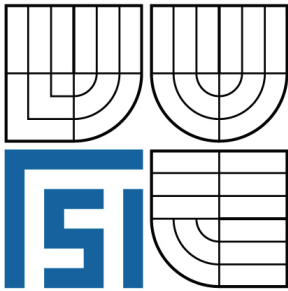


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ PRO ZKOUŠENÍ TVRDOSTI MATERIÁLŮ.

SPECIAL UNIT TO TEST HARDNESS.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LADISLAV KOLÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Ladislav Kolář

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

### **Přístrojové vybavení pro zkoušení tvrdosti materiálů.**

v anglickém jazyce:

#### **Special unit to test hardness.**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozdělení a teorie zkoušek tvrdosti. Používané přístroje. Konkretizace využití pro statické a mobilní podmínky. Názor na výhledový vývoj v této oblasti.

Cíle bakalářské práce:

Spojení teoretických znalostí s možnostmi využití v reálných strojírenských podmínkách. Uvedení konkrétních příkladů či sestav při měření tvrdosti, včetně extrémních situací.

Seznam odborné literatury:

1. KOCMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
2. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
3. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

---

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty



**ABSTRAKT**

Cílem této práce je poskytnout jednoduchý přehled v oblasti přístrojů pro měření tvrdosti se zaměřením na nové technologie využívané moderními zařízeními, ukázat vhodnost použití jednotlivých metod měření na konkrétních podmínkách a seznámit s některými měřicími přístroji na současném trhu.

**Klíčová slova**

Tvrdost, nedestruktivní, zkoušení

**ABSTRACT**

The goal of this work is to provide simple overview in the field of devices for measuring hardness with a focus on new technologies used by modern devices. This work should indicate the suitability of the use of different measurement methods for specific conditions and get acquainted with some measuring device on the current market.

**Key words**

Hardness, nondestructive, testing

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KOLÁŘ, L. Přístrojové vybavení pro zkoušení tvrdosti materiálů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Přístrojové vybavení pro zkoušení tvrdosti materiálů vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

28.5.2009

.....  
Ladislav Kolář

## **Poděkování**

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

Abstrakt .....	2
Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Obsah.....	5
Úvod .....	6
1 JEDNOTLIVÉ ZKOUŠKY TVRDOSTI A JEJICH ROZDĚLENÍ .....	7
1.1 Tvrdost dle Mohse .....	7
1.2 Zkouška podle Brinella.....	8
1.3 Zkouška podle Rockwella .....	9
1.4 Poldi kladívko.....	9
1.5 Zkouška podle Vickerse.....	10
2 MĚŘENÍ TVRDOSTI PŘI EXTRÉMNÍCH PODMÍNKÁCH.....	11
2.1 Měření na špatně přístupných místech .....	11
2.1.1 Ultrazvuková metoda UCI .....	11
2.1.2 Měření tvrdosti elektrickým odporem .....	13
2.2 Měření tvrdosti na neobrobených plochách.....	14
2.2.1 Dynamická metoda .....	14
2.3 Měření tvrdosti na malých a tenkých dílech .....	17
3 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ TVRDOSTI NA SOUČASTNÉM TRHU .....	19
3.1 Přenosné tvrdoměry .....	19
3.1.1 DynaPOCKET .....	19
3.1.2 Tvrdoměr TIV .....	20
3.1.3 Příslušenství k přenosným tvrdoměrům .....	21
3.2 Stolní tvrdoměry .....	22
3.2.1 Tvrdoměr AT 300 .....	22
3.3 Modernizace tvrdoměrů .....	23
3.3.1 Renovace mechanické části.....	23
3.3.2 Modernizace elektronických částí.....	23
Závěr .....	24
Seznam použitých zdrojů .....	25
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	26



## ÚVOD

Tvrdotost patří mezi nejdůležitější mechanické veličiny u kovových materiálů. Ze všech mechanických vlastností materiálu ji můžeme zjistit nejrychleji, nejlevněji, na vzorcích nejmenších rozměrů a navíc nedestruktivně. Kromě měření délek a úhlů je měření tvrdosti nejrozšířenější metodou kontroly hotových součástí. Je definována jako odpor kladený tělesem, je-li do něho vtlačováno těleso jiné.

Vzhledem k poměrně otevřené definici pojmu tvrdost je logické, že došlo k vyvinutí velkého množství způsobů jejího měření. Mezi nejznámější patří zkoušky podle Brinella, Rockwella a Vickerse které se řadí mezi zkoušky statické. Dále existují zkoušky dynamické, využívané především mobilními tvrdoměry jako je Poldi nebo Baumanovo kladívko.

Vývoj jde ale stále dál a tak se dnes již setkáváme s tvrdoměry využívajícími k měření ultrazvuk, optiku nebo elektrický odpor.

## 1 JEDNOTLIVÉ ZKOUŠKY TVRDOSTI A JEJICH ROZDĚLENÍ

Zkoušky tvrdosti se můžou dělit podle několika kritérií. Základní rozdělení je podle průběhu zatěžovací síly a to na zkoušky dynamické a statické. Statické zkoušky se dále dělí podle způsobu interakce indentoru se zkoušeným materiálem na vrypové a vnikací. Dynamické zkoušky se rozlišují podle způsobené deformace na plastické a elastické.

Statické	- vrypové	- Mohs - Martens
	- vnikací	- Brinell - Rockwell - Vickers - Knoop
Dynamické	- plastické	- Poldi kladívko - Baumanovo kladívko
	- elastické	- Shoreho skleroskop - Duroskop

### 1.1 Tvrdost dle Mohse

Základ vrypových zkoušek položil v roce 1822 mineralog Friedrich Mohs. Vytvořil stupnici původně určenou pro dělení minerálů na základě jejich tvrdosti, do té doby se minerály dělili pouze podle chemického složení. Mohs vycházel z toho, že tvrdší minerál zanechá v měkčím minerálu vryp. Na základě toho vytvořil tzv. Mohsovu stupnici tvrdosti.

