



Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A3:Tvorba nových profesně zaměřených studijních programů

NPO_TUL_MSMT-16598/2022



Předmět: Nauka o materiálu **Přednáška č. 2: Základní vlastnosti materiálů a jejich měření**

doc. Ing. Pavlína Hájková, Ph.D.

Cíl přednášky

Cílem přednášky je seznámit studenty se základními vlastnostmi různých materiálů, způsoby jejich měření a kontroly.

1. Rozdělení vlastností materiálů
2. Fyzikální vlastnosti
3. Chemické vlastnosti
4. Mechanické vlastnosti
5. Technologické vlastnosti

Vlastnosti - dělení

V technické praxi je nejčastější dělení vlastností materiálů na:

- **Fyzikální** Hustota/objemová hmotnost, Elektrické vlastnosti, Tepelné vlastnosti, Magnetické vlastnosti, Porozita, Odolnost vůči teplotám ...
- **Chemické** Chemické složení, Korozní odolnost ...
- **Mechanické** Pružnost, Pevnost, Houževnatost, Plasticita, Odolnost proti opotřebení, Tvrdost, Delaminace ...
- **Technologické** Tvárnost (tvářitelnost), Svařitelnost, Slévatelnost, Obrobitelnost ...

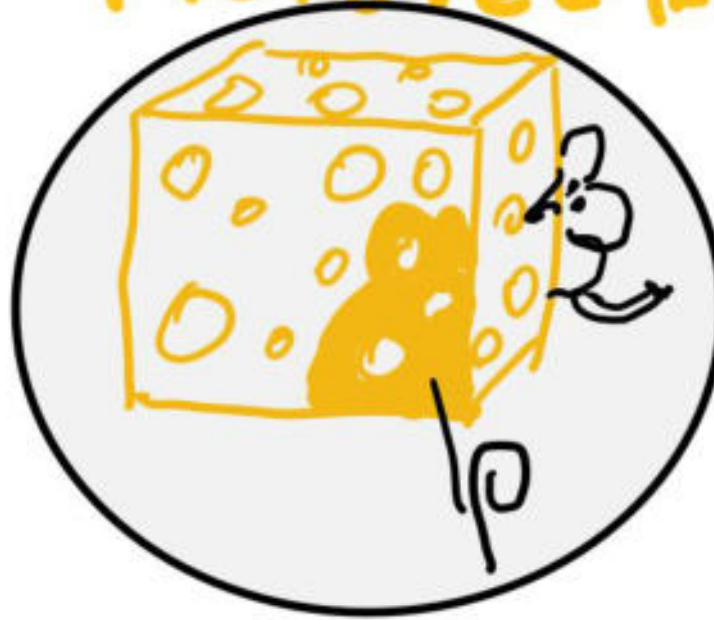
Fyzikální vlastnosti – hustota/objemová hmotnost

KOV



ρ = objemová hmotnost

PÍSKOVEC, ŽEMENTÁL



Objemová hmotnost

= hmotnost objemové jednotky homogenní látky při určité teplotě.

POZOR!!! U porézních materiálů je rozdíl hustota a objemová hmotnost!!

ρ ... hustota [kg/m^3]

$$\rho = m/V$$

Př.:

$$\rho_{\text{Fe}} = 7\,870 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{\text{Al}} = 2\,700 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_{\text{Cu}} = 8\,900 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{C Aerogel} = 0,16 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Fyzikální vlastnosti – elektrické vlastnosti

- **Elektrická vodivost** (konduktivita)

 - schopnost látky vést elektrický proud.

 - γ' ... konduktivita [S/m]**

 - ρ ... rezistivita [$\Omega \cdot m$]**

 - měrný elektrický odpor je reciproká hodnota vodivosti
 - v látkách s kovovou vazbou je podstatou chování volných elektronů
 - u většiny kovů odpor roste s teplotou
 - největší vodivost mají kovy s maximální čistotou v dokonale vyžíhaném stavu

- **Supravodivost**

Schopnost některých látek skokem snížit elektrický odpor na nezjistitelnou hodnotu nejčastěji při teplotách blízkých absolutní nule ($0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$)

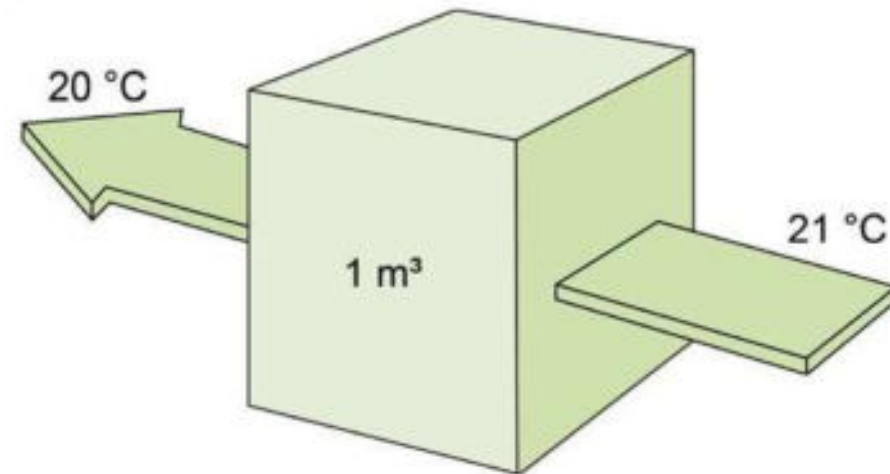
Fyzikální vlastnosti – tepelné vlastnosti

- **tepelná vodivost**

rychlost, s jakou se teplo šíří z jedné zahřáté části látky do jiných, chladnějších částí

Schopnost přenášet tepelnou energii prostřednictvím tepelných kmitů částic v uzlových bodech mřížky i pohybu volných elektronů - tedy vedením bez proudění látky

$$\lambda \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$$



- **měrná tepelná kapacita**

$$c \text{ [J kg}^{-1}\text{-K}^{-1}\text{]}$$

$$c = Q / m \cdot \Delta t$$

určuje teplo potřebné k ohřevu 1 kg chemicky stejnorodé látky o 1 °C.

Fyzikální vlastnosti – tepelné vlastnosti

- **teplotní roztažnost, teplotní dilatace**

změna objemu/délky s teplotou

α ... součinitel teplotní roztažnosti [K^{-1}]



Bimetal – měření teploty

- **teplota tání**

- změna tuhého skupenství na kapalné
- čistý kov:

materiálová konstanta

- slitiny:

1 pro eutektické slitiny

interval tuhnutí - u ostatních slitin

- **teplota varu**



Př.: $T_{Fe} = 1539^{\circ}C$

$T_{Al} = 660^{\circ}C$

$T_{Cu} = 1083^{\circ}C$

Dostupné z: Techmania Science Center, Autor: Magda Králová: Under Creative Commons;
<https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/struktura-latek/vnitri-energie/teplotni-roztaznost>

Dostupné z: <https://www.petrol.cz/aktuality/cesky-system-ropovodu-je-jedinecnym-technologickym-dilem-6993>.

Fyzikální vlastnosti – magnetické vlastnosti

Projevují se chováním látek ve vnějším magnetickém poli

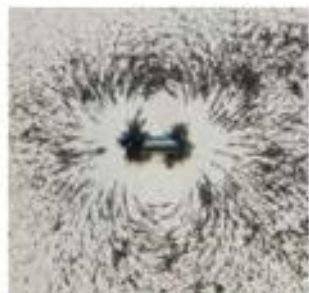


Dělíme je na látky:

- **Diamagnetické** - vnitřní magnetické pole, které působí proti vnějšímu a **zeslabuje** ho. Diamagnetismus nezávisí na teplotě
- **Paramagnetické** - Vnější magnetickým polem se přeorientují do jednoho směru a mírně ho **zesílí** – látka vykazuje malou magnetizaci
- **Feromagnetické** (příp. ferimagnetické...) - do Curieovy teploty

Přestane-li působit magn.pole, látka zůstane zmagetována.

magn.měkké – lze přemagnetovat
magn.tvrdé – permanentní magnety



Další fyzikální vlastnosti

- **Elektonegativita** - Atomy prvku mají schopnost **přitahovat valenční elektrony** jiného prvku do svého atomového obalu.
- **Ionizační energie** - energie, která je nutná **dodat pro odtrhnutí jednoho elektronu** z obalu atomu.

