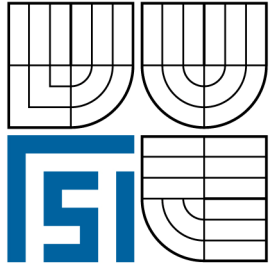


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# ZKOUŠKY TVRDOSTI, ÚČEL A VYUŽITÍ VE STROJÍRENSTVÍ

TEST HARDNESS IN THE CONDITIONS OF ENGINEERING COMPANY

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**HYNEK DUBA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MILAN KALIVODA**

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/10

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Duba Hynek

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:

### **Zkoušky tvrdosti, účel a využití ve strojírenství.**

v anglickém jazyce:

### **Test hardness in the conditions of engineering company.**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obecné rozdělení zkoušek tvrdosti. Podrobné pojednání o hlavních typech (Brinell, Vickers, Rockwell). Využití v průmyslu (malé firmy versus velké). Srovnání a doložení konkrétními případy.

Cíle bakalářské práce:

Zpřehlednit využití zkoušek tvrdosti ve strojírenských firmách. Doložit konkrétními situacemi.

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.

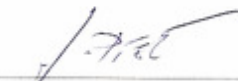
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá stručným přehledem, zaměřeným na v dnešní době nepoužívanější metody zkoušek tvrdosti. Zaměřuje se také na využívání těchto metod v praxi a průzkum provádění těchto metod na Jihlavsku. Srovnání využití metod mezi malými a velkými společnostmi.

**Klíčová slova**

Tvrдост, zkoušky, Brinell, Rockwell, Vickers, firma

**ABSTRACT**

This Bachelor thesis gives brief survey focused on the most used methods of hardness testing. It also focuses on using these methods in practice and research on conducting these methods in the Jihlava region. It also includes comparison between large and small companies regarding using the methods.

**Key words**

Hardness, test, Brinell, Rockwell, Vickers, company

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DUBA, Hynek. Název: Zkoušky tvrdosti, účel a využití ve strojírenství. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 38 s., 9 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Zkoušky tvrdosti, účel a využití ve strojírenství vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

26.05.2010

Hynek Duba

## **Poděkování**

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi, prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc., všem zástupcům firem, které semnou spolupracovali za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce

**OBSAH**

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	8
1 HISTORIE A PODSTATA ZKOUŠEK TVRDOSTI.....	9
1.1 Historie.....	9
1.2 Tvrdost.....	9
1.3 Podstata.....	10
2 POJEDNÁNÍ A RIZDĚLENÍ ZKOUŠEK TVRDOSTI.....	11
2.1 Brinell.....	11
2.1.1 Zkušební podmínky.....	12
2.1.2 Použití zkoušek Brinella.....	14
2.1.3 Měřicí zařízení.....	14
2.2 Vickers.....	15
2.2.1 Použití zkoušek podle Vickerse.....	16
2.2.2 Měřicí zařízení.....	16
2.3 Rockwell.....	17
2.3.1 Zkušební podmínky.....	17
2.3.2 Použití zkoušek podle Rockwella.....	19
3 TYPICKÉ VYUŽITÍ V PRŮMYSLU.....	20
3.1 Po tepelném zpracování.....	20
3.2 Při vstupní kontrole.....	20
3.3 V laboratořích.....	20
3.4 V extrémních podmínkách.....	20
4 PRAKTICKÉ SITUACE V DANÝCH FYRMACH.....	21
4.1 IMG s.r.o. slévárna přesného lití.....	21
4.2 VMV s.r.o.....	22
4.3 Moravské kovárny a.s.....	22
4.4 Bosch Diesel s.r.o. Jihlava.....	24
4.5 Srovnání mezi firmami.....	25
Závěr.....	27
Seznam použitých zdrojů.....	28
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	29
Seznam příloh.....	30

## ÚVOD

V dnešní náročné době je prosazení společnosti na trhu výroby náročné ve všech oborech a nejen strojírenství. Je pro společnost velice důležité klást důraz na zvyšování kvality a zrychlování výroby. K tomu, aby firmy mohly zvyšovat kvalitu svých produktů, je důležité nejen zvyšovat kvalitu své výroby, ale také je důležité zvyšovat kvalitu měření. Ke kontrole jakosti výroby je celá řada možností, přes měřicí dílenské stanice, zřízení vlastních laboratoří nebo možností využití externích laboratoří.

Dnes už je zcela nezbytné využití základních měřících systémů v běžných strojírenských podmínkách, jako je mikrometr, kalibry, posuvná měřítka, mikroskopy atd. Dále je také nutné provádět kontrolu, u které je kladen větší důraz na specializaci pracovníka, s tím je spojeno zařízení vlastního pracoviště pro provádění kontroly. K takovéto kontrole jakosti patří zkoušky tvrdosti, které jsou předmětem této práce.

Přesnější zaměření této práce je, průzkum čtyř firem na Jihlavsku, které byly ochotny spolupracovat na tomto výzkumu. Výzkum byl směřován, ke zjištění rozdílu provádění zkoušek tvrdosti mezi těmito firmami, největší důraz byl kladen na rozdíl mezi velkými a malými.



## 1 HISTORIE A PODSTATA ZKOUŠEK TVRDOSTI

Nahlédnutí do historie a vývoje zkoušek tvrdosti. Definice pojmu tvrdost a podstata zkoušení.

### 1.1 Historie

V roce 1891 navrhl Kirsch vtažení indentoru kruhového průřezu s rostoucí silou do okamžiku, kdy je zjištěn první trvalý vtisk. Tlakové napětí v okamžiku vtisku určovalo tvrdost. Následný vývoj směřoval ke zjištění souvislosti mezi tvrdostí a mezí kluzu. Z tohoto důvodu bylo prováděno vícestupňové zatěžování kuličkou ve stejném místě, po zatížení bylo prováděno rekrytalizační žíhání. Cyklus byl opakován do chvíle, kdy se vtisk více nezvětšoval. Tvrdost – Hanriot 1912 byla určena z dosaženého rozměru vtisku. [1]

Další důležitou osobou v této oblasti byl Johan August Brinell, který v roce 1871 absolvoval technickou školu Borås a v dalších pěti desetiletí pracoval ve švédském ocelářském průmyslu. „V letech 1882 – 1903 byl vrchním inženýrem oceláren Fagersta. Zde prováděl své první výzkumy strukturních změn při ohřevu a ochlazování. Také porovnával na velkém množství vzorků vzhled lomové plochy“ Gruber [2]. V roce 1900 v Paříži poprvé přestavil přístroj pro měření tvrdosti. Dosud je používám jako jeden ze základních prostředků pro měření tvrdosti.

Bratři Albert a Edward Rockwellovi založili firmu na výrobu domovních zvonků. K domovním zvonkům postupně přibývali další produkty, a v roce 1908 výroba valivých ložisek. Albertův syn Hugo spolupracoval v továrně svého otce s metalurgem Stanley Pckettem Rockwellem, který nebyl v přímém příbuzenském vztahu se svými zaměstnavateli, na novém přístroji, jenž by byl schopen snadno a rychle stanovit tvrdost zakřivených součástí valivých ložisek. Brinellova zkouška nebyla vhodná pro toto měření. „Metoda obou bratří se do dnes nazývá Rockwelovou zkouškou. Patentovou přihlášku podali 15.7.1914. Patent jim však byl přiznán o pět let později 11.2.1919.“ [3]

Zkoušku tvrdosti podle Vickerse vyvinuli v roce 1922 Smith a Sandland v továrně Vickers Ltd. Je to alternativa Brinellovi zkoušky, která je mnohdy snadnější a rychlejší. Továrnu Vickers Ltd, podle které nese zkouška název, založil v Sheffieldu jako ocelovou slévárnu Miller Edward Vickers a jeho tchán Geotge Naylor v roce 1828.