Zkouška se provádí vrypem do zkoušeného materiálu. K určení stupně tvrdosti se používá fakt, že materiál s vyšším číslem vytváří vryp v materiálu s nižším číslem.

Tab. 1.1 Mohsova stupnice tvrdosti

1	mastek	6	živec (ortoklas)
2	sůl kamenná	7	křemen
3	kalcit (vápenec)	8	topaz
4	fluorit (kazivec)	9	korund
5	apatit	10	diamant

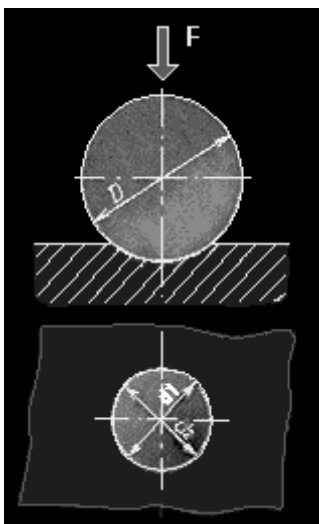
Přesnost této stupnice je ale velmi malá, proto se ve strojírenské praxi nepoužívá.

## 1.2 Zkouška podle Brinella

Zkoušku poprvé představil v roce 1900 švédský inženýr Brinell. Spočívá ve vtačování vnikacího tělíska v podobě kuličky do testovaného materiálu. Po odlehčení se změří průměr vtisku ve dvou na sobě kolmých směrech, z naměřených výsledků se spočítá aritmetický průměr. Doba působení zatěžovací síly a její velikost se mění podle měřeného materiálu.

Kulička se používá v průměrech 1 mm, 2,5 mm, 5 mm a 10 mm. Její velikost se volí podle tloušťky zkoušeného materiálu, ta by měla být alespoň 10x větší než je průměr kuličky. Indentor pro měření měkčích materiálů je vyroben z kalené oceli, pro tvrdší materiály se používá kulička ze slinutých karbidů.

Tvrдость dle Brinella se označuje HB (Brinell hardness). Jestliže je použita kulička z kalené oceli označuje se HBS, v případě užití kuličky ze slinutých karbidů bude označení HBW.



Obr. 1.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella (10)

Původní Brinellův tvrdoměr uměl jen vyvinout zkušební zatížení, průměr vtisku se pak musel odečítat pomocí speciální lupy s přesností na setiny milimetru. To vnášelo do procesu možnost pochybení obsluhy, a z toho vyplývající nepřesnost měření.

Novější zařízení jsou vybavena optikou, která promítá zvětšený obraz vtisku na matnici, kde se mnohem snáze a přesněji změří.

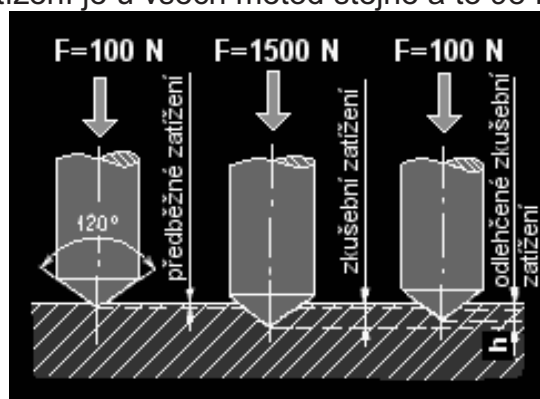
Moderní přístroje již průměr vtisku odměřují automaticky a na displeji zobrazí přímo výslednou tvrdost.

### 1.3 Zkouška podle Rockwella

Zkouška podle Rockwella byla vyvinuta v roce 1919. Informace o tvrdosti se získává porovnáním hloubky vtisku mezi dvěma zatíženími - předběžným a celkovým. U nás jsou normalizovány tři varianty rozdělené podle druhu indentoru a velikosti celkového zatížení, jsou to

- HRA - diamantový kužel o vrcholovém úhlu  $120^\circ$ , za tížení 600 N
- HRB - ocelová kulička o průměru 1,5 mm, zatížení 1000 N
- HRC - diamantový kužel o vrcholovém úhlu  $120^\circ$ , za tížení 1500 N

Přeběžné zatížení je u všech metod stejné a to 98 N.



Obr. 1.2 Zkouška tvrdosti podle Rockwella (10)

Výhoda zkoušky spočívá v odečítání hodnoty tvrdosti přímo na stupnici přístroje. V porovnání se zkouškou dle Brinella zanechává v materiálu mnohem menší vpich (asi 0,2 mm). Její provedení je jednodušší a rychlejší, proto se více hodí pro hromadnou kontrolu výrobků.

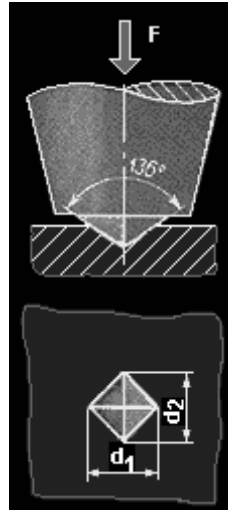
### 1.4 Poldi kladívko

Jedná se o jednoduchý přenosný tvrdoměr patentovaný v roce 1921. Tvrdoměr se přiloží kolmo k měřenému materiálu a úderem kladívka se udělá vtisk jak do zkoušeného materiálu, tak do porovnávacího hranolu známé tvrdosti. Oba vtisky se změří pomocí speciální lupy a z tabulek se zjistí tvrdost zkoušeného materiálu. Metoda nedosahuje příliš velké přesnosti, výhodnou je ale její mobilita, jednoduchost konstrukce, a z toho vyplývající cena, která se u nového přístroje pohybuje kolem 6000 Kč.