Chemické vlastnosti - periodická soustava prvků

Sodík

Vápník

Železo

Hliník

Kyslík

Chlor

Periodická soustava prvků



1	1,0079 1 H Vodík	2 II. A											13 III. A	14 IV. A	15 V. A	16 VI. A	17 VII. A	4,00 2 He Helium									
2	6,94 3 Li Lithium	9,01 4 Be Berylium											10,81 5 B Bor	12,01 6 C Uhlík	14,01 7 N Dusík	16,00 8 O Kyslík	19,00 9 F Fluor	20,18 10 Ne Neon									
3	22,99 11 Na Sodík	24,31 12 Mg Hořčík	3 III. B	4 IV. B	5 V. B	6 VI. B	7 VII. B	8 VIII. B	9 VIII. B	10 VIII. B	11 I. B	12 II. B	26,98 13 Al Hliník	28,09 14 Si Křemík	30,97 15 P Fosfor	32,06 16 S Síra	35,45 17 Cl Chlor	39,95 18 Ar Argon									
4	39,10 19 K Draslík	40,08 20 Ca Vápník	44,96 21 Sc Skandium	47,88 22 Ti Titan	50,94 23 V Vanad	52,00 24 Cr Chrom	54,94 25 Mn Mangan	55,85 26 Fe Železo	58,93 27 Co Kobalt	58,69 28 Ni Niki	63,55 29 Cu Měď	65,38 30 Zn Zinek	69,72 31 Ga Gallium	72,61 32 Ge Germanium	74,92 33 As Arsen	78,96 34 Se Selen	79,90 35 Br Brom	83,80 36 Kr Krypton									
5	85,47 37 Rb Rubidium	87,62 38 Sr Stroncium	88,91 39 Y Yttrium	91,22 40 Zr Zirkonium	92,91 41 Nb Niobium	95,94 42 Mo Molybden	~98 43 Tc Technecium	101,07 44 Ru Ruthenium	102,91 45 Rh Rhodium	106,42 46 Pd Palladium	107,87 47 Ag Stříbro	112,41 48 Cd Kadmium	114,82 49 In Indium	118,71 50 Sn Cín	121,75 51 Sb Antimon	127,60 52 Te Tellur	126,90 53 I Jod	131,29 54 Xe Xenon									
6	132,91 55 Cs Cesium	137,33 56 Ba Barium											178,49 72 Hf Hafnium	180,95 73 Ta Tantal	183,85 74 W Wolfram	186,21 75 Re Rhenium	190,20 76 Os Osmium	192,22 77 Ir Iridium	195,08 78 Pt Platina	196,97 79 Au Zlato	200,59 80 Hg Rtuť	204,38 81 Tl Thallium	207,20 82 Pb Olovo	208,98 83 Bi Bismut	~209 84 Po Polonium	~210 85 At Astat	~222 86 Rn Radon
7	~223 87 Fr Francium	226,03 88 Ra Radium											~267 104 Rf Rutherfordium	~268 105 Db Dubnium	~269 106 Sg Seaborgium	~270 107 Bh Bohrium	~269 108 Hs Hassium	~278 109 Mt Meitnerium	~281 110 Ds Darmstadtium	~281 111 Rg Roentgenium	~285 112 Cn Copernicium	~286 113 Nh Nihonium	~289 114 Fl Flerovium	~288 115 Mc Moscovium	~293 116 Lv Livermorium	~294 117 Ts Tennessine	~294 118 Og Oganesson

Chemické vlastnosti – magnetické vlastnosti

- **Chemické složení**
- pH (kyselost/zásaditost)
- Rozpustnost – typ chemické látky, typ rozpouštědla (polární, nepolární)
- Reaktivita
- Hořlavost
- **Koroze** - samovolné, postupné rozrušení kovů či nekovových organických i anorganických materiálů (např. hornin či plastů) vlivem chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím.



Koroze

1. chemická koroze

2. elektrochemická koroze

Chemická koroze kovů

přímé působení prostředí na kov

rozdělení prostředí

1. oxidační – reakce s O_2 , nad $600^\circ C$ - okuje
2. redukční – CO_2 , CO – může nauhličovat oceli
3. speciální - obsahující síru u ocelí s Ni (koroze po hranicích zrn)
- nebezpečný vodík (vodíková křehkost)

Elektrochemická koroze kovů

- Rozrušování kovu za vzniku elektrického proudu
- U dvou kovů s rozdílným elektrodovým potenciálem
- Kovy s kladným potenciálem označujeme jako ušlechtilé, negativní potenciály přísluší kovům neušlechtilým
- Méně ušlechtilý kov tvoří anodu a rozpouští se

Koroze - příklady

- **nýt z Cu spojuje ocelový plech**, elektrolyt je vzdušná vlhkost, Cu – katoda , Fe anoda – koroduje plech – konstrukční chyba
- **pozinkovaný plech**
Zn – anoda Fe katoda – Zn povlak koroduje, není třeba chránit např. střížné hrany
- **pocínovaný plech**
Sn- katoda Fe anoda – Sn chrání, ale povlak musí být celistvý

- elektrodový
potenciál

+ elektrodový
potenciál

Mn	Mg	Zn	Cd	Fe	Sn	Al	Pb	Ni	Cu	Cr	Ag	Ti	Zr	Au	Pt
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

vodík
0

Koroze - druhy

- **Místní koroze** - různá místa napadena do rozdílné hloubky
- **Bodová koroze** místo menší než 1 mm, příčina –heterogenita strukturní i napěťová
- **Selektivní koroze** (také strukturní) u vícefázových slitin (rozdílné potenciály) Příklad: heterogenní Ms - rozpouští se β fáze
Interkrystalická koroze - rozpouští se (korodují) fáze vyloučené po hranicích zrn
- **Příklad:** Ocel 18/9 při dlouhodobé výdrži na teplotách 500 - 760°C se vyloučí na hranicích zrn karbidy a probíhá koroze.
- Cu (je homogenní) v sirných sloučeninách koroduje, korozní prostředí naleptává hranice zrn

Koroze - druhy

- **Transkrystalická koroze**

trhliny probíhající přes zrno (je velmi nebezpečná, při zběžné prohlídce se nezjistí)

- Příklad: Ms v NH_3 , ocel CrNi austenitická v chloridech

- **Koroze bludnými proudy**

ohroženo potrubí poblíž elektrických kolejových drah. Vzroste-li elektrický odpor kolejí například špatnými spoji, pak se část proudu při průjezdu vozidla vrací ke zdroji různými cestami půdou a v ní uloženými kovovými předměty. Půda vždy obsahuje vlhkost a soli, takže se stává elektrolytem. Místo, kde proud vystupuje z trubky je anodou, v níž nastává koroze.

Koroze – ochrana

- **volbou materiálu** - obecně – čistota materiálu, bez pnutí, legováním (Cu, Al), povlaky (Zn, Sn), NŽK, plasty
- **konstrukčními úpravami**
 - ✓ tvary hladké, duté konstrukce s otvory pro odtok vody
 - ✓ plochy přístupné pro ochranné nátěry
 - ✓ POZOR na styk kovů s rozdílným elektrickým potenciálem
- **úpravou korozního prostředí**
 - ✓ odstranění nevhodné látky a inhibitory
- **Povrchovými úpravami**
 - ✓ nanesení povlaků a systémů laků (karoserie)
- **Katodickou ochranou**
 - ✓ princip - zavedení el. proudu proti směru korozního proudu (eliminace)

Mechanické vlastnosti

Vyjadřují chování materiálu při působení vnějších sil.

Základní jsou:

- pružnost
- pevnost
- houževnatost
- plasticita

Odvozené:

- odolnost proti opotřebení
- tvrdost
- další

Zkoušky – statické x dynamické



Proč?

https://www.facebook.com/CT24.cz/videos/ondra-znovu-posunul-hranice-lezen%C3%AD/10155819003069009/?locale=cs_CZ