### 1.2 Tvrdost

Tvrdost předmětu je člověkem subjektivně vnímána nervovým zakončením na povrchu těla. Nejčastěji jsou to konečky prstů na ruce. Podle tlaku, který vyvine, způsobí pružnou nebo plastickou deformaci na povrch. Všechny předměty, které je člověk chopen stlačit vnímá jako měkké, ty co není schopen silou deformovat, považuje za tvrdé. Technická tvrdost je vnímána trochu jinak. Není možné definovat tvrdost jako fyzikální veličinu, protože závisí na celé řadě vlivů. Nejčastěji je ovlivňována:

- Pružnými vlastnostmi
- Plastickými vlastnostmi
- Velikost síly působící na vnikací těleso
- Tvar, rozměry, tvrdost a modul pružnosti materiálu vnikajícího tělesa
- Zkušební teplota
- Vzdálenost mezi středem vtisku a okrajem zkušebního tělesa
- Doba působení zatížení a rychlost zatěžování

„Tvrdost je mechanická vlastnost materiálu vyjádřená odporem proti deformaci jeho povrchu vyvolaný působením geometricky definovaného tělesa.“ Veles [4]

Tvrdost možno vyjádřit jako funkci [4]:

$$H = f(e, P, F, T, t, v) \quad (1.1)$$

e – pružné vlastnosti zkoušeného kovu, zejména modul pružnosti E, G a K

P – plastické vlastnosti zkoušeného kovu, vratné schopnosti deformačního zpevnění

F – velikost síly působící na vtláčené tělísko

T – tvar, rozměry a tvrdost vláčeného tělíska

t – tření mezi vláčecím tělískem a zkoušeným kovem

v – rychlost pohybu vláčeného tělíska

### 1.3 Podstata

Při zkouškách tvrdosti nedochází k deformaci ve stejném smyslu jako u jiných mechanických zkoušek. Z tohoto důvodu jsou tyto zkoušky brány jako nedestruktivní. Při měření je ovlivněn jen velmi malý objem na povrchu zkoušeného kovu. Pomocí známých vztahů je možné zjistit jiné mechanické vlastnosti. Nečastěji je používána k zjištění pevnosti v tahu.

Zkouška tvrdosti je považována jako vtláčení indentoru (vnikacího tělíska) do zkoušeného materiálu předepsanou silou po stanovenou dobu. Jako vnikací tělísko se používají kalená kulička z tvrdokovu a diamantový čtyřboký jehlan. Tvrdost je poté určena z naměřeného vtláčeného průměru kuličky nebo úhlopříček jehlanu k poměru zatěžovací síly.

## 2 POJEDNÁNÍ A RIZDĚLENÍ ZKOUŠEK TVRDOSTI

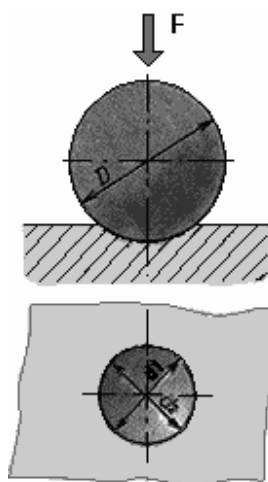
Zkoušky tvrdosti jsou v technické praxi velice rozšířené. Jejich nejčastější využití je při doplnění hodnot mechanických vlastností zjištěných zkouškou tahem a rázem v ohybu. Její největší předností je jednoduchost a také to, že ve většině případů není nutné zhotovovat zvláštní zkušební těleso. Tvrdost můžeme určovat přímo na výrobku nebo na vyhodnocené zkušební tyči z jiných zkoušek. Zkoušky tvrdosti můžeme provádět několika způsoby: vnikací, vrypové, odrazové a kyvadlové.

- **vnikací** metoda, jejímž měřítkem tvrdosti je velikost plastické deformace (*Brinell, Vickers, Knoop*), nebo metody s elasticko plastickou deformací (*Rockwell*). „Tvrdost u vnikacích metod je definována jako odpor proti vnikání cizího tělesa.“ [5] Vnikací těleso je voleno jednoduchého geometrického tvaru, pro jednoduchost a reprodukovatelnost jejich výroby. Tvrdost u vnikací metody je definována jako poměr mezi zatížením a plochou vtisku.
- **vrypová** metoda, „ta spočívá v tažení raménka opatřeného diamantovým hrotem ( s vrcholovým úhlem  $90^\circ$  ) po vyleštěném povrchu zkušební vzorku a měření šířky výsledného vrypu. Číslom tvrdosti bylo aplikované zatížení, které na povrchu vzorku vytvořilo vryp široký 0,1 mm.“ [6] Tyto metody nejsou normalizované a v praxi málo využívané.
- **odrazová** metoda „spočívá v odrazení padajícího tělesa určitého tvaru a hmotnosti od zkoušeného vorku.“ [4] Část energie je spotřebována vytvořením jamky ve zkoušeném vzorku. Zbylá energie je využita k pružnému odrazu a vymrští zkušební těleso do určité výšky. Výška odrazu určuje tvrdost materiálu (*Shorova metoda*). Metoda je nejvíce využívána na zkoušky velmi tvrdých materiálů.
- **kyvadlová** metoda při ní se využívá úbytek energie kyvadla, který rozšiřuje předem vytvořený výtlaček kuličky ve zkušebním materiálu. Tato metoda se v současné době v praxi nevyužívá.

V dalších podkapitolách je podrobněji pojednáno o normalizovaných, v současné době nejvyužívanějších, zkouškách tvrdosti Brinell, Rockwell, Vickers.

### 2.1 Brinell

Binellova zkouška tvrdosti patří mezi nejrozšířenější zkoušky tvrdosti. Metoda je založena na vtlačení ocelové kalené kuličky o průměru  $D$  na povrch zkoušeného tělesa silou  $F$  obr. 2.1. Síla směřuje kolmo k měřenému povrchu po stanovenou dobu. Po odlehčení se změří průměr vtisku. „Hodnota Brinellovi tvrdosti HB je dána poměrem zatěžující síly  $F$  a povrchu vtlačeného kulového vrchlíku  $A$ “ [4]



Obr. 2.1 zkouška tvrdosti podle Brinella [7]

Brinellova tvrdost [4]:

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi D \cdot h} \quad (2.1)$$

Povrch kulového vrchlíku [4]:

$$A = \pi D \cdot h = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \quad (2.2)$$

$h$  – hloubka trvalého vtisku v mm

$F$  – síla vyjádřená v N

Tvrdost podle Brinella po dosažení [4]:

$$HB = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.3)$$

Při zkoušce je možno vypočítat tvrdost podle daného vzorce, ale v praxi z měřeného průměru kuličky a zatěžovací síly je výsledek odečítán z tabulek. Zkouška se provádí při teplotě  $20_{-10}^{+15}$  °C. pokud je zkouška prováděna při jiné teplotě, je nutné teplotu uvést v protokole o zkoušce.

