovením mikrotvrdosti lze pro jmenované materiály popsat stav vytvrzovacích a krystalizačních pochodů.

6 Použitá literatura

- [1] LIDARŮ, M.: Epoxidové pryskyřice. III.vydání. Praha: SNRL, 1983.
- [2] MEISSNER, B., ZILVAR, V. : Fyzikální vlastnosti polymerů. I.vydání. Praha: SNTL, 1971.
- [3] KREBS, J.: Teorie zpracování nekovových materiálů, skripta VŠST, Liberec 1991.
- [4] LENFELD, P.: Technologie II.- 2. část (Zpracování plastů), Technická univerzita v Liberci 2006.
- [5] BALTÁ CELLEJA, F.J., FAKIROV, S.: Microhardness of Polymers, Cambridge University Press, Cambridge 2000.
- [6] Technické normy: ČSN EN ISO 4516; ČSN EN ISO 2039-1:4/1998; ČSN EN ISO 2039-2:6/1999.
- [7] NOVOTNÁ, D.: Diplomová práce – Hodnocení mikrotvrdosti polymerních materiálů. Technická univerzita v Liberci 2005.

7 Příloha

Epoxidová pryskyřice

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
[22_16.3.](#)

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	1.5	110.2	110.8	110.5
2	1.5	115.5	109.1	112.3
3	1.6	105.8	107.5	106.6

Minimum: 1.5 Maximum: 1.6
Průměr: 1.5 Medián: 1.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
[22_16.3](#)

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	1.1	317.9	266.2	292.0
2	1.3	253.1	281.0	267.0
3	1.2	310.2	253.2	281.7

Minimum: 1.1 Maximum: 1.3
Průměr: 1.2 Medián: 1.2

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
[22_16.3.](#)

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	1.5	355.8	354.3	355.1
2	1.4	346.2	374.9	360.6
3	1.6	356.6	319.8	338.2

Minimum: 1.4 Maximum: 1.6
Průměr: 1.5 Medián: 1.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
[22_15.3.](#)

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	6.5	54.6	52.2	53.4
2	6.8	53.1	51.6	52.3
3	7.1	51.6	50.8	51.2

Minimum: 6.5 Maximum: 7.1
Průměr: 6.8 Medián: 6.8

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.05
[22_15.3.](#)

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	6.6	110.7	127.0	118.9
2	7.0	110.8	119.1	114.9
3	6.5	128.5	110.7	119.6

Minimum: 6.5 Maximum: 7.0
Průměr: 6.7 Medián: 6.6

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1

22_15.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	6.5	167.0	170.2	168.6
2	6.5	161.4	175.7	168.6
3	6.4	168.2	172.8	170.5

Minimum: 6.4 Maximum: 6.5
Průměr: 6.5 Medián: 6.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

22_14.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	7.6	49.8	49.0	49.4
2	7.4	50.4	50.0	50.2
3	7.3	50.2	50.8	50.5

Minimum: 7.3 Maximum: 7.6
Průměr: 7.4 Medián: 7.4

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.05

22_14.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	8.1	107.9	105.7	106.8
2	8.3	107.3	104.3	105.8
3	7.8	107.3	111.4	109.3

Minimum: 7.8 Maximum: 8.3
Průměr: 8.1 Medián: 8.1

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1

22_14.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	8.4	135.1	162.9	149.0
2	8.7	157.5	135.0	146.3
3	7.5	157.4	156.6	157.0

Minimum: 7.5 Maximum: 8.7
Průměr: 8.2 Medián: 8.4

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

22_13.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	6.5	53.1	53.6	53.3
2	9.3	41.9	47.2	44.5
3	7.5	46.1	53.4	49.7

Minimum: 6.5 Maximum: 9.9
Průměr: 8.2 Medián: 7.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.05

22_13.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	9.2	102.5	97.8	100.1
2	8.0	106.8	109.2	108.0
3	8.7	98.8	107.5	103.1

Minimum: 8.0 Maximum: 9.2
Průměr: 8.6 Medián: 8.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1

22_13.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	7.2	144.0	176.5	160.3
2	7.4	148.7	168.5	158.6
3	7.8	155.1	152.7	153.9