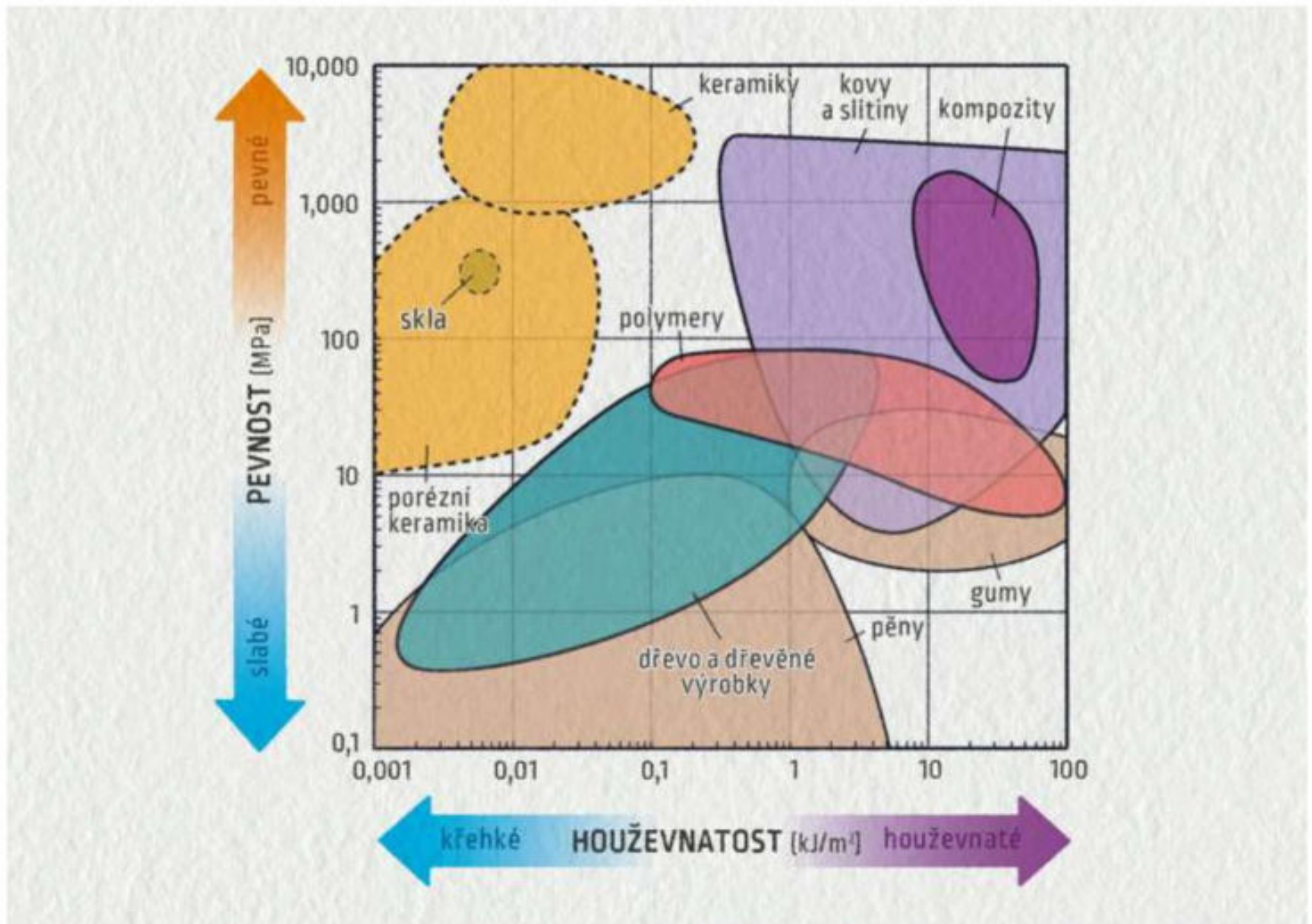


<https://www.youtube.com/watch?v=T6Q3uX0a6hA>

<https://www.youtube.com/watch?v=g730mHDtXaA>

Pevnost

- Odolnost materiálu proti trvalému porušení soudržnosti jeho částic vnějšími silami
- Podle způsobu namáhání mluvíme o pevnosti v tahu, tlaku, ohybu.....
- Známe tři druhy pevnosti: skutečnou, ideální a konvenční (**smluvní**). Pevnost, zjišťovaná mechanickými zkouškami je vždy **pevností smluvní**, tj. nebere v úvahu změnu průřezu zkušebního tělesa v průběhu zatěžování.



https://www.researchgate.net/figure/Strength-versus-toughness-graphs-for-different-types-of-materials-Source-Adapted-from_fig3_301228122

Pružnost = elasticita

- **Schopnost materiálu před porušením se pružně deformovat**
- Změna stavu materiálu při působení mechanických sil, která se projevuje deformací objemu
- Pokud napětí nepřekročí určitou hodnotu → rozměry se obnovují → vratný proces (makro)
- K vyhodnocení se používá modul pružnosti a mez pružnosti

Rozdělení mechanických zkoušek

- I. Podle charakteru zatěžování
 - a) **statické**
 - b) dynamické

- II. Podle zjišťované vlastnosti či souborů vlastností
 - a) zkoušky pevnostních vlastností
 - b) zkoušky tvrdosti
 - c) zkoušky únavy...

- III. Podle druhu namáhání
 - a) zkoušky tahové
 - b) zkoušky tlakové
 - c) zkoušky ohybem...

- IV. Podle teploty a prostředí.

Statické zkoušky – hodnotí chování materiálu za působení stálých nebo pomalu spojitě se měnících sil. Zkušební těleso se zatěhuje zpravidla jen jednou, a to až do porušení. Podle druhu namáhání jde o zkoušku **tahem**, **tlakem**, **ohybem**, **krutem** nebo **střihem**.

Princip statické zkoušky tahem

Tensile strength, Tensile stress

Tyč s původní délkou L_0 a průřezem S_0 zatěžujeme statickou silou F . Vnější síla vyvolá napětí

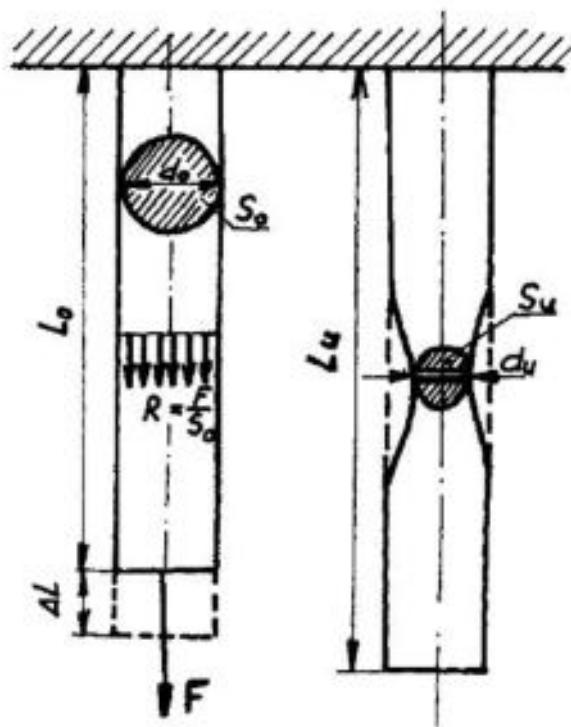
Skutečné napětí

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \text{[MPa]}$$

Smluvní napětí

$$R = \frac{F}{S_0}$$

stress



S - skutečný průřez tyče
 S_0 - původní průřez tyče

Při větším zatížení se u tvárných materiálů zkušebna tyč zužuje $S < S_0$, proto $\sigma > R$. Síla F vyvolá prodloužení ΔL . V průběhu zkoušky se automaticky zaznamenává pracovní diagram $\Delta L - F$. Po ukončení se měří L_u - délka po přetržení, d_u - průměr po přetržení a určí se S_u - průřez po přetržení.

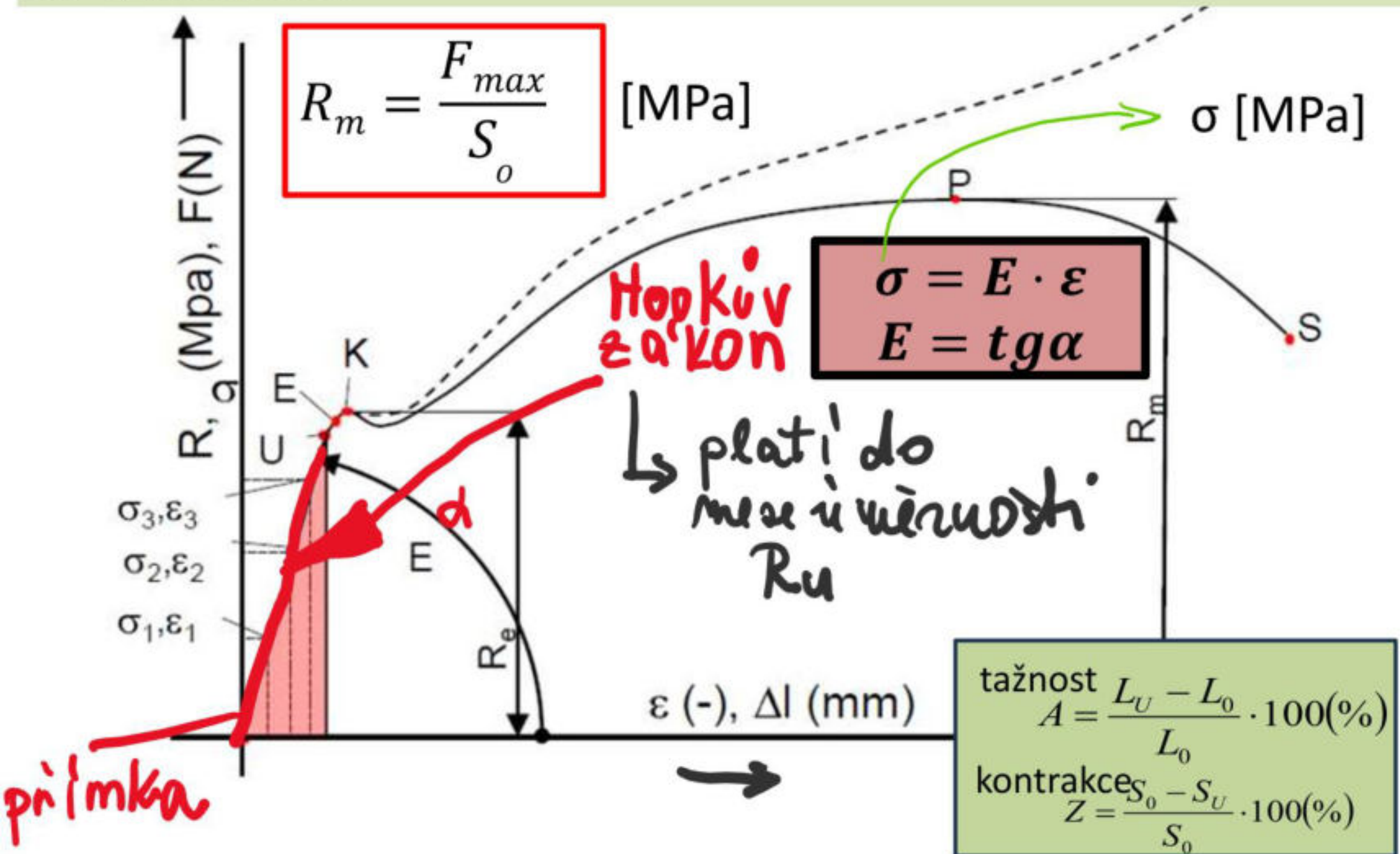
Obr.: Princip statické zkoušky tahem.