### 2.1.1 Zkušební podmínky

Aby bylo možné normalizovat Brinellovu metodu je nutné dodržovat zkušební podmínky. Pro volbu podmínek je rozhodující:

- průměr kuličky
- velikost zatěžující síly
- rychlost zatížení kuličky
- doba zatížení

#### Volba průměru kuličky

Kuličky jsou vyrobeny z kalené chromové oceli nebo ze slinutých karbidů. Mají přesný kulovitý tvar a přesný rozměr, který udává norma ČSN 42 0371 D = 10, 5, 2,5, 2, 1 mm. Průměr kuličky je volen tak, aby deformovaná oblast

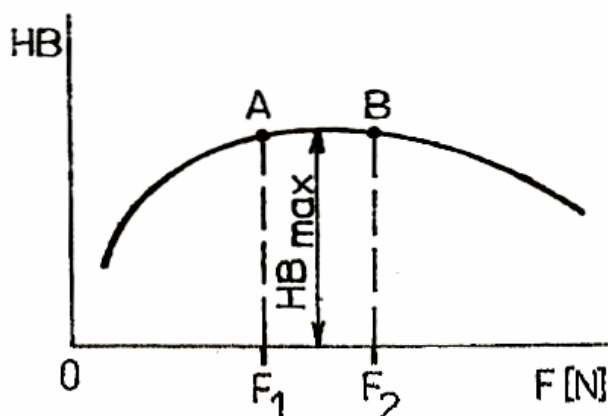
(zpevnění kovu pod výtlačkem) proběhla pouze ve zkoušeném vzorku. Proto nejmenší tloušťka tělesa musí být nejméně desetinásobek hloubky vtisku, aby toto bylo zaručeno.

Je také nutné dbát na vzdálenost okraje výtlačku od kraje zkoušeného předmětu. Z důvodu šíření plastické deformace na povrchu vzorku do určité vzdálenosti od okraje vtisku. Aby výsledek zkoušky nebyl ovlivněn okrajem zkoušeného tělesa. „Musí být vzdálenost okraje od středu vtisku 2,5 d a vzdálenost mezi středy dvou sousedních vtisku 4 d.“ [8]

Důležité je zvolit průměr kuličky tak aby vtisk byl přes velký počet zrn. Pokud by byl malý počet zrn, naměříme tvrdost těchto zrn. Ta může mít jinou tvrdost než měřený materiál.

### Volba zatěžující síly

Tvrdost HB je závislá na velikost zatěžující síly. Při konstantním průměru kuličky na stejném materiálu, při měnící se zátěžné síle je naměřené rozdílná tvrdost HB. Při vynesení hodnot do grafu zjistíme, že průběh mezi silou a tvrdostí není lineární, jak je patrné z obr. 2.2. Vysvětleno je tím, že tvar vtisku při konstantním zatížení nezachovává geometrickou podobnost.



Obr. 2.2 závislost tvrdosti podle Brinella na zatěžující síle [8]

Z obr. 2.2 vyplývá, že křivka tvrdosti má mezi body A, B ploché maximum, ve kterém se hodnoty tvrdosti jen málo mění se změnou zatěžující síly. V rozmezí zatěžujících sil  $F_1$ ,  $F_2$  platí, že bude měřená tvrdost maximální. Empiricky se zjistilo, že se tento stav dosáhne, bude-li průměr vtisku  $d$  v rozsahu již dříve uvedeného rozmezí (0,25 až 0,6). $D$ . Aby bylo možné navzájem porovnávat hodnoty tvrdosti měřené při různých průměrech kuličky a při různých zatěžujících silách, musí se zachovat geometrická podobnost vtisku. Princip geometrické podobnosti je vyjádřen vztahem (2.4). [6]

Princip geometrické podobnosti [8]

$$F = K \cdot D^2 \quad (2.4)$$

$K$  – konstanta podle druhu materiálu. Např. pro železo, ocel, litinu a vysoko pevné slitiny  $K = 30$ , pro měď, nikl a jejich slitiny  $K = 10$ .

### Volba rychlosti a trvání zatížení

Pro správný průběh zkoušky je důležitá správná doba zatížení. Při plném zatížení indenter nadále vniká do zkoušeného materiálu, to je závislé na průběhu zpevňování a relaxačních procesů. „Na to, aby při plném zatížení pod stlačenou kuličkou proběhl plastický tok, je třeba určitý čas, který je nazván doba zatížení.“ [4] Čas zatížení je volen v takovém rozsahu, aby neovlivnil výsledky měření. Z praktických důvodů je při měření stanoven co nejkratší čas. Z tohoto důvodu je doba zkoušek stanovena v příslušných normách a pohybuje se v závislosti od tavicí teploty zkoušených kovů.

- Pro slitiny železa 10 až 15 s
- Pro neželezné kovy a jejich slitiny 10 až 180 s

### Označení tvrdosti podle Brinella

Tvrdost se mezinárodně označuje písmenem H, které vyjadřuje zkratku anglického slova hardness (tvrdost). Druhé písmeno vyjadřuje metodu měření. „Tvrdost měřená při normálních podmínkách  $F = 29430 \text{ N}$ ,  $D = 10 \text{ mm}$ ,  $t = 10 \text{ s}$ , je značena v platné normě ČSN 42 0371 jen značkou HB.“ [4] Pokud je zkouška prováděna za jiných podmínek než normálních, musí to být uvedeno v zápise tvrdosti. Zápis je proveden takto HB D/F/t z toho je patrné, zkouška provedena kuličkou o průměru 10 mm a zatěžující silou 3000 kg po dobu 30 s je zapsána ve tvaru HB 10/3000/30 = 240, hodnota 240 je naměřená tvrdost. Za číslem tvrdosti se jednotky neuvádějí.

#### 2.1.2 Použití zkoušek Brinella

Vhodné vyžití Brinellovi zkoušky na měkké a středně tvrdé materiály, které mají heterogenní strukturu. Využití na odlitky a hrubozrnou strukturu a pro výrobky s texturou po tváření. „Zkouška nevyžaduje velmi čistě upravený povrch a není vysoce citlivá na přesné dodržení správných zkušebních podmínek. Tvrdoměr Brinellův není tak citlivý na ořesy okolí jako tvrdoměr Rockwellův a zejména Vickersův.“ [8] Indetor je levný a snadno vyměnitelný. Brinellova zkouška je vhodná pro dílenskou kontrolu šedé litiny, tepelného zpracování oceli a správnosti dodaného materiálu. Ze zkoušky lze zjistit přibližnou mez pevnosti ta je daná vztahem (2.5).

Mez pevnosti z výsledku Brinellovi zkoušky [8]

$$R_m = k.HB \quad (2.5)$$

k – konstanta podle materiálu

Nevýhodou zkoušky je, že se nehodí pro velké tvrdosti, a není proto jednotná Brinellova stupnice tvrdosti od kovů nejtvrděších k nejměkčím.

#### 2.1.3 Měřicí zařízení

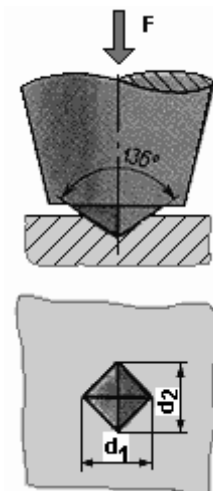
Na starších strojích viz. příloha 1 bylo nutné vše ovládat ručně. Přiblížit zkušební vzorek k indentoru, tak aby se ho dotkl. Poté pákou spustit závaží a po dané době opět odlehčit. Dále je nutné pod mikroskopem, nebo pod lupou změřit průměr visku a z poměru zatěžující síly vypočítat nebo z tabulek odečíst naměřenou tvrdost.

V dnešní době už je možno pouze vkládat zkušební vzorek. Další práce je vykonávána sama přístrojem viz příloha 2. Naměřené tvrdosti jsou přeneseny na připojený počítač a ukládány na disk. Tyto moderní postupy zpřesňují a zrychlují měření tvrdosti.

Dodnes je v praxi využíváno i starších přístrojů. Protože nákup nových moderních strojů by nebyl zcela výhodný. Blíže bude popsáno ve třetí kapitole.