Minimum: 7.2 Maximum: 7.8
Průměr: 7.5 Medián: 7.4

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

22_11.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	8.2	49.8	45.5	47.7
2	7.5	46.4	53.4	49.9
3	8.2	45.1	50.0	47.5

Minimum: 7.5 Maximum: 8.2
Průměr: 7.9 Medián: 8.2

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.05

22_11.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	9.1	109.1	93.1	101.1
2	8.5	103.2	105.7	104.4
3	8.8	109.2	95.9	102.6

Minimum: 8.5 Maximum: 9.1
Průměr: 8.8 Medián: 8.8

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1

22_11.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	8.2	150.8	150.4	150.6
2	9.6	137.5	140.0	138.7
3	8.8	136.7	153.6	145.2

Minimum: 8.2 Maximum: 9.6
Průměr: 8.9 Medián: 8.8

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

22_10.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.7	41.9	37.8	39.8
2	12.6	36.1	40.6	38.3
3	8.8	43.1	48.8	45.9

Minimum: 8.8 Maximum: 12.6
Průměr: 11.0 Medián: 11.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.05

22_10.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	10.1	93.1	98.3	95.7
2	11.3	104.9	76.2	90.5
3	11.1	83.6	99.6	91.6

Minimum: 10.1 Maximum: 11.3
Průměr: 10.8 Medián: 11.1

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.1

22_10.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.9	110.9	139.1	125.0
2	12.4	108.3	136.2	122.3
3	12.3	135.2	110.6	122.9

Minimum: 11.9 Maximum: 12.4
Průměr: 12.2 Medián: 12.3

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.3

22_10.3.

	HV 0.3	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	10.4	229.0	233.9	231.4
2	11.0	229.9	220.3	225.1
3	10.9	225.3	227.3	226.3

Minimum: 10.4 Maximum: 11.0
Průměr: 10.7 Medián: 10.9

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

22_9.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	12.9	39.2	36.5	37.9
2	12.3	34.4	43.2	38.8
3	13.6	36.0	37.8	36.9

Minimum: 12.3 Maximum: 13.6
Průměr: 13.0 Medián: 12.9

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.05

22_9.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	10.9	103.2	81.1	92.2
2	11.4	77.8	102.6	90.2
3	10.7	86.8	99.1	93.0

Minimum: 10.7 Maximum: 11.4
Průměr: 11.0 Medián: 10.9

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.3

22_9.3.

	HV 0.3	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.2	237.6	208.9	223.3
2	10.1	245.0	224.4	234.7
3	10.1	238.3	231.0	234.6

Minimum: 10.1 Maximum: 11.2
Průměr: 10.5 Medián: 10.1

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

22_8.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	10.4	42.4	42.2	42.3
2	10.5	44.6	39.4	42.0
3	9.6	46.4	41.6	44.0

Minimum: 9.6 Maximum: 10.5
Průměr: 10.2 Medián: 9.6

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.05

22_8.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.3	86.6	94.9	90.7
2	9.6	102.0	94.9	98.4
3	10.8	71.0	114.4	92.7

Minimum: 9.6 Maximum: 11.3
Průměr: 10.5 Medián: 10.8

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.3

22_8.3.

	HV 0.3	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.2	226.5	218.9	222.7
2	9.6	233.5	248.4	241.0
3	11.8	205.9	228.4	217.2

Minimum: 9.6 Maximum: 11.8
Průměr: 10.9 Medián: 11.2

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

tep_16.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.3	42.3	38.8	40.6
2	9.3	44.3	45.1	44.7
3	9.7	44.1	43.2	43.7

Minimum: 9.3 Maximum: 11.3
Průměr: 10.1 Medián: 9.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.05

tep_16.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	9.7	103.0	92.0	97.5
2	8.8	102.9	102.7	102.8
3	8.7	107.4	99.0	103.2

Minimum: 8.7 Maximum: 9.7
Průměr: 9.1 Medián: 8.8

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1

tep_16.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	10.2	136.6	133.4	135.0
2	10.7	129.5	133.5	131.5
3	11.1	129.5	128.8	129.2