Obr. 1.3 Poldí kladívko s porovnávacím hranolem a měřicí lupou (8)

### 1.5 Zkouška podle Vickerse

Zkouška podle Vickerse byla vynalezena v Anglii v roce 1925. Jako indetor je použit čtyřboký diamantový jehlan o vrcholovém úhlu  $136^\circ$ . Při cíp spočívá v zatlačení jehlanu do materiálu zkušební silou. Po odlehčení se změří délky obou úhlopříček a z jejich aritmetického průměru se určí tvrdost. Zatěžovací síla se pohybuje v rozsahu od 10 do 1000 N.



Obr. 1.4 Zkouška tvrdosti podle Vickerse (10)

Pro přesnější odměřování úhlopříček se na tvrdoměrech začaly používat takzvané Diatestery – zařízení pro zobrazení vtisku na matnici, která zjednodušovala a urychlovala měření. Nejnovější přístroje jsou schopny měřit velikost úhlopříček automaticky a zobrazují přímo výslednou tvrdost.

## 2 MĚŘENÍ TVRDOSTI PŘI EXTRÉMNÍCH PODMÍNKÁCH

V technické praxi se můžeme setkat s potřebou měřit tvrdost i v obtížných a pro měření nepříliš vhodných podmínkách. Ať už se jedná o příliš velké či malé výrobky, měření v nedostupných prostorách nebo na nepracovaných plochách existují přístroje a technologie měření, které si dokážou poradit i v takovýchto případech. Nyní se podíváme na některé z nich.

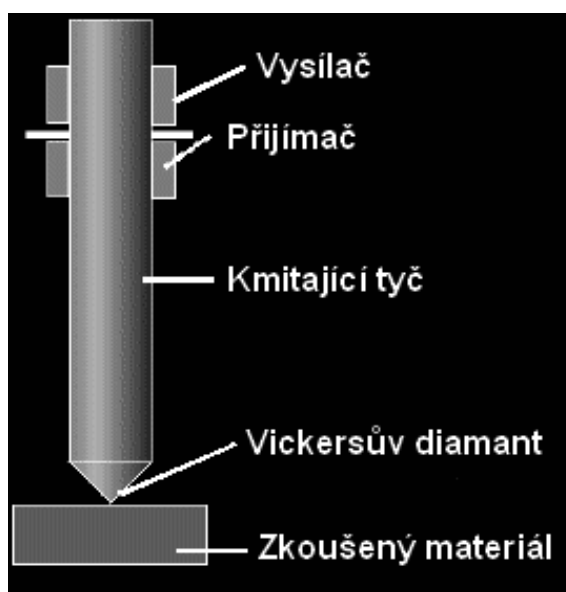
### 2.1 Měření na špatně přístupných místech

Pro měření na špatně přístupných místech jako jsou boky ozubení, díry a drážky, ale i pro tepelně ovlivněné oblasti svarů, tenké díly, trubky a finálně obrobené plochy se hodí metody měření tvrdosti ultrazvukem nebo elektrickým odporem, obě zanechávají na testované součásti velmi malý vpich a díky kompaktní velikosti sond umožňují i měření na méně přístupných místech.

#### 2.1.1 Ultrazvuková metoda UCI

Přístroj pro měření ultrazvukovou metodou se skládá z měřicí sondy a digitálního tvrdoměru, který zajišťuje vyhodnocování výsledků měření.

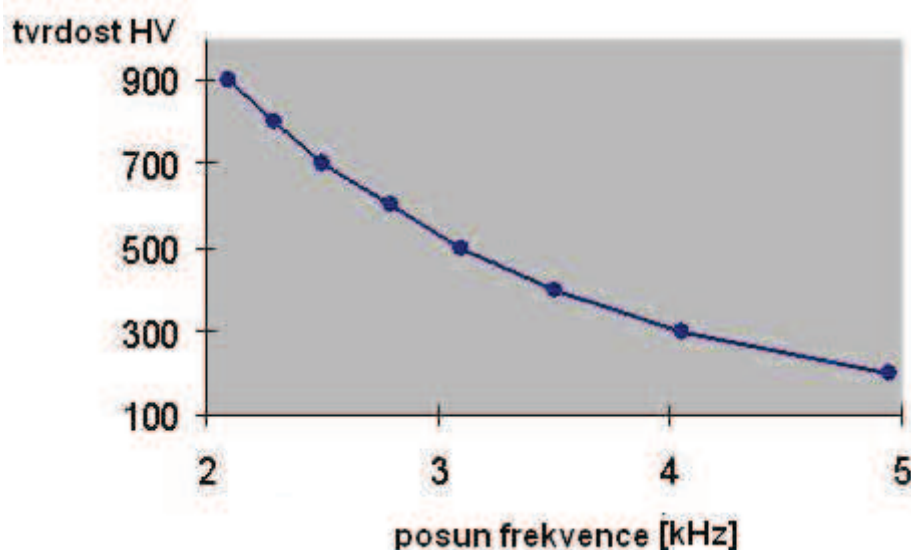
V sondě se nachází tyčinka zakončená čtyřbokým diamantovým jehlanem (stejným jako se užívá při zkoušce dle Vickerse). Zařízení využívá piezoelektrický efekt k rozkmitání tyče, která osciluje s frekvencí zhruba 70kHz v axiálním směru sondy.



Obr. 2.1 Schéma UCI sondy (5)

Při samotném měření dojde po zatížení vyvolaném pružinou ke změně frekvence kmitání. Její velikost závisí na ploše vtisku a modulu pružnosti měřeného materiálu. Tvrdost materiálu se tedy zjišťuje porovnáním frekvencí před a při zatížení, přičemž měkký materiál tlumí kmitání víc než tvrdý materiál. (viz. obr 4.2). Nevýhodou je vliv modulu pružnosti na výsledek zkoušky, přístroj se proto musí před měřením kalibrovat na měřený druh materiálu.