## 2.2 Vickers

Zkouška podle Vickerse je založená na podobném principu jako Brinellova zkouška, původně byla známa jako Diamond Pyramid Hardness (DPH) test. Jen místo kuličky je jako indentor použit čtyřboký pravidelný jehlan s vrcholovým úhlem  $136^\circ$ . Zkouška podle Vickerse je značena zkratkou HV a tvrdost je vyjádřena jako poměr zatížení síly  $F$  k ploše povrchu vtisku (2.6), který se uvažuje jako pravidelný čtyřboký jehlan se čtvercovou základnou, s úhlopříčkami  $d_1$  a  $d_2$  s vrcholovým úhlem shodný s úhlem indentoru. Princip měření jen na obrázku 2.3.



Obr. 2.3 měření tvrdosti podle vickerse [7]

Vypočet vickersovi tvrdosti [4]

$$HV = \frac{F}{A} \quad (2.6)$$

Povrch výtláčku  $A$  [4]

$$A = \frac{d^2}{2 \cdot \cos 22^\circ} = \frac{d^2}{1,8544} \quad (2.7)$$

Po dosazení do vzorce (2.6) [4]

$$HV = 0,102 \frac{1,8544 \cdot F}{d^2} \quad (2.8)$$

$F$  – zatěžující síla v N

A – povrch výtlačku v mm<sup>2</sup>

d – úhlopříčka vyjádřená jako střední hodnota v mm

0,102 – konstanta  $\frac{1}{g} = \frac{1}{9,8}$

„Zkouška podle Vickerse má dvě rozdílné platné rozsahy mikrotvrdost (10 g až 1000 g) a makro tvrdost (1 kg až 100 kg), aby pokryli všechny zkušební požadavky.“ [9] indentor je stejného typu u obou zkoušek, proto jsou mnohdy zkoušky podle Vickerse spojeny do jednoho rozsahu tvrdosti kovů. Při různém zatížení na stejném materiálu jsou prakticky naměřeny stejné hodnoty tvrdosti. „Jen pokud se měří se zátěží menší jak 200 g je nutno měřit se zvýšenou opatrností, aby bylo možné porovnat výsledky.“ [9]

### **Označení měření podle Vickerse**

Pokud je zkouška prováděna za normálních podmínek je zapisována 800 HV, 800 je hodnota naměřené tvrdosti. Za normální podmínky prováděné zkoušky, je bráno „zatížení 294 N a trvání zatížení 10 až 15 s.“ [4] Pokud je při měření využito jiných podmínek je nutno zápis upřesnit. Pak je zápis napsán ve tvaru HV F/t, z toho plyne 800 HV 50/30 bylo naměřeno za těchto podmínek, zatěžující síla 490 N a doba zatížení 30s.

#### **2.2.1 Použití zkoušek podle Vickerse**

Pro měření Vickersovy zkoušky je nutné mít dobře připravený vzorek. Zkoušený vzorek musí být velice hladký a homogenních vlastností. Pokud je měřena hrubá nebo heterogenní struktura např. (šedá litina) je velká pravděpodobnost, že Vickersův mikroskopický vtisk zasáhne jen zrno jedné fáze. A to by byla změřena tvrdost pouze jedné fáze a ne celého vzorku. Proto tato metoda není vhodná pro měření hrubé a heterogenní struktury.

Při zkoušce vzniká velmi malý vtisk, proto je zkouška vhodná na zkoušení povrchu na čisto opracovaných výrobku, jako jsou na příklad ozubená kola, čepy, hřídele, ložiska a podobně. Metoda je též vhodná na měření tvrdosti tenkých předmětu a tenkých vrstev (cementovaných a nitrídaných). Výhodou zkoušky tvrdosti podle Vickerse je, že jde o extrémně přesné měření pomocí jednoho vnikajícího tělesa u všech měřených kovů. Přestože je zkouška přizpůsobena pro velmi přesné testování měkkých a tvrdých materiálu, při poměrném zatížení. Stroj Vickerse jako samostatně stojící jednotka je spíše dražší než Brenellovy a Rockwellovy stroje.

#### **2.2.2 Měřicí zařízení**

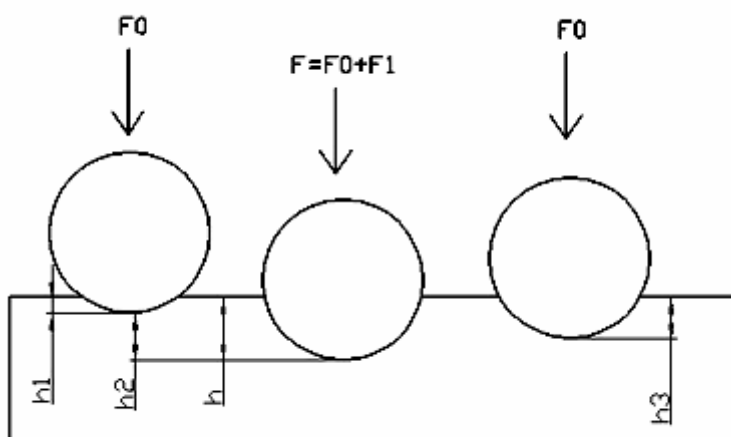
Stejně jako u Brinella jsou starší zařízení viz příloha 3, které je nutné ovládat lidskou silou. Postup zkoušky probíhá stejně jako u Brinella. Na moderních strojích viz příloha 4 kde je vše měřeno pomocí počítače, ve kterém jsou zkoušky uloženy a je možno si průběh a hodnotu tvrdosti kdykoli přečíst.



## 2.3 Rockwell

Tato zkouška se liší od předchozích tím, že tvrdost je určována z hloubky vtisku a ne z jeho povrchu. Jako indentor je použit buď diamantový kužel s vrcholovým úhlem  $120^\circ$  nebo ocelová kulička, požívané průměry jsou v tab. 2.1.

Postup měření tvrdosti podle Rockwella je znázorněn na obr. 2.4. Zkušební vzorek je položen na stůl a pomalu je přiblížen k indentoru. Dále je vtlačena indentor do materiálu až je na ukazateli zatížení hodnota  $F_0$  při tomto zatížení vnikne hrot do hloubky  $h_1$  která je odečtena na hloubkoměru. Poté je použito plné zatížení  $F_1$ . Působením síly  $F = F_0 + F_1$  vnikne hrot do materiálu a vytvoří vtisk hloubky  $h = h_1 + h_2$ . Vytvořená hloubka je způsobená trvalou a pružnou deformací. Plné zatížení je třeba ponechat po určitý časový interval. Po odlehčení síly  $F_1$  je materiál částečně obnoven pomocí elastické deformace a zůstane v hloubce  $h_3$ , ze které je podle vzorce (2.9) vypočítána tvrdost podle Rockwella.



Obr. 2.4 měření tvrdosti podle Rockwella

Výpočet Rockwellovi tvrdosti [10]

$$HR = E - h_3 \quad (2.9)$$

$E$  – konstantní závislost závislá na druhu indentoru

$h_3$  – hloubka vtisku po dokončení zkoušky

### 2.3.1 Zkušební podmínky

Při průběhu této zkoušky je použito předběžné zatížení není nijak zvlášť kladen důraz na úpravu zkoušeného vzorku. S rostoucím využíváním různých kovů je vyžadována základní znalost jejich faktorů. Ty musí být zohledněny při výběru správného rozsahu k zjištění správné Rockwellovi zkoušky. Stupnice faktorů a označení zkoušek je popsána v tab. 2.1. „Pokud neexistuje

specifikace nebo jsou nějaké pochybnosti o vhodnosti uvedeného rozsahu, musí být vypracována analýza těchto faktorů, které vyhovují stupnici.“ [10]