Minimum: 10.2 Maximum: 11.1
Průměr: 10.7 Medián: 10.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

tep_15.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.5	37.9	42.4	40.1
2	12.8	37.8	38.3	38.1
3	9.8	45.7	41.4	43.6

Minimum: 9.8 Maximum: 12.8
Průměr: 11.4 Medián: 11.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.05

tep_15.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	10.5	94.4	93.3	93.8
2	10.1	95.3	96.1	95.7
3	10.0	96.8	96.0	96.4

Minimum: 10.0 Maximum: 10.5
 Průměr: 10.2 Medián: 10.1

Metoda: Vickers
 Objektiv: 10x
 Zatížení: HV 0.1

tep_15.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	10.2	126.3	143.2	134.8
2	9.2	142.5	141.5	142.0
3	10.0	133.4	138.4	135.9

Minimum: 9.2 Maximum: 10.2
 Průměr: 9.8 Medián: 10.0

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.01

tep_14.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	9.8	41.8	45.4	43.6
2	8.2	47.1	48.1	47.6
3	9.1	47.1	43.3	45.2

Minimum: 8.2 Maximum: 9.8
 Průměr: 9.0 Medián: 9.1

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.05

tep_14.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	10.5	94.5	93.7	94.1
2	10.2	95.3	95.3	95.3
3	9.0	95.5	106.9	101.2

Minimum: 9.0 Maximum: 10.5
 Průměr: 9.9 Medián: 10.2

Metoda: Vickers
 Objektiv: 10x
 Zatížení: HV 0.1

tep_14.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	12.1	115.5	132.1	123.8
2	10.1	126.3	144.5	135.4
3	11.3	140.6	115.3	128.0

Minimum: 10.1 Maximum: 12.1
 Průměr: 11.2 Medián: 11.3

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.01

tep_13.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	9.7	42.0	45.3	43.7
2	11.7	37.6	42.1	39.8
3	10.8	41.5	41.2	41.4

Minimum: 9.7 Maximum: 11.7
 Průměr: 10.8 Medián: 10.8

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.05

tep_13.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	9.1	99.6	102.2	100.9
2	9.1	101.0	101.2	101.1
3	9.2	97.8	102.8	100.3

Minimum: 9.1 Maximum: 9.2
 Průměr: 9.1 Medián: 9.1

Metoda: Vickers
 Objektiv: 10x
 Zatížení: HV 0.1

tep_13.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	9.5	138.3	141.5	139.9
2	9.3	149.8	132.1	141.0
3	9.5	134.4	145.6	140.0

Minimum: 9.3 Maximum: 9.5
 Průměr: 9.4 Medián: 9.5

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.01

tep_11.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.3	37.2	43.7	40.5
2	11.6	39.8	40.0	39.9
3	11.4	40.8	40.0	40.4

Minimum: 11.3 Maximum: 11.6
 Průměr: 11.4 Medián: 11.4

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.05

tep_11.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	10.9	88.3	96.5	92.4
2	9.5	99.9	98.0	98.9
3	9.6	97.4	99.5	98.4

Minimum: 9.5 Maximum: 10.9
 Průměr: 10.0 Medián: 9.6

Metoda: Vickers
 Objektiv: 10x
 Zatížení: HV 0.1

tep_11.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.7	118.6	133.5	126.1
2	10.3	142.3	126.4	134.3
3	9.8	136.7	137.7	137.2

Minimum: 9.8 Maximum: 11.7
 Průměr: 10.6 Medián: 10.3

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.01

tep_10.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	14.7	33.1	37.8	35.5
2	14.5	34.0	37.4	35.7
3	12.2	38.4	39.5	38.9

Minimum: 12.2 Maximum: 14.7
 Průměr: 13.8 Medián: 14.5

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.05

tep_10.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	9.0	98.3	104.3	101.3
2	10.0	101.5	91.5	96.5
3	10.8	96.2	89.4	92.8