Ru – (U) mez úměrnosti,

Re – (E) mez pružnosti, R0,005 – smluvní mez pružnosti – trvalá deformace 0,005%

Re – (K) mez kluzu, Rp0,2 – smluvní mez kluzu - trvalá deformace 0,2%

Rm – (P) mez pevnosti

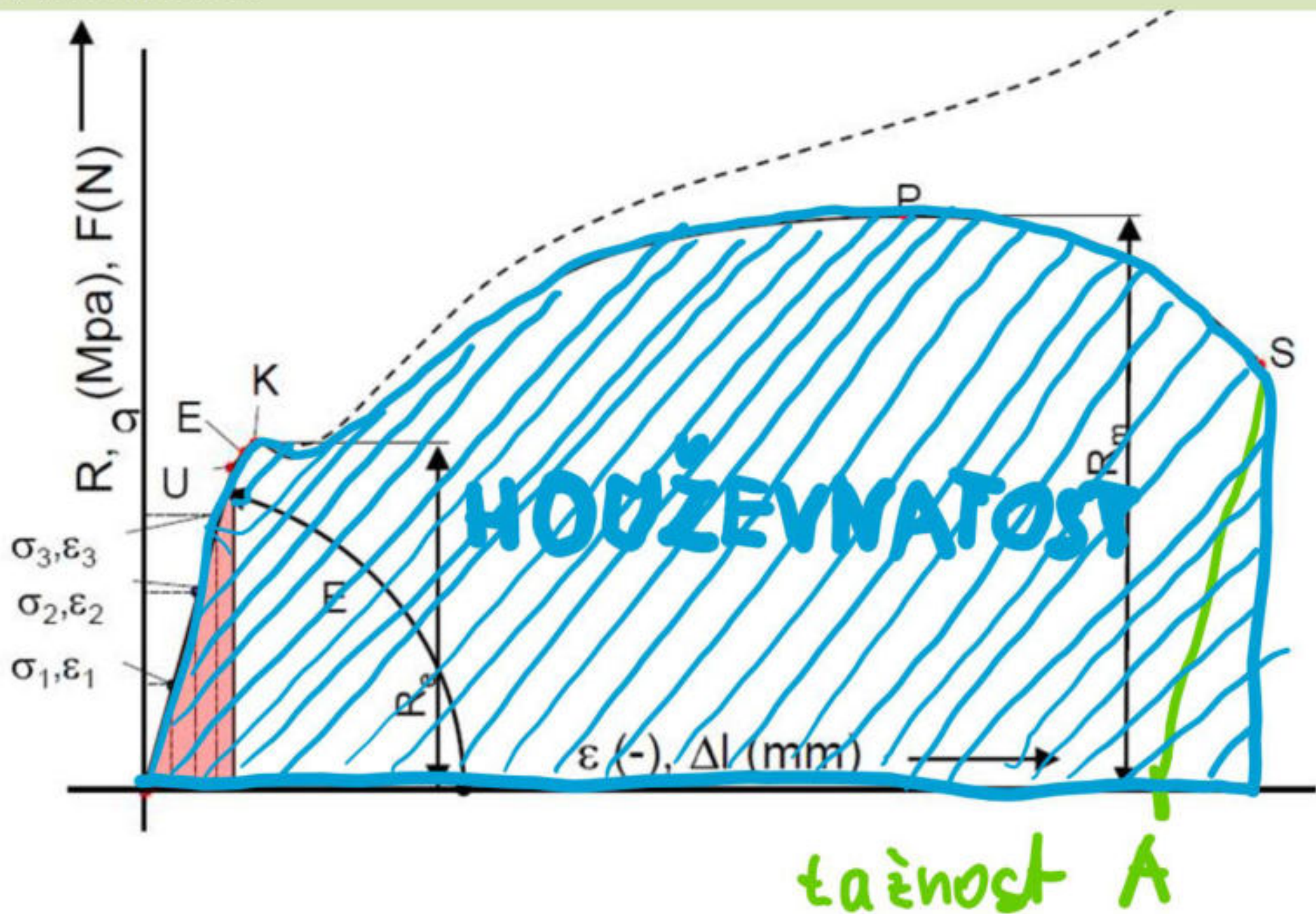


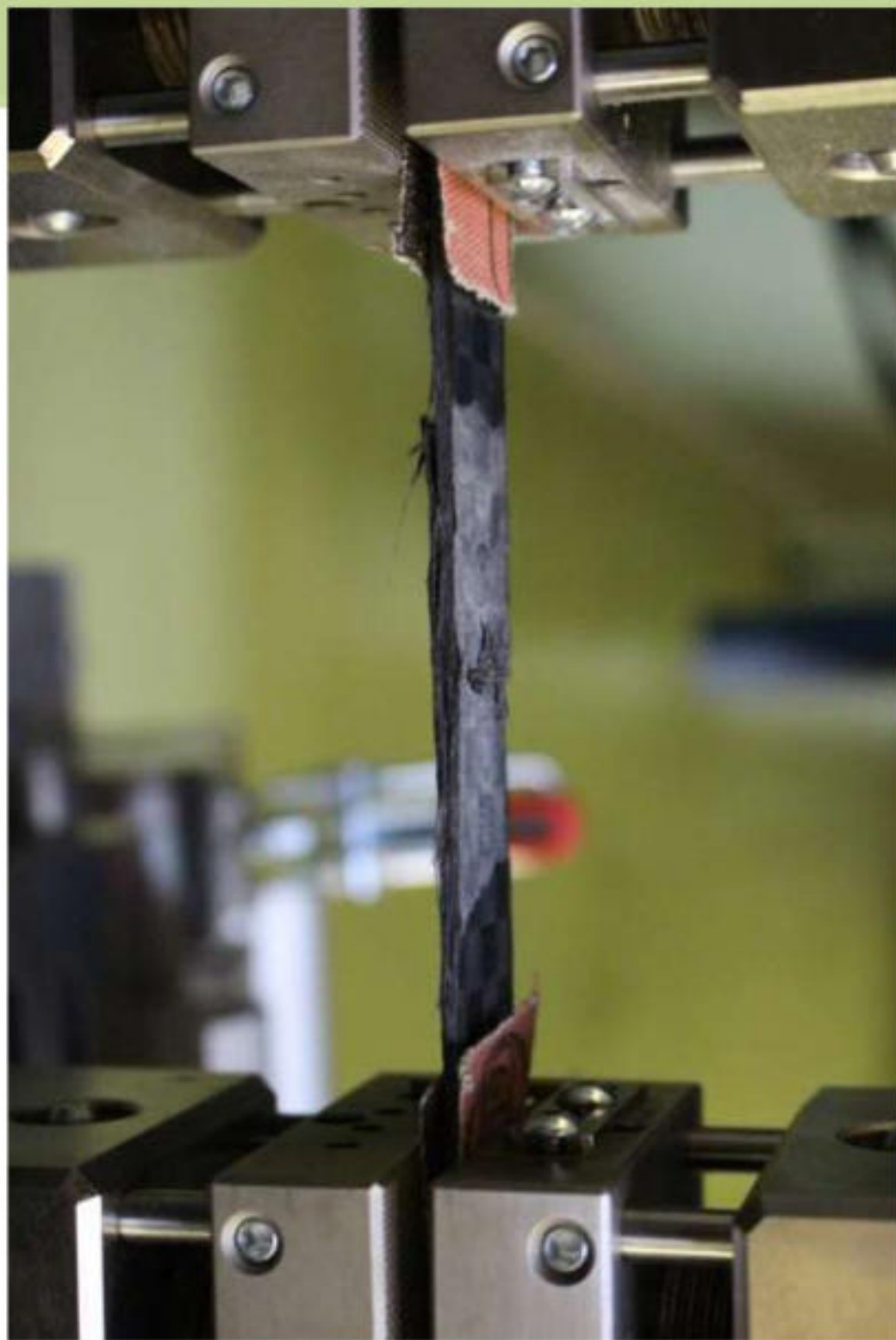
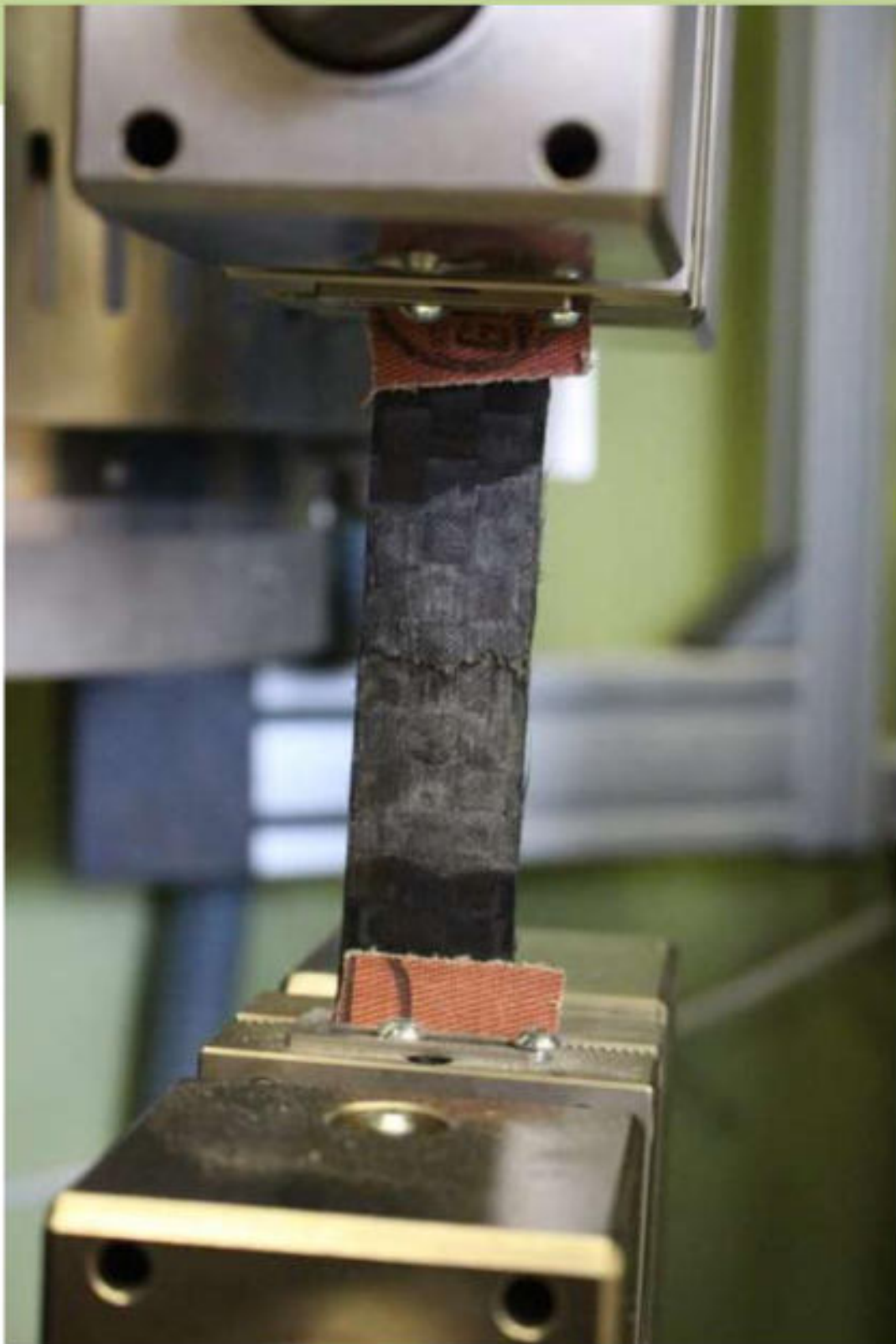
R_u – (U) mez úměrnosti,