Sondy se vyrábějí v 6ti provedeních odstupňovaných podle použité zatěžovací síly a to v hodnotách 1, 3, 8.6, 10, 50, 98 N.



Obr. 2.2 Vliv tvrdosti materiálu na posun frekvence (6)

Sonda se zatěžovací silou 1 N se používá ve stojánku. Pro svůj velmi malý vtisk je vhodná pro měření tvrdosti na finálně obrobených pracovních plochách výrobků jako jsou lopatky turbín nebo na tenkých pleších. Nevýhodou je velká závislost na průměrné aritmetické odchylce od povrchu (dále jen  $R_a$ ), která by měla dosahovat hodnot  $R_a = 1,6$  a lepších.

Sonda 10 N se již používá jako ruční. Ve zkrácené verzi, kdy je elektronická část sondy umístěna v samostatném pouzdře, dosahuje její délka 90 mm. Výsledek měření není příliš závislý na kolmosti k měřené ploše. Tím umožňuje měřit tvrdost i na místech, která byla dříve pro ostatní technologie nepřístupná, jako jsou například díry a zahloubení. Vyrábí se i v prodloužené verzi, která naopak umožňuje měření na místech jako jsou boky ozubení nebo hluboké drážky.

Zatěžovací síla 98 N má největší vpich a vyžaduje tedy nejmenší přípravu povrchu, proto je vhodná na zkoušení odlitků nebo tepelně ovlivněných pásem svaru.

### 2.1.2 Měření tvrdosti elektrickým odporem

Jedná se o poměrně novou metodu patentovanou švýcarskou firmou Ernst. Při měření se napřed umístí na testovaný objekt pomocná elektroda, její přichycení je řešeno pomocí magnetu. Poté je do zkoušeného dílu vtlačen indentor stejně jako u ostatních vnikacích zkoušek tvrdosti. Používá se čtyřboký diamantový jehlan, který má pokovený povrch. Při zkoušce protéká mezi pomocnou elektrodou a indentorem elektrický proud. Přístroj pak vyhodnocuje elektrický odpor na rozhraní mezi vakacím tělískem a zkoušeným materiálem, z něho pak vypočítá tvrdost.



Obr. 2.3 Měření tvrdosti elektrickým odporem (9)

Podle výrobce je touto metodou možno měřit vnitřní průměry děr od průměru 15 mm, nebo boky ozubených kol s modulem větším než 2.

Přístroje firmy Ernst s touto technologií se v současné době teprve dostávají na trh a podrobnější princip fungování měření tedy zatím není k dispozici.



## 2.2 Měření tvrdosti na neobrobených plochách

Odlitky, výkovky a jiné polotovary větších rozměrů s neopracovaným povrchem a hrubozrnnou strukturou neodmyslitelně patří ke strojírenské výrobě. Vzniká ale problém při ověřování jejich mechanických vlastností.

Při určování tvrdosti na velkých neopracovaných polotovarech dochází k ovlivnění výsledků měření mnoha vlivy, největší mírou ho ovlivňuje  $R_a$  povrchu, s rostoucí  $R_a$  klesá přesnost měření. U hrubozrnných nehomogenních materiálů, jako je například šedá litina, se tvrdost prudce mění v závislosti na struktuře kterou právě měříme.

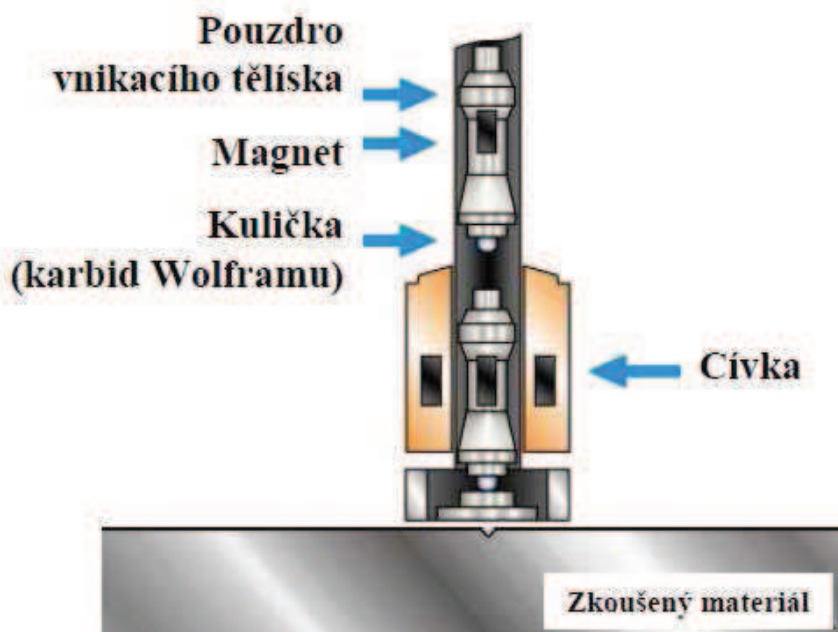
Další problém skýtá velikost měřené součásti, v případě odlitků a výkovků dosahuje jejich hmotnost často několika tun a manipulace s nimi se tak stává obtížnou.

Pro vyřešení těchto problémů potřebujeme lehký mobilní tvrdoměr s co největší plochou otisku, který eliminuje výše zmíněné nepříznivé vlivy.