Minimum: 9.0 Maximum: 10.8
 Průměr: 9.9 Medián: 10.0

Metoda: Vickers
 Objektiv: 10x
 Zatížení: HV 0.1

tep_10.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	9.5	132.1	147.1	139.6
2	10.9	126.4	134.3	130.4
3	13.4	109.0	125.9	117.4

Minimum: 9.5 Maximum: 13.4
 Průměr: 11.3 Medián: 10.9

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.01

tep_9.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	13.6	38.0	36.0	37.0
2	12.8	37.1	39.0	38.1
3	13.4	34.7	39.6	37.2

Minimum: 12.8 Maximum: 13.6
 Průměr: 13.3 Medián: 13.4

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.05

tep_9.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.8	87.0	90.0	88.5
2	12.4	90.3	82.9	86.6
3	11.9	92.1	84.5	88.3

Minimum: 11.8 Maximum: 12.4
 Průměr: 12.0 Medián: 11.9

Metoda: Vickers
 Objektiv: 10x
 Zatížení: HV 0.3

tep_9.3.

	HV 0.3	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	13.2	199.4	211.2	205.3
2	13.7	197.4	205.9	201.7
3	10.6	221.9	236.1	229.0

Minimum: 10.6 Maximum: 13.7
 Průměr: 12.5 Medián: 13.2

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.01

tep_8.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	13.9	33.8	39.3	36.5
2	12.1	37.5	40.8	39.2
3	13.4	34.2	40.2	37.2

Minimum: 12.1 Maximum: 13.9
 Průměr: 13.1 Medián: 13.4

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.05

tep_8.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.5	87.6	91.9	89.8
2	11.7	94.5	83.5	89.0
3	11.4	97.1	82.9	90.0

Minimum: 11.4 Maximum: 11.7
Průměr: 11.6 Medián: 11.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.3

tep_8.3.

	HV 0.3	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	11.4	230.5	210.9	220.7
2	11.9	225.9	205.9	215.9
3	11.2	227.3	218.7	223.0

Minimum: 11.2 Maximum: 11.9
Průměr: 11.5 Medián: 11.4

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

chla_16.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	1.5	109.6	110.7	110.2
2	1.5	110.6	114.6	112.6
3	1.5	105.5	116.9	111.2

Minimum: 1.5 Maximum: 1.5
Průměr: 1.5 Medián: 1.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05

chla_16.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	1.7	243.4	230.6	237.0
2	1.5	247.5	242.6	245.1
3	1.5	248.1	241.8	245.0

Minimum: 1.5 Maximum: 1.7
Průměr: 1.6 Medián: 1.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1

chla_16.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	1.6	344.2	335.7	339.9
2	1.5	358.8	344.9	351.9
3	1.7	339.0	318.1	328.6

Minimum: 1.5 Maximum: 1.7
Průměr: 1.6 Medián: 1.6

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

chla_15.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	5.1	59.3	60.9	60.1
2	5.3	57.7	60.4	59.0
3	5.2	61.0	58.4	59.7

Minimum: 5.1 Maximum: 5.3
Průměr: 5.2 Medián: 5.2

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05

chla_15.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	5.2	133.4	133.6	133.5
2	5.3	133.1	131.2	132.1
3	5.0	131.9	139.8	135.8

Minimum: 5.0 Maximum: 5.3
Průměr: 5.2 Medián: 5.2

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1

chla_15.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	5.1	188.4	194.8	191.6
2	5.1	184.3	197.9	191.1
3	5.3	184.4	189.1	186.8

Minimum: 5.1 Maximum: 5.3
Průměr: 5.1 Medián: 5.1

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

chla_14.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	4.2	68.0	65.4	66.7
2	4.5	64.2	64.4	64.3
3	4.2	65.9	66.8	66.3

Minimum: 4.2 Maximum: 4.5
Průměr: 4.3 Medián: 4.2

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05

chla_14.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	4.7	141.4	140.0	140.7
2	4.7	135.2	147.0	141.1
3	4.8	134.3	144.8	139.5

Minimum: 4.7 Maximum: 4.8
Průměr: 4.7 Medián: 4.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1

chla_14.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	4.5	198.1	209.0	203.6
2	4.6	204.4	197.2	200.8
3	4.7	203.6	192.5	198.1