Tab. 2.1 přehled označení Rockwellovi tvrdosti [10]

označení	indentor	zatížení [kg]			závislost na druhu indentoru E
		předběžné F0	hlavní F1	celkové F	
A	diamantový kužel	10	50	60	100
B	1/16" kulička	10	90	100	130
C	diamantový kužel	10	140	150	100
D	diamantový kužel	10	90	100	100
E	1/18" kulička	10	90	100	130
F	1/16" kulička	10	50	60	130
G	1/16" kulička	10	140	150	130
H	1/18" kulička	10	50	60	130
K	1/18" kulička	10	140	150	130
L	1/4" kulička	10	50	60	130
M	1/4" kulička	10	90	100	130
P	1/4" kulička	10	140	150	130
R	1/2" kulička	10	50	60	130
S	1/2" kulička	10	90	100	130
V	1/2" kulička	10	140	150	130

#### Použití Rockwellovi tvrdosti

HRA – slinuté karbidy, tenké oceli a případně kalené oceli

HRB – slitiny mědi, měkké oceli, slitiny hliníku a tvárné litiny

HRC – ocele, tvrdé litiny, případně tvrzené oceli a jiné kovy tvrdší ne 100 HRB

HRD – tenké oceli a případně středně tvrzené oceli a Perlitové temperované litiny

HRE – slitiny hliníku a hořčíku s kovy

HRF – žíhané měkké slitiny, tenké měkké plechy

HRG – fosfáty bronzů, beryllium mědi, temperované litiny

HRK – velmi měkké kovy, plasty a jiné měkké materiály

HRL – velmi měkké kovy, plasty a jiné měkké materiály

HRM – velmi měkké kovy, plasty a jiné měkké materiály

HRP – velmi měkké kovy, plasty a jiné měkké materiály

HRR – velmi měkké kovy, plasty a jiné měkké materiály

HRS – velmi měkké kovy, plasty a jiné měkké materiály

HRV – velmi měkké kovy, plasty a jiné měkké materiály

### **2.3.2 Použití zkoušek podle Rockwella**

Tvrdost se odečítá přímo na stupnici přístroje. Není nutné měření vtisku pod mikroskopem a používání tabulek. Proto je tato metoda velmi rychlá a pohodlná. Z těchto důvodů je velmi rozšířená. „Rockwellova metoda se osvědčila v hromadné, rychlé a automatizované kontrole výrobků, zejména ocelových kalených předmětů ve výrobních linkách.“ [4] Při použití malých zatížení je možné použít metodu pro měření tvrdosti povrchových zpevněných vrstev, z pravidla při chemicko-tepelném zpracování.

### **3 TYPICKÉ VYUŽITÍ V PRŮMYSLU**

Zkoušky tvrdosti jsou ve strojírenství velice rozšířené. Jsou používány v každé firmě, která provádí tepelné zpracování kovů. Také jsou využívány firmami, které neprovádí tepelné zpracování, ale odebírají tepelně zpracované materiály. Provádějí jejich pomocí kontrolu dodaných dílů, aby překontrolovali správnost těchto kusů. Při poruše nebo reklamaci je zkoušek taktéž využito, ke zjištění zda nedošlo k závadě vlivem tvrdosti.

#### **3.1 Po tepelném zpracování**

Po tepelném zpracování jsou zkoušky využívány ke zjištění správnosti tepelné úpravy. Pokud tvrdost odpovídá, byla z pohledu tvrdosti tepelné úprava provedena korektně. Ve strojírenství je prováděna kontrola vzorku z každé vsázky, aby bylo zaručeno, že každá vsázka má odpovídající tvrdost.

K měření po tepelném zpracování je využíváno všech tří výše zmíněných zkoušek. Každý podnik si vybírá typ zkoušky podle svých dostupných a potřebných možností a také podle toho, jaké materiály zpracovává.

#### **3.2 Při vstupní kontrole**

Dále se zkoušky tvrdosti provádějí při odběru dílů nebo součástí od jiného podniku, u kterých je požadována daná tvrdost. Je to především z toho důvodu, aby na trhu mohly prosazovat svojí kvalitu výrobků a nebyly jim vráceny produkty, kvůli špatné tvrdosti dílců, které oni nevyráběli. Pokud podnik vyrábí díly, které je nutné tepelně upravit, ale nemá na to prostředky. Je nucen tyto díly nechat tepelně upravit v jiném podniku. Pro zaručení správné tvrdosti je pro podnik vhodná kontrola těchto dílců po vrácení.

K této kontrole je možno využívat všechny ze tří výše zmíněných zkoušek tvrdosti.

#### **3.3 V laboratořích**

V laboratořích je také využíváno zkoušek tvrdosti. Zde jsou prováděny zkoušky tvrdosti na vrácených nebo nějak poškozených dílech. Na těchto dílech jsou prováděny zkoušky tvrdosti za účelem zjištění, zda-li vada nebo porucha byla zapříčiněna nevyhovující tvrdostí materiálu.

V laboratořích jsou též zkoumány tvrdosti po nových postupech nebo změnách v tepelném zpracování. Změny se provádějí pro urychlení a zlepšení výroby. Pro tyto účely by měla kvalitní laboratoř být vybavena všemi metodami zkoušek tvrdosti (Brinell, Rockwell, Vickers), aby byla schopna měřit tvrdost na všech typech materiálů.

#### **3.4 V extrémních podmínkách**

Zkoušek tvrdosti je možné využívat i mimo určené pracoviště. Využívají se ke kontrole tvrdosti materiálu v terénních podmínkách, např. při velmi nízkých teplotách, nebo pod vodou. Ke zkoušení za těchto podmínek je zapotřebí speciálních přístrojů.

## 4 PRAKTICKÉ SITUACE V DANÝCH FYRMACH

V rámci této práce byl proveden průzkum v jednotlivých podnicích v Jihlavě, které provádějí zkoušky tvrdosti. Byla snaha o zjištění, jak to v jednotlivých podnicích probíhá (co se týče zkoušek tvrdosti), jaké metody provádějí. Dále jsou popsány samostatné podniky, jaké zkoušky a kdy provádějí.

### 4.1 IMG s.r.o. slévárna přesného lití

Firma se zabývá metodou přesného lití. Své výrobky dodávají do automobilového průmyslu, textilního průmyslu, zemědělských strojů, transportních a skladovacích zařízení, nářadí. K odlévání používají uhlíkové oceli, šedou litinu, legované oceli a nejvíce zpracovávají tvárnou litinu. Za rok zpracují 120000 kg materiálu. Je to malá firma a zaměstnává 23 zaměstnanců.

Ve firmě je prováděno měření tvrdosti metodou podle Brinella na součástech.

#### Typ zkoušky

V tomto podniku je využíván jeden druh zkoušky a to měření tvrdosti podle Brinella. Kontrola je provedena po tepelném zpracování, případy jsou uvedeny v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Pravidelnost kontroly materiálu

ověření nové jakosti materiálu	1% odlitků z tavby
ověření nového způsobu tepelného zpracování	1% odlitků z tavby
běžná produkce	dle technologického postupu

Výsledky kontroly tvrdosti u nové jakosti materiálu a nového způsobu tepelného zpracování, jsou vedeny záznamy v protokole o zkoušce. Při provádění kontroly tvrdosti u běžné produkce je záznam zapsán v protokole (Licí kniha). Záznamy jsou archivovány v souladu s příslušnou OS.

Zkouška tvrdosti podle Brinella probíhá podle platné normy ČEN EN ISO 6506-1. Je zde využívána jedna metoda Podle Brinella, která využívá tvrdokovovou kuličku přesné označení této zkoušky je uvedeno v tabulce 4.2. Při vypracování byla dle firemních podkladů využita návodka.