### 2.2.1 Dynamická metoda

Dynamickou metodu měření tvrdosti vynalezl v roce 1975 D. Leeb. Princip spočívá ve vystřelení indentoru (kuličky) předem určenou kinetickou energií proti měřenému materiálu. Při nárazu dojde k deformaci závislé na tvrdosti materiálu a jeho modulu pružnosti, která odebere zkušební kuličce část energie a odrazí ji zpátky. Čím je materiál měkčí, tím větší je ztráta energie.

Rychlost kuličky je měřena bezkontaktně. V jejím těle je umístěn magnet, ve spodní části sondy je cívka, při průchodu kuličky se indukuje elektrické napětí, které je přímo úměrné její rychlosti.



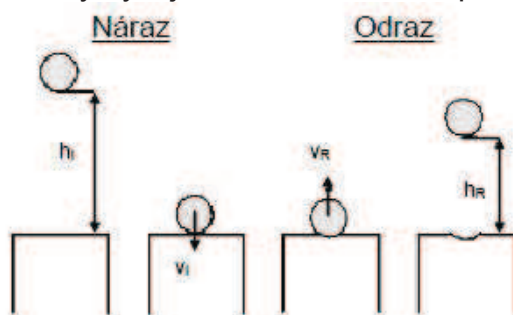
Obr. 2.4 Průřez dynamickou sondou (6)

Tvrdotost materiálu se tedy vyjadřuje jako podíl rychlosti tělíska před a po nárazu. Označuje se  $L$  jako tvrdost podle Leeba (viz. rce 4.1).

$$L = \frac{v_R}{v_I} \cdot 1000 \quad [HL] \quad (4.1)$$

$V_R$  a  $V_I$  jsou rychlosti kuličky před a po nárazu na testovaný povrch. Pro velmi měkký materiál se bude hodnota  $V_I$  téměř rovnat hodnotě  $V_R$ , energie nárazu bude pohlcena elastickou deformací a tvrdost dle Leeba se bude blížit 1000 HL. Se vzrůstající tvrdostí materiálu se bude zvětšovat podíl plastické deformace a hodnota  $L$  se bude zvyšovat.

Jednotka HL sice určuje tvrdost dle dynamické metody, ale v praxi se s ní příliš často nesetkáme. Pro lepší porovnatelnost a informační hodnotu je většinou po měření konvertována na rozšířenější stupnici tvrdosti (HRC, HRB, HV apod.), převodní tabulky bývají součástí měřicího přístroje.



Obr. 2.5 Princip dynamické zkoušky tvrdosti (6)

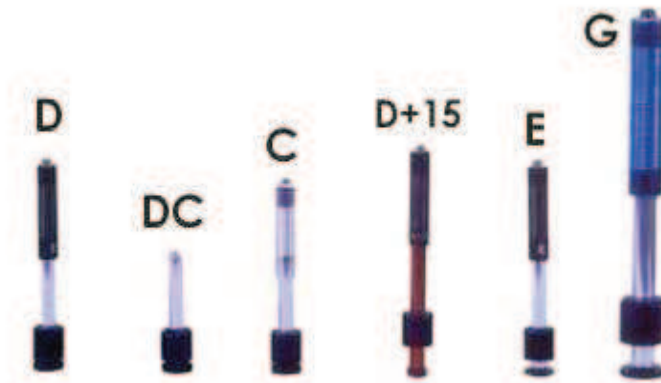
Problém u měření dynamickou metodou je značná ovlivnitelnost výsledků vnějšími vlivy. Rychlost letící kuličky při měření z úhlu nebo ze spodní strany součásti bude v porovnání se svislým směrem měření do značné míry ovlivněna tíhovým zrychlením (gravitací), výsledek se tak může zkreslit až o 15%. Kompenzace směru měření se provádí několika způsoby.

První způsob je kompenzace po měření. Pomocí tabulek se stanovenými koeficienty se naměřená hodnota ručně přepočítá. Tato metoda je pomalá a může vést k chybám vzniklým špatným odečtením hodnot z tabulky nebo nepřesným výpočtem.

Druhý způsob je kompenzace před měřením. Do přístroje se ručně zadá poloha měření, výslednou hodnotu již pak přístroj přepočítá sám. Zde dochází ke vzniku nepřesností vlivem odchylky skutečné polohy od polohy zadané.

Třetí způsob je automatická kompenzace. Technologií automatické kompenzace směru měření jsou v současné době vybaveny pouze tvrdoměry firmy Krautkramer. Kromě velikosti indukovaných napětí na cívce se měří i jejich fáze, podle které přístroj určí svoji polohu a automaticky provede její kompenzaci, obsluha se tak již o směr měření nemusí vůbec starat.

Metoda používá pro měření několik druhů sond, které jsou normalizované dle normy ASTM A 956-00



Obr. 2.6 Měřicí sondy dle ASTM A 956-00 (7)

Kulička u sond D, DC a C má průměr 3 mm a je vyrobena z karbidu wolframu, u sondy dyna E je diamantová s průměrem také 3 mm. V případě sondy G je kulička opět z wolframu, tentokrát o průměru 5 mm.