Minimum: 4.5 Maximum: 4.7
Průměr: 4.6 Medián: 4.6

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

chla_13.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	4.7	62.8	62.8	62.8
2	4.6	63.4	63.4	63.4
3	4.2	66.1	66.5	66.3

Minimum: 4.2 Maximum: 4.7
Průměr: 4.5 Medián: 4.6

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
chla_13.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	4.3	140.1	153.4	146.7
2	4.1	155.0	145.6	150.3
3	4.5	141.4	146.4	143.9
Minimum:	4.1	Maximum:		4.5
Průměr:	4.3	Medián:		4.3

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
chla_13.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	4.4	205.9	204.4	205.1
2	4.4	206.0	206.6	206.3
3	4.6	195.7	207.5	201.6
Minimum:	4.4		Maximum:	4.6
Průměr:	4.4		Medián:	4.4

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
chla_11.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	5.0	67.5	53.8	60.7
2	4.4	72.1	57.6	64.8
3	4.8	59.9	64.4	62.2
Minimum:	4.4		Maximum:	5.0
Průměr:	4.7		Medián:	4.8

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
chla_11.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	4.9	139.0	135.9	137.5
2	5.2	135.9	132.0	133.9
3	5.3	135.0	128.7	131.8
Minimum:		4.9	Maximum: 5.3	
Průměr:		5.1	Medián: 5.2	

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
chla_11.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	4.3	202.0	211.4	206.7
2	4.2	215.3	205.1	210.2
3	4.7	196.1	200.9	198.5
Minimum:	4.2	Maximum:		4.7
Průměr:	4.4	Medián:		4.3

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
chla_10.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	5.0	59.0	62.8	60.9
2	4.8	62.2	62.0	62.1
3	4.8	59.3	64.6	62.0
Minimum:	4.8	Maximum:		5.0
Průměr:	4.9	Medián:		4.8

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
chla_10.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	4.8	140.7	137.5	139.1
2	5.0	146.4	127.0	136.7
3	4.5	147.9	140.6	144.2
Minimum:	4.5	Maximum:		5.0
Průměr:	4.7	Medián:		4.8

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
chla_10.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	4.0	205.1	223.2	214.1
2	4.3	213.3	200.9	207.1
3	4.8	201.4	192.2	196.8
Minimum:	4.0		Maximum:	4.8
Průměr:	4.4		Medián:	4.3

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
chla_9.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	6.1	54.6	55.6	55.1
2	5.8	65.3	47.8	56.5
3	5.8	53.3	59.6	56.4
Minimum:	5.8		Maximum:	6.1
Průměr:	5.9		Medián:	5.8

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
chla_9.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	5.5	132.7	128.1	130.4
2	6.6	114.4	122.3	118.4
3	6.0	118.3	129.8	124.1
Minimum:	5.5		Maximum:	6.6
Průměr:	6.0		Medián:	6.0

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
chla_9.3.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	5.0	187.7	197.2	192.4
2	6.4	177.9	162.8	170.4
3	6.5	166.4	170.9	168.6
Minimum:	5.0	Maximum:		6.5
Průměr:	6.0	Medián:		6.4

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
chla_8.3.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	5.3	47.2	71.6	59.4
2	5.7	59.1	55.1	57.1
3	6.1	56.7	53.6	55.1
Minimum:	5.3	Maximum:		6.1
Průměr:	5.7	Medián:		5.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.05
chla_8.3.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	6.6	127.7	110.2	118.9
2	6.7	110.5	124.9	117.7
3	6.7	110.3	124.8	117.5
Minimum:	6.6	Maximum:		6.7
Průměr:	6.7	Medián:		6.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.3
chla_8.3.