Tab. 4.2 použité označení zkoušky

Označení tvrdosti	průměr kuličky [mm]	Poměrné zatížení k průměru $N \cdot mm^{-2}$	Nominální hodnota zkušebního zařízení
HBW 2,5/187,5	2,5	30	1830 N

#### Tvrdoměry

Ve firmě je používán jeden tvrdoměr podle Brinella viz příloha 1. Výrobce a typ přístroje nebyl nikde uveden. Jedná se o starší přístroj. Je pravidelně

kalibrován podle OS 2-004-04 metrologického řádu, kalibraci provádí firma Tempos. Dále je jednou za měsíc kontrolován správcem měřidel podle tvrdoměrných destiček. Výsledek kontroly je zapsán do formuláře (kontrolní list tvrdoměru) IEG.

### **Vyhodnocení**

Pomocí mikroskopu je změřen průměr vtisku kuličky. Podle naměřeného rozměru a požitého materiálu, v převodních tabulkách vyhledáme naměřenou Brinellovu tvrdost.

## **4.2 VMV s.r.o.**

Firma se zabývá třískovým obráběním na CNC a konvenčních strojích. Není přímo zaměřena určitým směrem. Zpracovává výrobky podle dodaných výkresů. Podle požadavků zákazníka zajistí tepelné zpracování, svařování, zámečnické práce, pískování. Také provádí montáž vyrobených dílů, normalizované díly zakoupí. Je to opět malá společnost, která zaměstnává 50 zaměstnanců.

Ve firmě je prováděna měřicí metoda podle Rockwella.

### **Typ zkoušky**

V podniku VMV je prováděn jeden typ zkoušky a to měření tvrdosti podle Rockwella. Zkoušky jsou prováděny na dílech, které byly poslány na tepelné zpracování. Zkouška se provádí, aby byla provedena kontrola, zda byly dodány díly se správnou tvrdostí. Postup je prováděn podle normy ČSN EN ISO 6508-1. Není zde využívána žádná návodka.

### **Tvrdoměry**

Ve firmě je používán jeden tvrdoměr podle Rockwella viz příloha 5. Výrobce a typ přístroje není nikde uveden. Jedná se o starší přístroj. Je pravidelně kalibrován podle OS 2-004-04 metrologického řádu a kalibraci provádí firma Tempos. Podle používání je prováděna kalibrace na tvrdoměřených destičkách, firmou oprávněnou osobou.

### **Vyhodnocení**

Výsledek naměřené tvrdosti je vyhodnocen z hloubky trvalého vtisku diamantového kužele. Výsledná tvrdost je odečtena přímo na stroji z ručičkového ukazatele. Archivace je prováděna pouze u dražších dílů a to ve výrobním protokolu.

## **4.3 Moravské kovárny a.s.**

Firma se specializuje na výrobu zápusťkových výkovek z oceli, tvářených za tepla, pro automobilový průmysl, stavební průmysl, drážní techniku, zemědělské a stavební stroje. Výrobky jsou z 90 % určeny na export, především do zemí Evropské Unie. Hlavní akcionář je rodinný podnik PENN Ges.m.b.H. se sídlem v Krems an der Donau v Rakousku.

Společnost provádí dva typy zkoušek podle Brinella a Vickerse.

### Typy zkoušek

Ve firmě mají tři pracoviště, ve kterých provádějí zkoušky tvrdosti. Na dvou pracovištích, v laboratoři a výstupní kontrole, používají zkoušku tvrdosti podle Brinella. Tato zkouška jsou využívána z důvodu použití po tváření. Na třetím pracovišti, přímo na dílně, je využita zkouška tvrdosti podle Rockwella.

V laboratořích jsou zkoušky používány ke kontrole zmetkových dílů nebo dílů, které přišli na reklamaci. Dále jsou zde využívány na kontrolu tvrdosti při zavádění nových technologií ve výrobě.

Při výstupní kontrole je zkouškami zkoumána tvrdost po tepelném zpracování. Je zkoumáno zda-li byla vsázka správně provedena a dílce mají závaznou tvrdost po tepelné úpravě. Kontrola je prováděna na třech kusech z jedné vsázky, aby byla zaručena dostatečná kontrola.

Na pracovišti je využívána zkouška tvrdosti podle Rockwella. Tento typ zkoušky je využíván, protože vyhodnocení tvrdosti je poměrně rychlé. Zkouška není využita v přímé výrobě, slouží ke kontrole tvrdosti nářadí, které si firma vyrobila sama.

Všechny prováděné zkoušky podle Brinella využívají jako indentor kuličku z tvrdokovu HBW podle normy ČSN ISO 410 a splňují normu ČSN EN ISO 6506-1. Rockwellova zkouška je prováděna podle normy ČSN EN ISO 6508-1.

### Tvrdoměry

V laboratoři jsou použity dva tvrdoměry stejného typu podle Brinella viz příloha 6, na kterých nebyl uveden výrobce. Stroje jsou vybaveny mikroskopy k přímému odměření hloubky vtisku. Jeden stroj je přednastaven kuličkou o průměru 5 mm a zatěžující silou 750 kg a druhý kuličkou o průměru 10 mm a zatěžující silou 3000 kg. Dále je využíván univerzální přístroj firmy Wilson Wolpert typ 751 7 250 viz příloha 7, který je nastaven pouze na měření tvrdosti podle Brinella s kuličkou o průměru 2,5 a zatěžující silou 187,5 kg. ostatní druhy zkoušek je možné provádět, nástroje jsou k dispozici. Laboratoř je vybavena ještě jedním strojem německé výroby, více není známo. Tento stroj není používán, slouží jen jako záložní, pokud byl z nějaké příčiny nějaký stroj odstaven.

Výstupní kontrola je vybavena jedním strojem podle Brinella značky Wilson Wolpert viz příloha 8 vybaven kuličkou o průměru 10 mm a zatížením 3000 kg.

Pracoviště je vybaveno jedním zařízením podle Rockwella viz příloha [9]. Na přístroji není uveden výrobce.

U všech používaných strojů je prováděna pravidelná kalibrace firmou Tempos. Každý měsíc se provádí kontrola správného měření tvrdosti na tvrdoměrných destičkách. Kontrolu provádí firmou pověřená osoba.

### Vyhodnocení

U dvou tvrdoměrů podle Brinella umístěných v laboratoři, je průměr vtisku odměřen pomocí mikroskopu, který je umístěn přímo na tvrdoměru. Z naměřených rozměrů je z normy ČSN EN ISO 6506-1 zjištěna tvrdost podle Brinella. U stroje Wilson Wolpert typ 751 7 250 je hodnota tvrdosti odečtena

z hloubky trvalého vtisku přímo na digitálním display stroje. Na přístroji podle Brinella firmy Wilson Wolpert je průměr vtisku měřen přes optický systém posuvným měřítkem, z naměřených průměrů je zjištěna tvrdost jak u předchozích přístrojů. Při vyhodnocení tvrdosti na přístroji podle Rockwella je tvrdost zjištěna z hloubky trvalého vtisku a odečtena přímo na ručičkovém ukazateli.

Výsledky všech Brinellových testů jsou zapisovány do počítače a archivovány pomocí řídicího programu na jakost Palsta. Záznamy jsou uchovávány po dobu 15 – 20 let podle důležitosti dílů. O Rockwellových zkouškách záznamy vedeny nejsou, protože zkoušky jsou prováděny jen pro podnikové účely.

#### **4.4 Bosch Diesel s.r.o. Jihlava**

Společnost je zaměřena na výrobu automobilovou techniku v divizi Dieselových systémů. Jejími odběrateli jsou téměř všechny významné evropské a některé japonské, asijské a jihoamerické automobilky. Hlavní výroba je zaměřena na dieselová vstřikovací čerpadla, tlakové zásobníky, regulační ventily, sériové opravy vstřikovacích systémů. V současné době zaměstnává 4500 zaměstnanců a to firmu staví jako největšího zaměstnavatele Kraje Vysočina. Jediným vlastníkem společnosti je firma Robert Bosch GmbH.