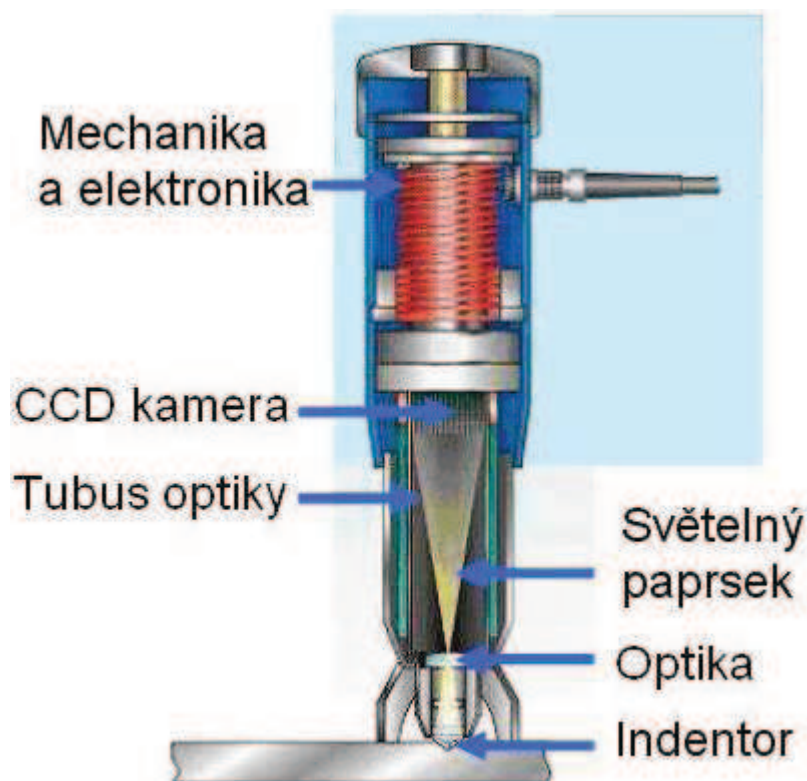
Tab. 4.1 Měřicí sondy dle ASTM A 956-00

Sonda	Popis, použití
D	Základní sonda pro běžné aplikace – zkoušky tvrdosti ocelových a litinových odlitků, výkovků, hliníkových a měděných slitin
DC	Speciální sonda pro měření ve stísněných místech (např. vývrtech)
D+15	Štíhlá sonda pro měření ve špatně přístupných místech (např. drážky)
G	Zvětšené rozměry a nárazová energie, použití na rozměrnějších a hmotnějších dílech
C	Sonda se zmenšenou nárazovou energií pro malé a tenké díly
E	Sonda s diamantovým vnikacím tělískem pro měření tvrdých materiálů

### 2.3 Měření tvrdosti na malých a tenkých dílech

Zjišťování tvrdosti na dílech malých rozměrů klade specifické požadavky na technologii měření. Jedná se především o co nejmenší rozměr vpichu, který by nebyl u tenkých dílů ovlivněn deformací měřené součásti. Tyto požadavky splňuje optická metoda měření tvrdosti.

Optická metoda měření tvrdosti TIV, z anglického Through Indenter Viewing (pohled „skrz“ diamant), využívá k měření průhledný diamantový jehlan s vrcholovým úhlem  $136^\circ$ , za kterým je umístěna kamera s optikou, která v reálném čase snímá místo vtisku. Obsluha tak může sledovat celý průběh zkoušky a hodnotit spolehlivost měření, sleduje se poloha diamantu, deformace a neostrosti hran vpichu.



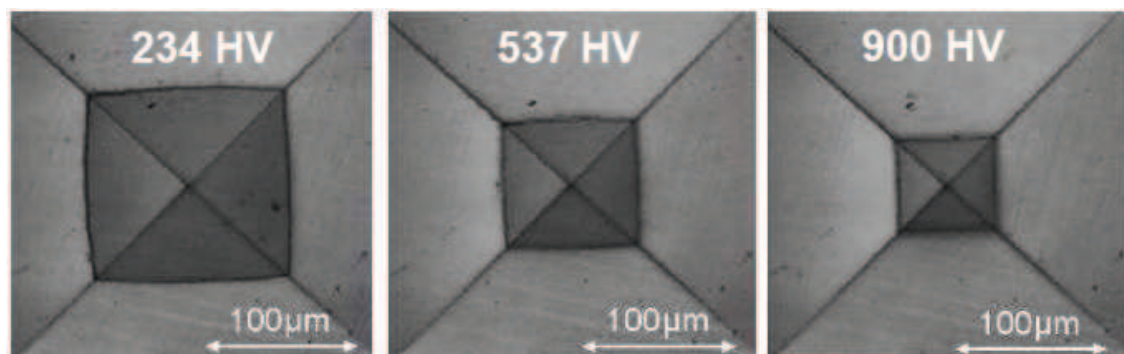
Obr. 2.7 Průřez TIV sondou (6)

Tvrdot materiálu se vyhodnocuje na základě přímého měření úhlopříček při zatížení. Výsledek tedy není závislý na modulu pružnosti materiálu. Díky tomu tedy nemusíme měřicí přístroj kalibrovat, z čehož vyplývá, že metodou TIV můžeme měřit i materiály u nichž neznáme modul pružnosti.

Zařízení pracuje se zatížením 10 N nebo 50 N, které je vyvíjeno ručně a regulováno pomocí mechanismu přístroje. Jakmile se dosáhne požadovaného zatížení, přenos obrazu se zastaví a začne se vyhodnocovat výsledný vtisk.

Zařízení obsahuje obslužný software, který po dosažení zkušebního zatížení orámuje na základě kontrastních přechodů obvod vpichu, změří úhlopříčky takto vzniklého čtverce, a vypočítá z nich výslednou tvrdost. Odpadá tedy měření vtisku mikroskopem, se kterým byly spojeny další nepřesnosti a chyby měření. V případě, že by software vyhodnotil a orámoval obvody vpichu špatně, umožňuje provádět i manuální kompenzaci.

Díky statickému zatížení nejsou výsledky metody TIV příliš ovlivněny geometrií a rozměry zkoušeného tělesa. Lze jí testovat i tenké plechy o tloušťce 0,2 mm.



Obr. 2.8 Zobrazení vpichu metodou TIV při různých tvrdostech materiálu (6)

### 3 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ TVRDOSTI NA SOUČASTNÉM TRHU

Na trhu existuje nepřeberné množství přístrojů měřících tvrdost, liší se od sebe jednak použitou technologií měření a jednak svojí mobilitou a to na přístroje stolní a přenosné.