	HV 0.3	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	5.4	305.7	338.2	322.0
2	6.1	316.4	285.2	300.8
3	5.9	332.6	282.7	307.7
Minimum:	5.4		Maximum:	6.1
Průměr:	5.8		Medián:	5.9

Polyetylen

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
chlاد_20.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.1	76.4	79.1	77.7
2	3.0	80.9	75.4	78.2
3	2.8	87.8	74.8	81.3
Minimum:	2.8	Maximum:		3.1
Průměr:	3.0	Medián:		3.0

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
chlاد_20.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.2	178.2	159.6	168.9
2	2.9	185.4	173.1	179.3
3	3.2	163.9	176.7	170.3
Minimum:	2.9		Maximum:	3.2
Průměr:	3.1		Medián:	3.2

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
chlاد_20.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.2	246.1	232.3	239.2
2	3.4	234.5	233.2	233.8
3	2.9	64.3	443.0	253.6
Minimum:	2.9		Maximum:	3.4
Průměr:	3.2		Medián:	3.2

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
chlاد_21.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.9	77.4	81.7	79.5
2	2.9	82.1	76.5	79.3
3	3.1	76.6	79.3	78.0

Minimum: 2.9 Maximum: 3.1
Průměr: 3.0 Medián: 2.9

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
chlád_21.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.1	174.2	171.7	173.0
2	3.3	170.3	166.3	168.3
3	3.4	171.8	160.2	166.0

Minimum: 3.1 Maximum: 3.4
Průměr: 3.2 Medián: 3.3

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
chlád_21.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.4	220.2	244.5	232.3
2	3.3	223.3	247.7	235.5
3	3.5	219.2	243.8	231.5

Minimum: 3.3 Maximum: 3.5
Průměr: 3.4 Medián: 3.4

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
chlád_22.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.0	76.5	81.1	78.8
2	3.1	80.4	74.5	77.4
3	3.2	72.8	80.2	76.5

Minimum: 3.0 Maximum: 3.2
Průměr: 3.1 Medián: 3.1

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
chlád_22.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.4	167.1	164.7	165.9
2	3.5	162.2	164.7	163.5
3	3.4	170.4	161.7	166.1

Minimum: 3.4 Maximum: 3.5
Průměr: 3.4 Medián: 3.4

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
chlád_22.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.4	219.6	248.4	234.0
2	3.3	231.2	241.1	236.2
3	3.2	242.6	241.2	241.9

Minimum: 3.2 Maximum: 3.4
Průměr: 3.3 Medián: 3.3

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
chlád_23.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.7	82.9	83.4	83.1
2	2.6	84.2	83.4	83.8
3	2.6	86.8	82.3	84.6

Minimum: 2.6 Maximum: 2.7

Průměr: 2.6 Medián: 2.6

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
chlád_23.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.6	191.7	187.1	189.4
2	2.7	184.6	188.6	186.6
3	2.9	179.9	179.8	179.9

Minimum: 2.6 Maximum: 2.9
Průměr: 2.7 Medián: 2.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
chlád_23.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.8	270.8	248.1	259.4
2	3.0	255.5	241.6	248.6
3	2.9	247.6	254.9	251.3

Minimum: 2.8 Maximum: 3.0
Průměr: 2.9 Medián: 2.9

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
chlád_24.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.9	87.6	72.4	80.0
2	2.7	79.7	86.4	83.1
3	3.3	75.4	74.4	74.9

Minimum: 2.7 Maximum: 3.3
Průměr: 3.0 Medián: 2.9

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
chlád_24.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.3	173.8	162.1	168.0
2	2.7	188.2	180.3	184.2
3	3.1	177.0	171.4	174.2

Minimum: 2.7 Maximum: 3.3
Průměr: 3.0 Medián: 3.1

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
chlád_24.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.0	240.2	259.8	250.0
2	2.9	269.2	239.5	254.4
3	3.0	267.0	227.9	247.4

Minimum: 2.9 Maximum: 3.0
Průměr: 3.0 Medián: 3.0

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
chlád_25.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.9	86.1	73.4	79.7
2	2.9	81.4	77.8	79.6
3	2.9	78.2	81.5	79.8

Minimum: 2.9 Maximum: 2.9

Průměr: 2.9 Medián: 2.9

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
chlád_25.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.9	178.3	176.5	177.4
2	2.7	183.8	190.1	187.0
3	2.9	175.3	183.8	179.5
Minimum:	2.7		Maximum:	2.9
Průměr:	2.8		Medián:	2.9