##### **Typy zkoušek**

Ve firmě se provádějí zkoušky tvrdosti na třech pracovištích vstupní kontrola, metalurgická laboratoř, výstupní kontrola.

Vstupní kontrola provádí zkoušky ke zjištění správné tvrdosti dílců dodané jinými firmami. Podnik kontrolu provádí, aby zamezil případnému vniknutí zmetků do výroby. Při kontrolování není daná žádná pravidelnost, vše je prováděno náhodným počtem kusů z dodávky.

V laboratoři jsou kontrolovány zmetkové kusy, které byly vráceny na reklamaci. Zkoušky tvrdosti jsou prováděny, aby bylo zjištěno, zda porucha výrobku nebyla zapříčiněna špatným tepelným zpracováním a výrobek měl příslušnou tvrdost. Dále v laboratoři využívají zkoušek tvrdosti, při zavádění nové technologie nebo výroby.

Výstupní kontrola provádí zkoušky tvrdosti, aby byla zaručena tvrdost materiálu po tepelném zpracování. Touto kontrolou si podnik zaručuje, že jeho výrobky dosahují zaručenou kvalitu. Kontrolu tvrdosti provádějí na jednom kusu z každé vsázky.

##### **Tvrdoměry**

Na vstupní kontrole je využíváno celkem šest měřících přístrojů. Tři univerzální měřící přístroje jsou od stejného výrobce Instron Wolpert a mají stejný rozsah zatížení - do 250 kg. K zatížení těchto strojů je využíván servomotor. Na těchto strojích se využívají všechny tři zkoušky tvrdosti (Brinell, Rockwell, Vickers). Dále je využíván stroj Instron Wolpert na zkoušky podle Brinella s rozsahem do 3000 kg, k zatížení je taktéž použit servomotor. Pátý přístroj je univerzální Instron Wolpert 2100, používá se pouze ke měření



mikrotvrdosti podle Vickerse. Šestý přístroj je Buehler Hanyko Mikromet 5104 a je využíván na měření mikrotvrdosti podle Vickerse.

V laboratoři jsou využívány čtyři měřicí přístroje. První Wilson Wolpert Rockvell 600 HRD, k zatížení je použito závaží. Je používán pouze na zkoušku tvrdosti podle Rockwella HRC o zatížení 150 kg. Druhý přístroj je univerzální Wolpert DIA testor 7551 a je využíván na měření podle Brinella s kuličkou o průměru 2,5 mm a zatížením 187,5 a 62,5 kg k zatížení je používán servomotor. Třetí přístroj je Wolpert Group Brinell Hardnes tester model 3000 BLDM. Měřena je ne něm tvrdost podle Brinella a to kuličkou o průměru 5 a 10 mm, používána je zatěžující síla 750, 1500 a 3000 kg. Čtvrtý přístroj je univerzální Instron Wolpert 2100 a je používán pro měření mikrotvrdosti podle Vickerse a to při zatížení 0,2, 1, 3 kg. Převážně je přístroj použit na měření tvrdosti po cementaci a nitridaci.

Na výstupní kontrole je používáno celkem jedenácti přístrojů. Čtyři univerzální přístroje Instron Wolpert 2000 jsou používány na měření tvrdosti podle Rockwella a to při zatížení 150kg. Dva univerzální přístroje Instron Wolpert 2100, které jsou využity na měření mikrotvrdosti podle Vickerse při zatížení 10 kg. Ostatních pět přístrojů je od firmy Buehler Hanyko pro měření mikrotvrdosti podle Vickerse při zatížení 1 kg.

Na strojích je každý rok prováděna kalibrace firmou Pavel Čutka. Kontrola měřidla na tvrdoměrných destičkách je prováděna každý měsíc.

### **Vyhodnocení**

Na všech strojích vyrobených firmou Wolpert je výsledná naměřená tvrdost vyhodnocena z hloubky trvalého vtisku po indentoru a znázorněna přímo na digitálním displeji tvrdoměru. Na strojích od firmy Buehler Hanyko je měření délky úhlopříčky vtisku automatické pomocí počítače. Naměřená tvrdost je uložena na hardisku tohoto počítače a zobrazena na obrazovce.

Výsledky všech provedených testů jsou zapisovány do počítače, pomocí software SAP, kde jsou i archivovány. Délka archivace je prováděna podle přání zákazníka.

### **4.5 Srovnání mezi firmami**

V našivaných čtyřech firmách byl proveden průzkum jak firmy provádějí zkoušky tvrdosti. Byly navštíveny dvě větší a dvě menší, aby bylo možné porovnat hlavní rozdíly mezi většími a menšími firmami.

#### **Z dosažených informací bylo zjištěno:**

- *Vybavení* menších firem je zastaralejší než u těch větších. Velké firmy mají celkový větší obrat a pro udržení na trhu musí svojí výrobu zrychlovat a zpřesňovat, k tomu jim pomáhají modernější stroje. Zkoušky také provádějí s daleko větší četností, proto jsou jejich stroje více využívány a tudíž se zaplatí jejich inovace.
- *Archivace* menší firmy archivaci provádějí jen v papírové formě, kdežto větší společnosti využívají softwarové uchovávání dat. Pro menší firmy by uchovávání dat pomocí software bylo na celkový obrat velký výdaj,

ale pro velké firmy je z hlediska automatizace nezbytné pro lepší a přehlednější kontrolu všech dat.

- *Typy zkoušek* jsou prováděny podle vhodnosti použití na zpracovávaný materiál. Proto v tomto případě není většího rozdílu mezi menšími a většími firmami.
- *Normy* všechny společnosti využívají ČSN EN ISO normu a žádná z nich nepracuje v oblasti zkoušek tvrdosti podle vlastní normy.

## ZÁVĚR

Pracoviště pro měření tvrdosti jsou dnes nedílnou součástí menší i větších firem zabírajících se strojírenskou výrobou. Pracoviště nejen zabezpečují udržování standardů výroby, ale také jsou využity pro kontrolu zavádění nových technologií při výrobě.

Vhodnost požití měřicí metody by měla být odvinuta od využívání druhu materiálu a výrobních procesů firmy. Také je kladen důraz na požadavky zákazníka.

Z výzkumu bylo zjištěno, že v současné době je více využíváno zkoušek tvrdosti podle Brinella, Rocwella a Vickerse. Na jejich princip je dnes založena většina přístrojů a to i univerzálních, na kterých je možnost měřit všemi třemi nejpoužívanějšími metodami.