R_E – (E) mez pružnosti, $R_{0,005}$ – smluvní mez pružnosti – trvalá deformace 0,005%

R_e – (K) mez kluzu, $R_{p0,2}$ – smluvní mez kluzu - trvalá deformace 0,2%

R_m – (P) mez pevnosti





Pevnost v tlaku (compressive strength)

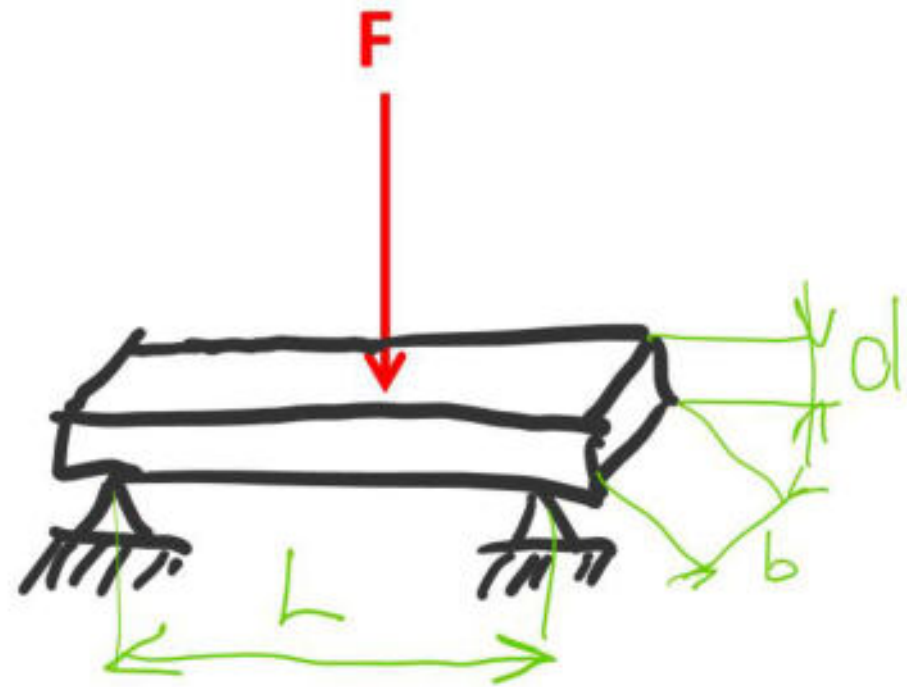
Hlavně pro keramické materiály a litinu



$$R_m = \frac{F_{max}}{S_o} \quad [\text{Mpa}]$$



Pevnost ohybem (bending strength, flexural strength)

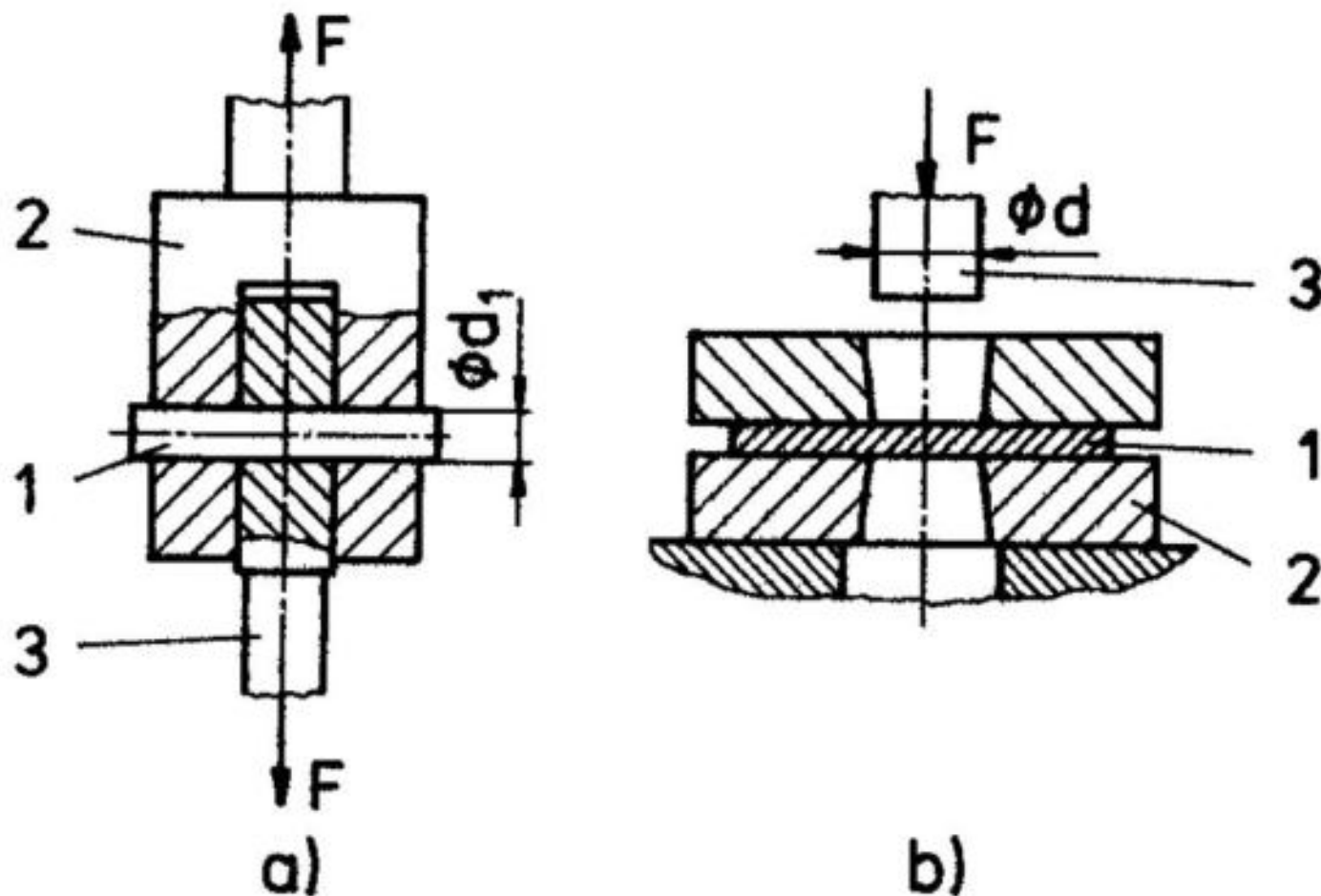


$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{F \cdot L}{b d^2}$$

Zkouška stříhem (shear)