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
chlád_25.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.9	252.0	254.5	253.3
2	2.8	255.2	263.1	259.1
3	3.0	252.6	248.5	250.6
Minimum:	2.8		Maximum:	3.0
Průměr:	2.9		Medián:	2.9

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
tepl_20.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.7	71.6	69.5	70.6
2	3.5	70.6	75.2	72.9
3	3.1	76.0	78.1	77.0
Minimum:	3.1		Maximum:	3.7
Průměr:	3.4		Medián:	3.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
tepl_20.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.2	172.2	167.9	170.1
2	3.1	174.1	174.6	174.4
3	3.0	167.6	186.5	177.1
Minimum:	3.0		Maximum:	3.2
Průměr:	3.1		Medián:	3.1

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
tepl_20.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.0	233.5	260.8	247.1
2	3.2	231.3	249.0	240.1
3	3.1	244.1	247.6	245.9
Minimum:	3.0		Maximum:	3.2
Průměr:	3.1		Medián:	3.1

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
tepl_21.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.9	78.1	81.0	79.6
2	2.9	77.7	81.4	79.5
3	2.9	78.2	82.9	80.5
Minimum:	2.9		Maximum:	2.9
Průměr:	2.9		Medián:	2.9

Metoda: Vickers
 Objektiv: 10x
 Zatížení: HV 0.05
 tepl_21.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.2	175.9	164.0	169.9
2	3.3	168.7	168.0	168.4
3	3.3	171.1	166.3	168.7
Minimum:		3.2	Maximum:	3.3
Průměr:		3.2	Medián:	3.3

Metoda: Vickers
 Objektiv: 10x
 Zatížení: HV 0.1
 tepl_21.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.2	240.3	238.7	239.5
2	3.1	239.6	245.9	242.8
3	3.3	238.6	237.0	237.8
Minimum:		3.1	Maximum:	3.3
Průměr:		3.2	Medián:	3.2

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.01
 tepl_22.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.3	76.4	74.4	75.4
2	3.2	77.3	76.0	76.6
3	2.9	85.0	76.2	80.6
Minimum:		2.9	Maximum:	3.3
Průměr:		3.1	Medián:	3.2

Metoda: Vickers
 Objektiv: 10x
 Zatížení: HV 0.05
 tepl_22.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.0	171.7	182.2	176.9
2	3.0	166.2	186.5	176.4
3	2.9	191.3	169.3	180.3
Minimum:		2.9	Maximum:	3.0
Průměr:		2.9	Medián:	3.0

Metoda: Vickers
 Objektiv: 10x
 Zatížení: HV 0.1
 tepl_22.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.0	258.8	237.9	248.4
2	3.0	257.1	240.2	248.6
3	3.1	252.7	233.5	243.1
Minimum:		3.0	Maximum:	3.1
Průměr:		3.0	Medián:	3.0

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.01
 tepl_23.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.8	77.2	84.8	81.0
2	2.8	79.9	82.0	80.9
3	2.9	79.1	82.0	80.6
Minimum:		2.8	Maximum:	2.9
Průměr:		2.8	Medián:	2.8

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
tepl_23.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.1	171.9	173.3	172.6
2	3.1	172.5	176.0	174.3
3	3.1	172.8	171.1	172.0

Minimum: 3.1 Maximum: 3.1
Průměr: 3.1 Medián: 3.1

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
tepl_23.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.4	236.4	234.2	235.3
2	3.1	245.0	243.0	244.0
3	3.4	236.2	233.3	234.8

Minimum: 3.1 Maximum: 3.4
Průměr: 3.3 Medián: 3.4

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
tepl_25.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.0	74.5	81.7	78.1
2	3.0	73.9	84.4	79.1
3	3.0	80.3	76.2	78.3

Minimum: 3.0 Maximum: 3.0
Průměr: 3.0 Medián: 3.0

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
tepl_25.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.3	164.8	170.5	167.6
2	3.1	168.4	177.8	173.1
3	3.0	171.6	178.4	175.0