#### 3.1 Přenosné tvrdoměry

Jde o malé kapesní přístroje, se kterými se snadno manipuluje. Obzvláště dobře se uplatní při měření dílů, které by se pro svoji velikost nedali testovat stolními tvrdoměry pro měření na špatně přístupných místech nebo pro rychlé zjištění tvrdosti bez nutnosti kamkoliv přepravovat testovaný materiál.

##### 3.1.1 DynaPOCKET

Jedná se o kapesní přístroj pro měření tvrdosti dynamickou metodou od výrobce Krautkramer. Vlastnostmi testu odpovídá sondě Dyna D (viz. kapitola 2.2.1). Jde o velmi kompaktní přístroj kde je zkušební hlavice i vyhodnocovací zařízení přímo v těle přístroje, odpadá tedy propojování kabely. Celé zařízení je dlouhé 170 mm a váží 200 gramů. Naměřené hodnoty se zobrazují na čtyřmístném LCD display. DynaPocket má velmi jednoduché ovládání ke kterému slouží jen dvě membránová tlačítka. Pro kalibraci je na výběr z devíti materiálových skupin. Přístroj může počítat aritmetický průměr z více měření, nemá ale vnitřní paměť pro dlouhodobé uchování výsledků.

Výslednou tvrdost přepočítá a zobrazí v jedné ze sedmi volitelných stupnic tvrdosti (HL, HV, HB, HRB, HRC, HS, N/mm<sup>2</sup>). Přesnost měření je  $\pm 4$  HL. Rozsah 150 až 1 000 HL (75 - 1000 HV, 75 - 700 HB, 20 - 70 HRC, 250 - 2 200 N/mm<sup>2</sup>). Přístroj má automatickou kompenzaci směru měření. O napájení se starají dvě vyměnitelné baterie, doba provozu na jedno nabití je 4000 měření.



Obr. 3.1 Tvrdoměr DynaPOCKET (6)

### 3.1.2 Tvrdoměr TIV

TIV tvrdoměr využívá principu optického měření tvrdosti (viz. kapitola 2.3). Je dodáván s ruční sondou 10 N nebo 50 N. Ta je propojena kabelem s ovládacím zařízením. Vpich je zobrazován v reálném čase na barevném dotykovém displeji.

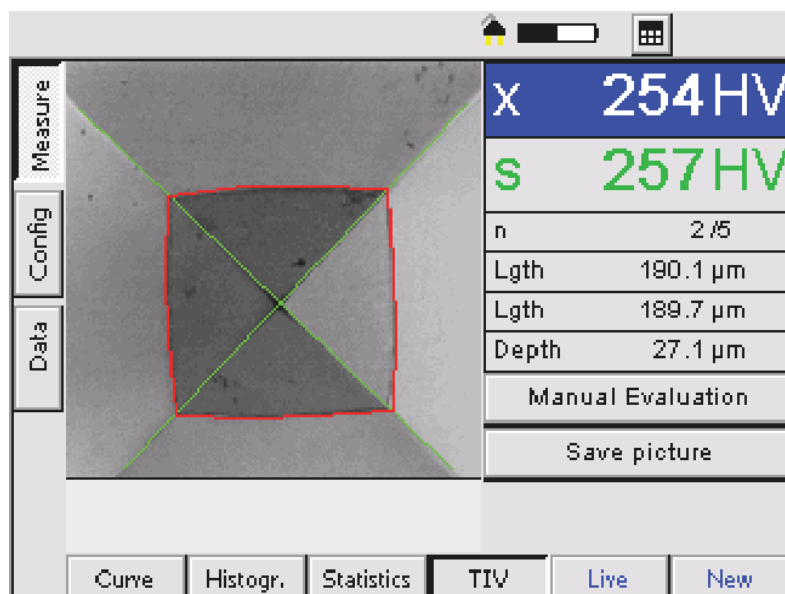


Obr. 3.2 Tvrdoměr TIV (8)

Zařízení pracuje na operačním systému Windows CE. Dokáže statisticky zpracovávat výsledky měření, převádět je do grafu a vytvářet z nich histogramy. Virtuální klávesnice umožňuje popis jednotlivých souborů. Přenos dat do PC je zajištěn zabudovanou síťovou kartou a sériovým portem. Při připojení tiskárny lze výsledky měření přímo tisknout.

Výslednou tvrdost může přístroj zobrazit v pěti stupnicích (HV, HRC, HRB, HS, N/mm<sup>2</sup>), u každé stupnice jsou dále na výběr tři stupně přesnosti.

Celý přístroj váží 1,4kg včetně akumulátoru, který dokáže přístroj napájet po dobu pěti hodin, tvrdoměr lze napájet i pomocí síťového zdroje. Rozsah měření pro 50 N sondu je od 100 HV do 1000 HV.



Obr. 3.3 Obrázek TIV tvrdoměru (6)

### 3.1.3 Příslušenství k přenosným tvrdoměrům

K mobilním tvrdoměrům se dodává rozsáhlé příslušenství, které usnadňuje a zpřesňuje měření. Jedná se o různé stojánky na uchycení měřicího přístroje a testovaného dílu. Přenosný tvrdoměr tak může sloužit i jako tvrdoměr stacionární. Dále jde o doplňkový software, který rozšiřuje možnosti přístroje nebo o nástroje na úpravu povrchu před měřením.