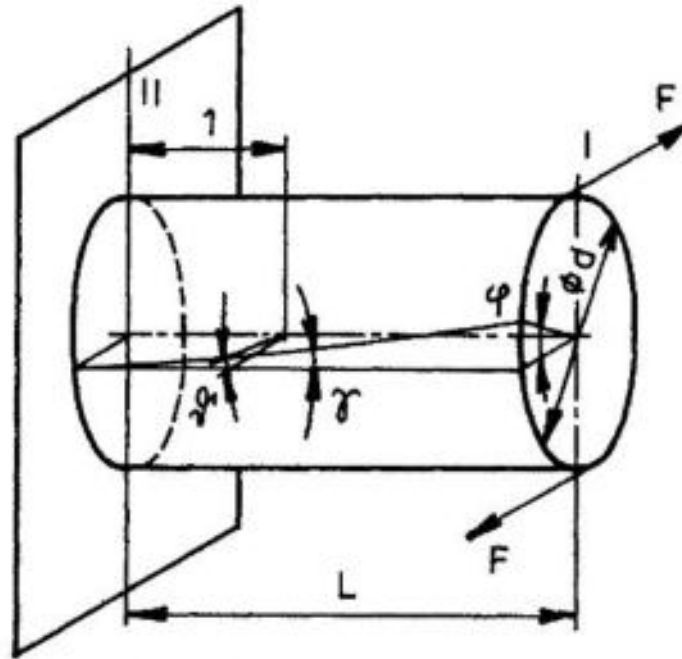
Namáhání – normálové a smykové
Zkouška stříhem – smykové napětí

Modul pružnosti ve
smyku = G



Obr.: Přípravky pro zkoušku stříhem: a) pro tyče kruhového průřezu 1 – zkušební tyč, 2 – vidlice, 3 – táhlo, b) pro plechy 1 – zkušební plech, 2 – střížnice, 3 - střížník.

Zkouška krutem



Obr.: Znáznornění poměrů při zkoušce krutem.

Typické hodnoty E a G

E

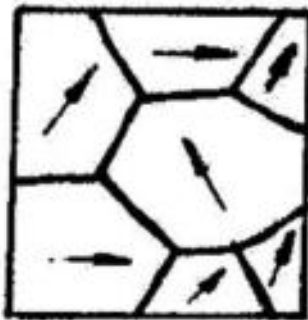
uhlíková ocel $E = 210$ GPa
legovaná ocel $E = 185 - 215$ GPa
litiny $E = 80 - 180$ GPa
uhlíkové nanotrubičky
s jednoduchou stěnou $E = 1000-5000$ GPa

G

Pro většinu kovů je
 $G = 0,373$

Plasticita

- schopnost materiálu měnit působením vnějších sil v tuhém stavu trvale svůj tvar bez porušení, tzn. plasticky se před porušením deformovat
- má význam při technologickém zpracování - pro tváření se definuje jako tvářitelnost



- při plastické deformaci se materiál zpevňuje, **vzniká deformační zpevnění**, zvýší se meze kluzu, pevnosti, tvrdost a sníží se tažnost
- Ve struktuře se projeví textura a s ní výrazná anizotropie vlastností – zpět - rekrystalizace

Tvrдость

Obecně:

Tvrдость = zatížení / plocha vtisku

Tvrдость = odpor proti vnikání cizího tělesa do povrchu zkoušeného materiálu

Posuzujeme ji podle velikosti stopy, která vznikla vtlačováním tělesa vhodného tvaru (kulička, kužel, jehlan) a z dostatečně tvrdého materiálu (kalená ocel, slinutý karbid, diamant) do zkoušeného vzorku určitou silou za definovaných podmínek.

Zkoušky tvrdosti se člení na:

vrypové
vnikací
odrazové

STATICKÉ X DYNAMICKÉ

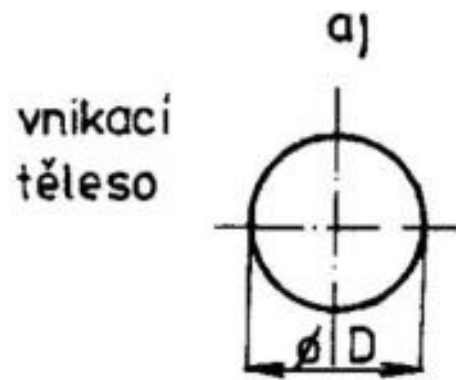


Máte ještě trochu tvrdý dopad!

Statické vnikací zkoušky tvrdosti - nejčastěji

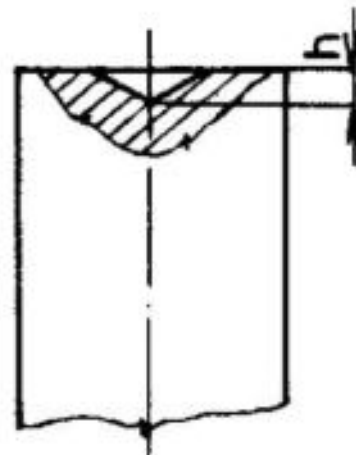
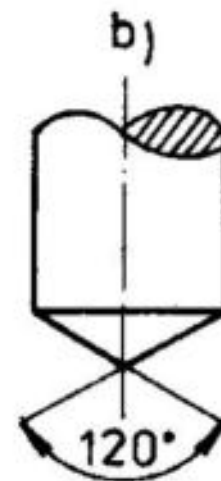
Brinell HBW

kuličky ze slinutých
karbidů



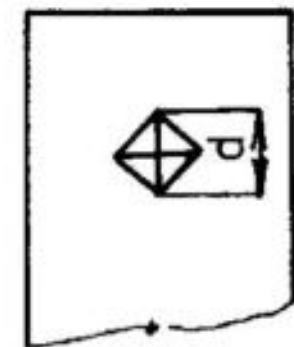
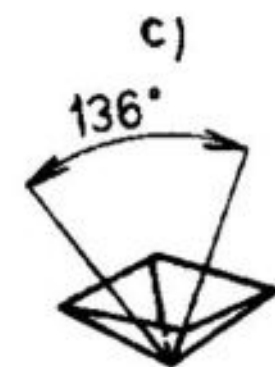
Rockwell HR

diamantový kužel
s vrcholovým úhlem 120°



Vickers HV

diamantový
čtyřboký jehlan



Zkouška tvrdosti podle Brinella - **kuličky ze slinutých karbidů**



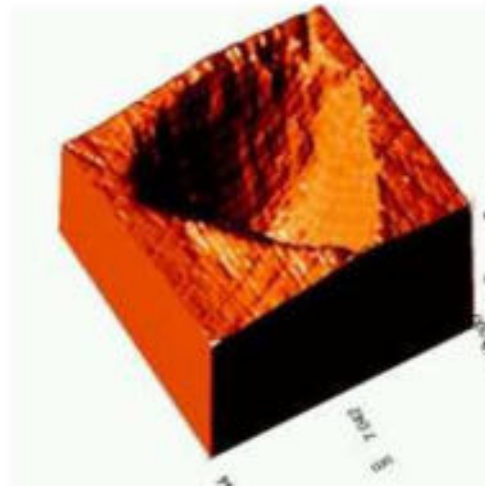
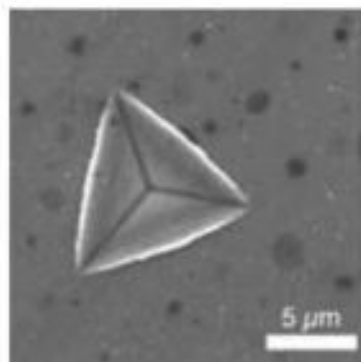
Zkoušky mikro a nanotvrdosti