Minimum: 3.0 Maximum: 3.3
Průměr: 3.1 Medián: 3.1

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
tepl_25.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.3	233.3	242.6	238.0
2	3.4	237.6	232.9	235.2
3	3.3	230.9	246.8	238.9

Minimum: 3.3 Maximum: 3.4
Průměr: 3.3 Medián: 3.3

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
20.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.6	84.2	85.1	84.7
2	2.7	78.7	86.4	82.6
3	3.1	73.8	81.7	77.8

Minimum: 2.6 Maximum: 3.1
Průměr: 2.8 Medián: 2.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
20.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	3.1	171.7	174.7	173.2
2	3.3	163.5	170.0	166.7
3	2.9	179.5	176.3	177.9
Minimum: 2.9		Maximum: 3.3		
Průměr: 3.1		Medián: 3.1		

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
20.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.8	250.8	260.8	255.8
2	2.8	269.4	242.1	255.8
3	2.7	262.1	259.3	260.7
Minimum: 2.7		Maximum: 2.8		
Průměr: 2.8		Medián: 2.8		

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
22.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.7	80.3	84.2	82.2
2	2.7	79.8	84.8	82.3
3	2.7	82.1	83.6	82.9
Minimum: 2.7		Maximum: 2.7		
Průměr: 2.7		Medián: 2.7		

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
22.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.8	178.0	183.4	180.7
2	2.8	174.1	187.5	180.8
3	2.8	174.3	188.5	181.4
Minimum: 2.8		Maximum: 2.8		
Průměr: 2.8		Medián: 2.8		

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
22.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.8	263.0	252.8	257.9
2	3.0	261.9	238.5	250.2
3	3.0	258.6	242.6	250.6
Minimum: 2.8		Maximum: 3.0		
Průměr: 2.9		Medián: 3.0		

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01
23.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.6	85.4	84.2	84.8
2	2.6	84.8	85.6	85.2
3	2.5	86.0	85.3	85.7
Minimum: 2.5		Maximum: 2.6		
Průměr: 2.6		Medián: 2.6		

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05

23.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.7	189.4	184.6	187.0
2	2.6	188.2	187.3	187.7
3	2.7	189.3	180.0	184.6

Minimum: 2.6 Maximum: 2.7
Průměr: 2.7 Medián: 2.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1

23.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.8	259.1	254.5	256.8
2	2.7	258.5	263.8	261.1
3	2.7	261.9	261.6	261.8

Minimum: 2.7 Maximum: 2.8
Průměr: 2.7 Medián: 2.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

24.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.6	88.3	81.7	85.0
2	2.5	84.5	88.7	86.6
3	2.5	84.4	87.8	86.1

Minimum: 2.5 Maximum: 2.6
Průměr: 2.5 Medián: 2.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05

24.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.8	178.4	186.4	182.4
2	2.6	194.2	184.6	189.4
3	2.7	186.8	182.2	184.5

Minimum: 2.6 Maximum: 2.8
Průměr: 2.7 Medián: 2.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1

24.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.8	249.9	268.3	259.1
2	2.7	250.8	272.9	261.8
3	2.7	272.0	253.8	262.9

Minimum: 2.7 Maximum: 2.8
Průměr: 2.7 Medián: 2.7

Metoda: Vickers
Objektiv: 40x
Zatížení: HV 0.01

25.4.

	HV 0.01	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.5	86.0	86.0	86.0
2	2.5	85.1	87.3	86.2
3	2.3	88.5	89.3	88.9

Minimum: 2.3 Maximum: 2.5
Průměr: 2.4 Medián: 2.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.05
25.4.

	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.6	189.4	189.4	189.4
2	2.5	191.2	190.8	191.0
3	2.5	193.8	188.6	191.2

Minimum: 2.5 Maximum: 2.6
Průměr: 2.6 Medián: 2.5

Metoda: Vickers
Objektiv: 10x
Zatížení: HV 0.1
25.4.

	HV 0.1	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	2.6	265.7	269.0	267.3
2	2.7	263.7	262.9	263.3
3	2.6	266.6	264.0	265.3

Minimum: 2.6 Maximum: 2.7
Průměr: 2.6 Medián: 2.6