Několik příkladů

- prizma pro měření válcových ploch
- nástavec pro měření na kulových plochách
- kleště pro měření malých dílů a plechů
- podstavec pro měření rovných a tenkých dílů
- stativ pro měření na přesně definovaném místě
- univerzální stojánek
- akumulátorová sada pro zabrušování povrchu
- přenosná tiskárna
- software pro vytváření vlastních kalibračních křivek
- software pro práci s daty, grafické znázornění a statistiku



Obr. 3.4 Příslušenství k mobilním tvrdoměrům, zleva kleště pro měření malých dílů a stojánek s prizma pro měření válcových ploch (6)



## 3.2 Stolní tvrdoměry

Nacházejí uplatnění v laboratořích, oddělení výstupní kontroly nebo v hromadné výrobě, kde můžou fungovat i zcela automatizované v rámci výrobní linky. V poslední době ale vlivem minimalizace a nových metod měření jejich počet na trhu klesá na úkor přenosných tvrdoměrů.

### 3.2.1 Tvrdoměr AT 300

Tvrdoměr AT 300 patří mezi moderní stolní tvrdoměry. K měření používá Rockwellovu metodu ve všech stupnicích normalizovaných v České republice (HRA, HRB, HRC) i zahraničí (HRD, HRF, HRG). Výsledky je dále možno převést do stupnic HB,  $\text{kg/mm}^2$ ,  $\text{N/mm}^2$ . Výrobce může na přání zákazníka přidat do přístroje i převodní vztahy pro další stupnice.

Tvrdoměr má motorizované všechny posuvy i vyvíjení zkušebního zatížení. Je schopen provádět až 1000 zkoušek za hodinu. Může být integrován v automatické výrobní lince, ve které je schopen vydávat rozhodnutí o vyřazení nevyhovujících výrobků. Paměť přístroje může uchovat záznam až o 4700 měřeních.

Ve základně tvrdoměru je úložný prostor pro příslušenství, které zahrnuje vnikací tělíska pro jednotlivé druhy zkoušek a prizmatické podložky pro měření válcových dílů.



Obr. 3.5 Tvrdoměr AT 300 (9)

### 3.3 Modernizace tvrdoměrů

Díky vzrůstajícím požadavkům na kvalitu materiálu, nástupu nových technologií, přijímání norem ISO a vzrůstajícímu objemu strojírenské výroby rostou i požadavky na měření tvrdosti a tím na samotné tvrdoměry. Přístroje zastarávají, nedokáží již splňovat požadavky na přesnost a rychlost měření, ale ne každý uživatel má dost finančních prostředků na jejich vyřazení a nákup nových tvrdoměrů. A právě těmto lidem vychází vstříc firmy zabývající se renovací a modernizací tvrdoměrů.

Většina starších tvrdoměrů je vybavena zastaralou elektronikou a nevyhovujícím řízením pohonu, ale rám stroje stále poskytuje dostatečnou tuhost a pevnost pro přesné měření. Starší systémy většinou neumožňují ukládání naměřených dat, jejich přenášení ani zpětné vyhodnocování.

Modernizací tvrdoměrů se prodlužuje jejich životnost, zvyšuje se přesnost a rozsah použití. Důležitá je hlavně finanční úspora v porovnání s pořizovací cenou nových přístrojů.

#### 3.3.1 Renovace mechanické části

Mechanické části tvrdoměrů nezastarávají tak rychle jako části elektronické. Nemusí se tedy zcela nahradit novými, ale přistupuje se jen k jejich renovaci. Ta spočívá především v těchto operacích

- kontrola tuhosti rámu stroje
- vymezení vůli převodů
- kontrola pohonů a jejich případná výměna za servopohony
- vybavení stroje novými snímači dráhy a síly
- přetěsnění čerpadel a hydraulických částí
- zabudování případné optiky a nových vyhodnocovacích systémů

#### 3.3.2 Modernizace elektronických částí

Elektronické části stroje bývají při modernizaci zcela nahrazeny novou výkonnou externí jednotkou propojenou s počítačem. To umožní spolu s osazením nové měřicí a řídicí elektroniky přesné a rychlé zjištění výsledků. Díky propojení s počítačem je možné výsledky uchovávat a dále statisticky zpracovávat, vytvářet grafy a získané hodnoty dále exportovat.

## ZÁVĚR

V poslední době bylo vyvinuto několik nových metod měření tvrdosti. Tyto nové technologie přispěly především k miniaturizaci a zpřesnění mobilních tvrdoměrů, které zřejmě začnou částečně nahrazovat tvrdoměry stolní. Zároveň se již díky nim dají realizovat i měření, která by byla v dřívější době neuskutečnitelná.

Jako významný přínos do oblasti měření tvrdosti bych označil metodu TIV, která umožňuje měřit tvrdost zcela nezávisle na modulu pružnosti materiálu. Velkou inovací také může být nová technologie měření tvrdosti pomocí elektrického odporu a to především svojí jednoduchostí obsluhy a malými nároky na přístup k měřenému místu.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
2. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
3. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
4. KATARZYNSKI, S. Údržba a opravy tvrdoměrů. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. 172 s.
5. FRANK, Stefan. PORTABLE HARDNESS TESTING – PRINCIPLES AND APPLICATIONS [online]. Barcelona : ECNDT, 2002 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.ndt.net/article/ecndt02/109/109.htm>>.
6. Testima - přístroje a metody pro nedestruktivní kontrolu materiálů a součástí [online]. 2006 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.testima.eu/>>.
7. Corvib - Precision Measurement Instruments [online]. 2008 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.corvib.com/>>.
8. Team Trade d.o.o [online]. 2009 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.team-trade.si/>>.
9. Rockwell Hardness Testers, Brinell Hardness Testers, Vickers Hardness Testers, Portable Hardness Testers, Bench Hardness Testers, Metal Hardness Testers, Härteprüfer, Duromètres, Durometri [online]. 2009 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.ernstsa.com/>>.
10. ConVERTER = převody jednotek [online]. 2009 [cit. 2009-05-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.converter.cz/>>.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
R <sub>a</sub>	μm	Průměrná aritmetická odchylka povrchu
L	HL	Tvrдост dle Leeba