- Tvrdost drobných a měkkých součástí,
- Tvrdost **tenkých vrstev**

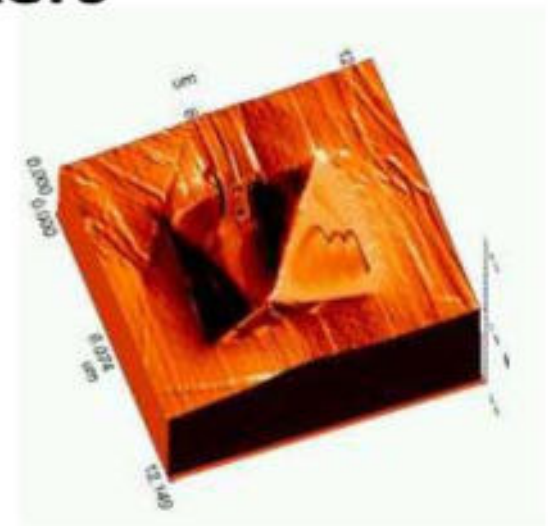


- ✓ vytvoření malého předně umístěného vtisku,
- ✓ použití velmi malých zatížení,
- ✓ jsou buď součástí metalografických mikroskopů, nebo se používají samostatně,
- ✓ pracují vnikací nebo vrypovou metodou

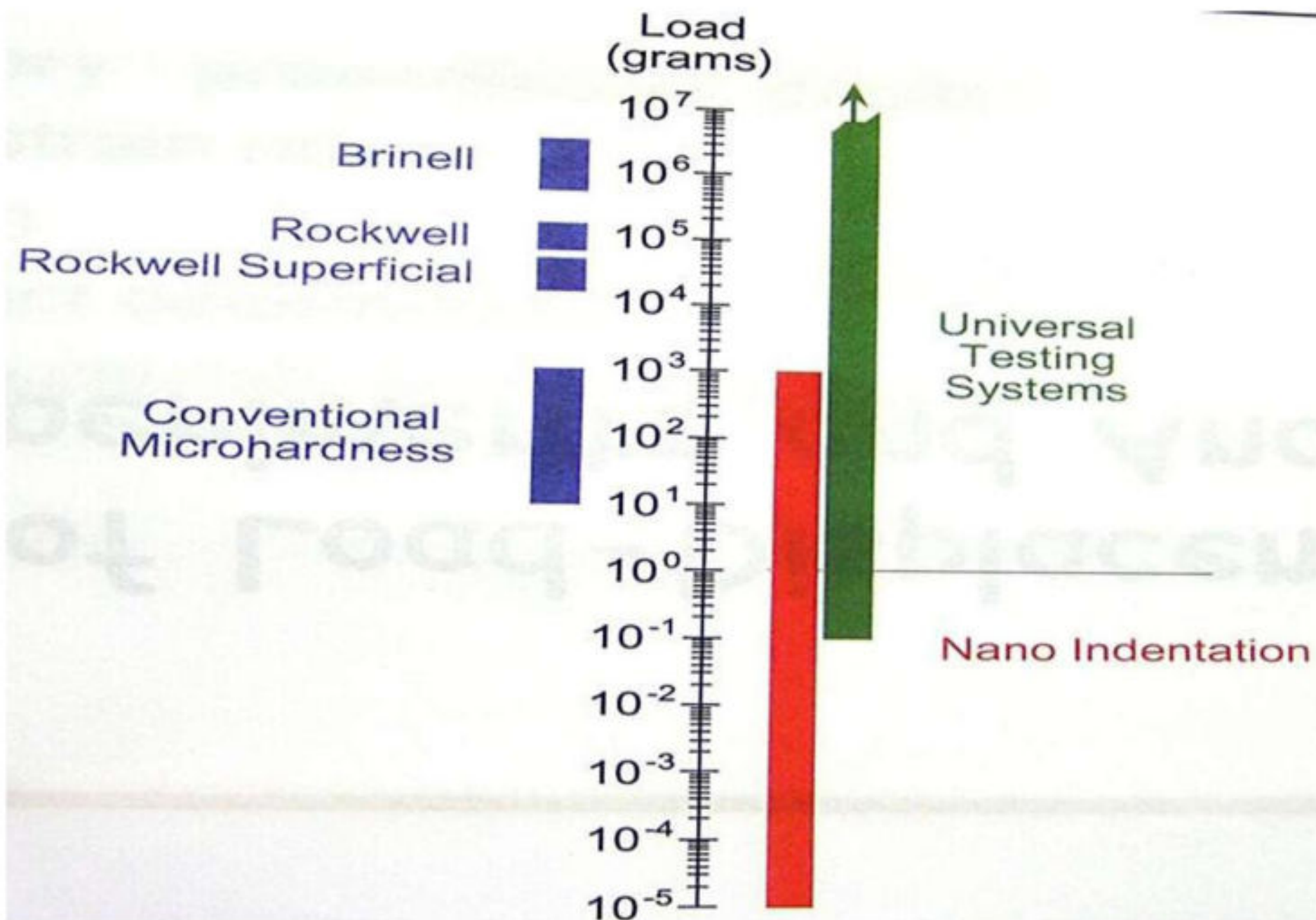
Berkovichův indentor trojboký jehlan



Vickers



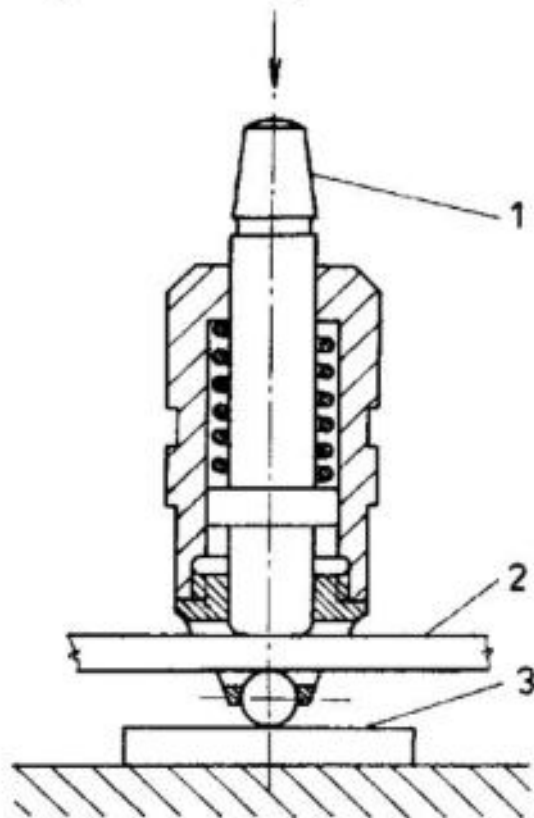
Zkoušky tvrdosti dle zatížení



Dynamické zkoušky tvrdosti

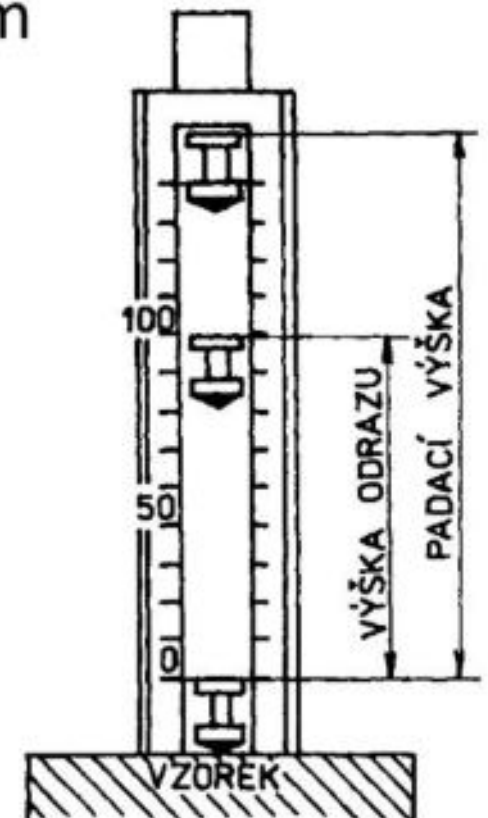
- méně přesné než statické
- zkušební tělíčko na zkušební vzorek působí rázem

Vnikací – plastická deformace povrchu zkušebního tělesa Poldiho nebo Baumannovo kladívko (**kulička, kladivo, pružina**)