Z provedeného průzkumu je patrné, že menším firmám se vyplatí provádět zkoušky tvrdosti na zastaralejších přístrojích. Kdežto velké firmy se vybavují moderními poloautomatickými nebo automatickými přístroji. Které snižují náklady vyvinuté na tyto pracoviště a to především zkracování měřících časů a zpřesňování měření.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] ATEAM. Materiálový výzkum. Zkoušky tvrdosti. 111 [online]. 2006 [cit. 2010-03-31], s. 12. Dostupné z WWW: <[http://www.ateam.zcu.cz/Zkousky\\_tvrdosti.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/Zkousky_tvrdosti.pdf)>.
- [2] GRUBER Josef, Kladivem a kuličkou. *Zpravodaj SPŠ* [online]. 2009-11, [cit. 2010-03-31]. Dostupné z <[http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef\\_gruber/clanky/charpy.pdf](http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/charpy.pdf)>.
- [3] GRUBER Josef, Ctihodná učební pomůcka vypravuje. *Zpravodaj SPŠ* [online]. 2010-01, [cit. 2010-03-31]. Dostupné z <[http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef\\_gruber/clanky/rockwell.pdf](http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/rockwell.pdf)>.
- [4] VELES, Pavol. *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov*. 1. vyd, Bratislava: Alfa, 1985. 408 s.
- [5] LUDVÍK, Jan, BÍLEK, Karel, LUDVÍK, Štěpán. *Zkoušky tvrdosti: Přehled základních zkušebních metod pro uživatele tvrdoměrů Emcotest a Shimadzu* [online]. 2003 [cit. 2010-03-31]. Dostupné z WWW: <[http://www.metrotest.cz/zkousky\\_tvrdosti.pdf](http://www.metrotest.cz/zkousky_tvrdosti.pdf)>.
- [6] URL: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/hmsm/Mikrotrvdost/uvod/uvodtext.htm>> [cit. 2010-04-09].
- [7] CONVERTER. *Převody jednotek* [online]. 2009 [cit. 2010-04-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.converter.cz/jednotky/tvrdost-brinell.htm>>.
- [8] SKÁLOVÁ, Jana, KOVAŘÍK, Rudolf, BENEDIKT, Vladimír. *Základní zkoušky kovových materiálů*. 4. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2005. 178 s. ISBN 80-7043-417-1.
- [9] *Vickers test*. [online]. 2010 [cit. 2010-04-10]. Dostupné z WWW: <[http://www.instron.com/wa/applications/test\\_types/hardness/vickers.aspx](http://www.instron.com/wa/applications/test_types/hardness/vickers.aspx)>.
- [10] *Rockwell Hardness Test*. [online]. 2008 [cit. 2010-04-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.gordonengland.co.uk/hardness/rockwell.htm>>.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

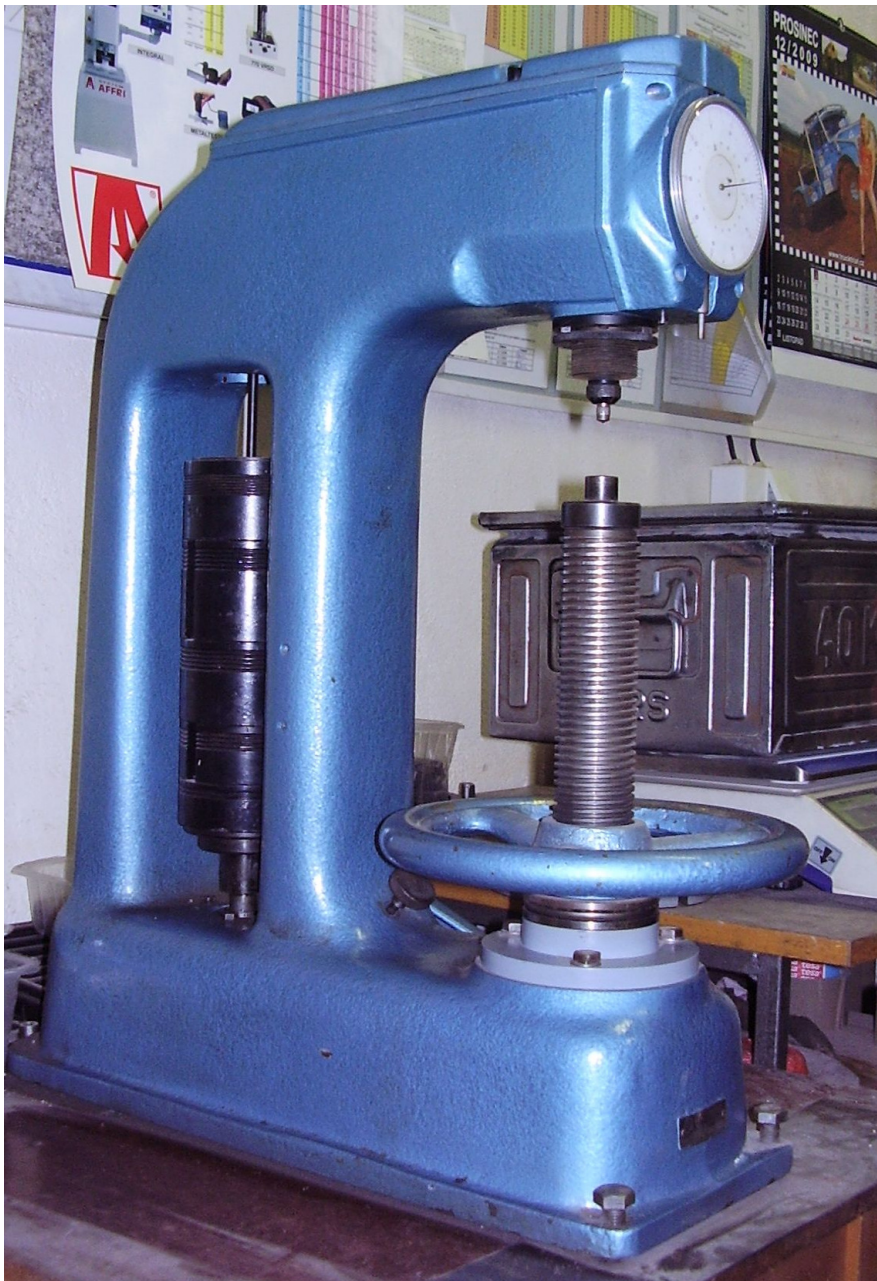
Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
H		Vyjádření
HB		Tvrдость podle Brinella
F	N	Zatěžující síla
h	mm	Hloubka vtisku
A	mm <sup>2</sup>	Plocha vtisku
D	mm	Průměr vnikající kuličky
d	mm	Průměr trvalého vtisku (Brinellova metoda)
t	s	Čas zatížení
R <sub>m</sub>	MPa	Mez pevnosti
HV		Tvrдость podle Vickerse
d	mm	Úhlopříčka vtlačeného kužele (Vickersova metoda)
HR		Tvrдость podle Rockwella
F <sub>0</sub>	N	Předběžné zatížení
F <sub>1</sub>	N	Přídavné zatížení
E		Konstantní závislost na druhu indentoru
h <sub>3</sub>	mm	hloubka vtisku po dokončení zkoušky

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Ukázka staršího tvrdoměru podle Brinella používaného firmou IMG s.r.o
- Příloha 2 Ukázka modernějšího tvrdoměru podle Brinella
- Příloha 3 Ukázka staršího tvrdoměru podle Vickerse
- Příloha 4 Ukázka modernějšího tvrdoměru podle Vickerse
- Příloha 5 Ukázka tvrdoměru podle Rockwella firmy VMV s.r.o
- Příloha 6 Ukázka tvrdoměru podle Brinella firmy Moravské Kovárny a.s.
- Příloha 7 Ukázka univerzálního tvrdoměru firmy Moravské Kovárny a.s
- Příloha 8 Ukázka tvrdoměru podle Brinella výstupní kontroly firmy Moravské Kovárny a.s
- Příloha 9 Ukázka tvrdoměru podle Rockwella firmy Moravské Kovárny a.s

## Příloha 1

Ukázka staršího tvrdoměru podle Brinella používaného firmou IMG s.r.o.



## Příloha 2

Ukázka modernějšího tvrdoměru podle Brinella





### Příloha 3

Ukázka staršího tvrdoměru podle Vickerse



## Příloha 4

Ukázka modernějšího tvrdoměru podle Vickerse



## Příloha 5

Ukázka tvrdoměru podle Rockwella firmy VMV s.r.o



## Příloha 6

Ukázka tvrdoměru podle Brinella firmy Moravské Kovárny a.s.



## Příloha 7

Ukázka univerzálního tvrdoměru firmy Moravské Kovárny a.s



## Příloha 8

Ukázka tvrdoměru podle Brinella výstupní kontroly firmy Moravské Kovárny a.s



## Příloha 9

Ukázka tvrdoměru podle Rockwella firmy Moravské Kovárny a.s