Odrazové - Metoda Shoreho **přístroj Skleroskop**

Tvrdot dle výšky odrazu závaží s diamantovým hrotem



Zatížení

1. velkou rychlostí – **rázové zkoušky**
zkouška vrubové houževnatosti

2. mnohonásobně cyklicky opakuje

=

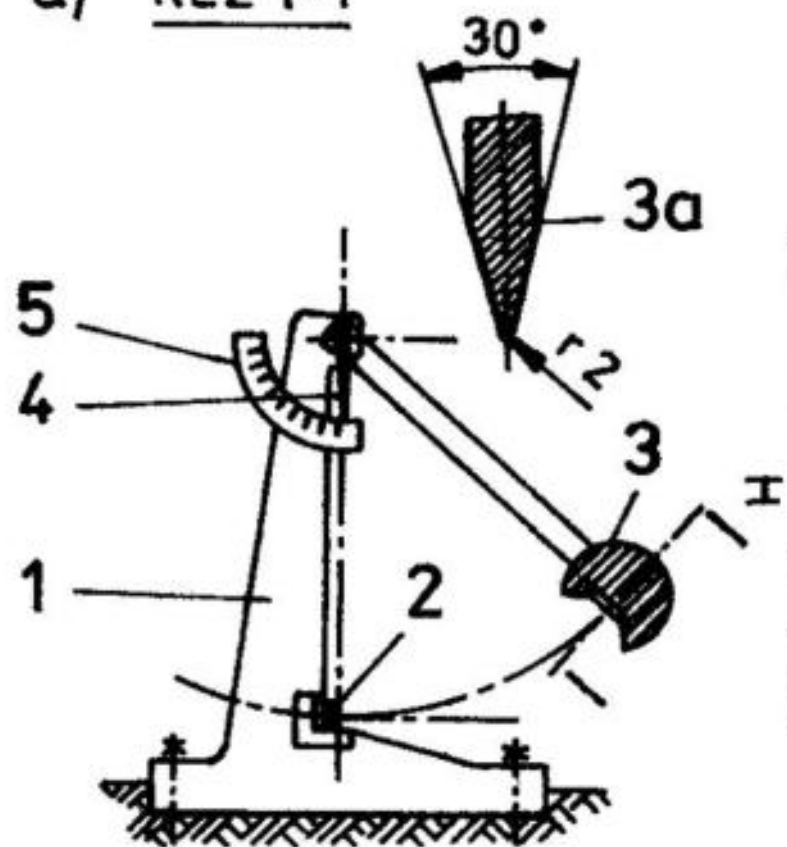
únavové zkoušky

Wöhlerova křivka

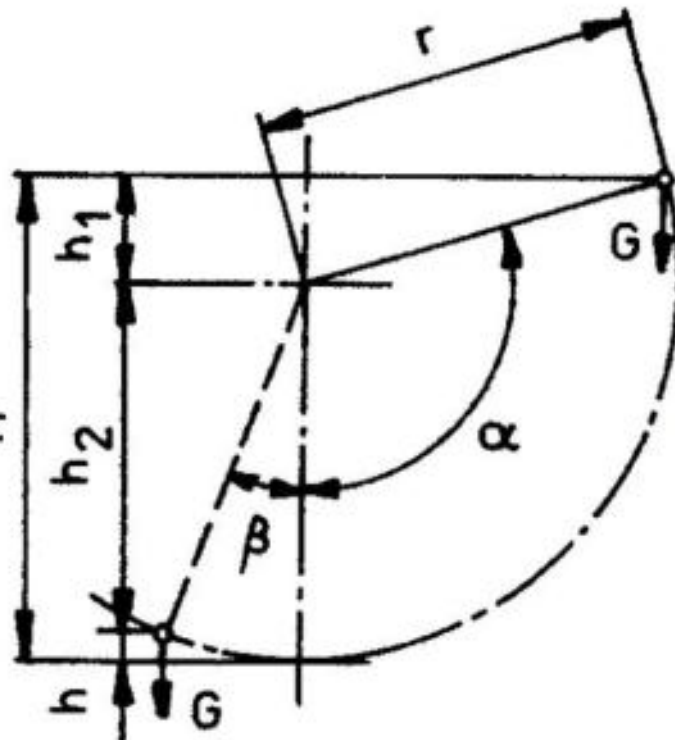
Charpyho kladivo

zkušební tyč má rozměry 10 x 10 x 55 mm

a) ŘEZ I-I



b)



a) schéma Charpyho kladiva: 1 – rám, 2 – zkušební tyč, 3 – kyvadlové kladivo, 3a – tvar břitu kladiva, 4 – vlečná ručka, 5 – stupnice; b) údaje pro výpočet nárazové práce: G – kývající hmota (hmotnost kladiva a části ramena); r – poloměr dráhy břitu

Vrubovou houževnatost určuje práce potřebná k přeražení tyče (změna polohové energie kladiva)

$$KC = \frac{K}{S_0} \left(J \cdot cm^{-2} \right)$$

$$K = G(H - h)$$

$$G = m \cdot g$$

$$K = \Delta E_p = m \times g \times (H - h)$$

Změřená nárazová práce K se označuje podle užitého vrubu buď KU, nebo KV

- kde
- KC – vrubová houževnatost (KCU nebo KCV)
 - K – nárazová práce
 - S_0 – plocha průřezu tyče pod vrubem v cm^2
 - g – zrychlení
 - m – hmotnost
 - H, h – výšky

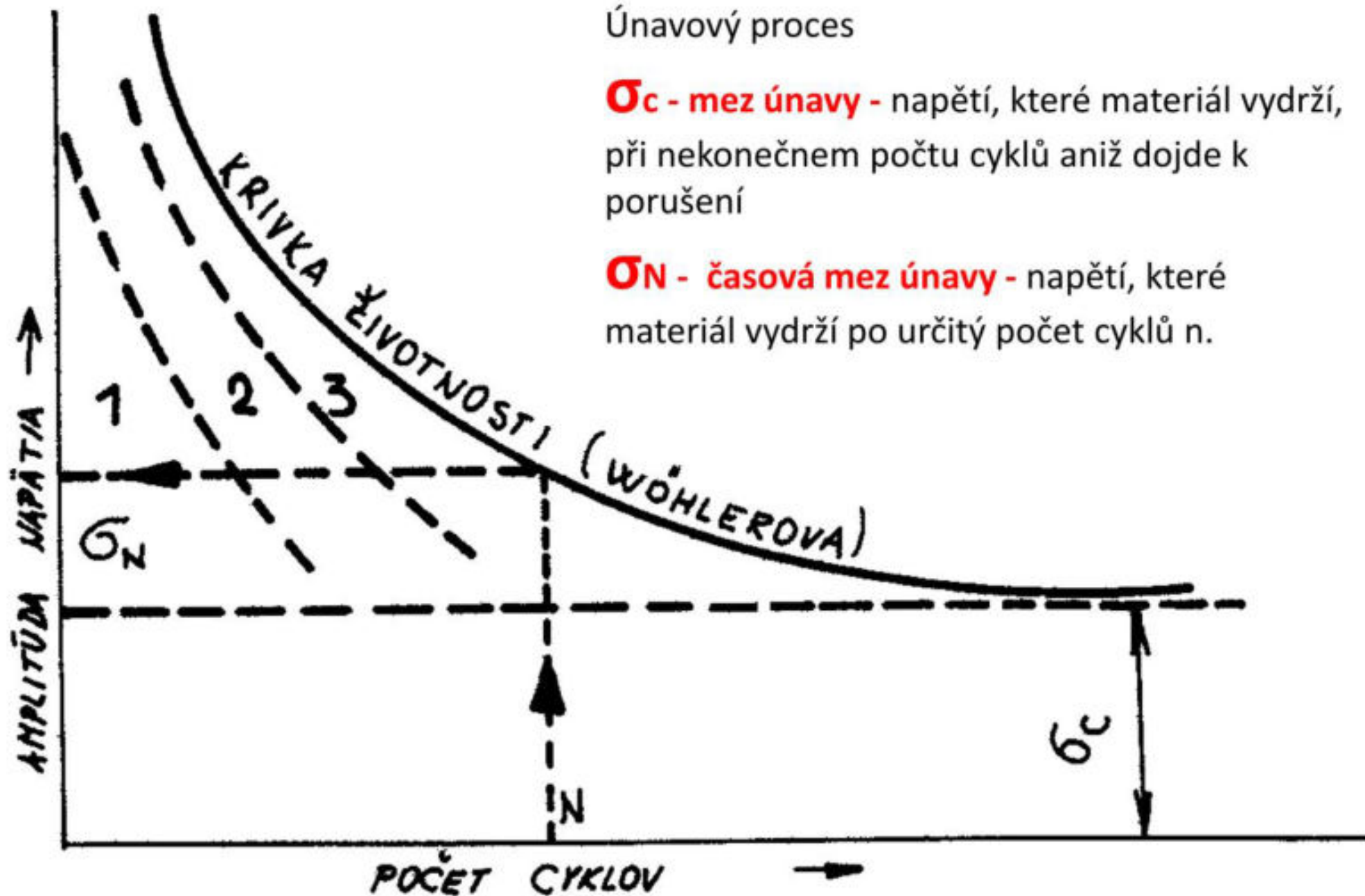
Únavové zkoušky

při opakovaném zatěžování i menší silou může dojít k porušení – ÚNAVOVÝ LOM, vícenásobné opakování.

Zkouška ohybu za rotace:

zkušební tyč v ložisku – točení, nepatrný pohyb – střídavé namáhání

Wöhlerova křivka



Únavový proces

σ_c - mez únavy - napětí, které materiál vydrží, při nekonečném počtu cyklů aniž dojde k porušení

σ_N - časová mez únavy - napětí, které materiál vydrží po určitý počet cyklů n .

Technologické zkoušky

= zkoušky materiálu, které posuzují jeho vhodnost pro danou technologii.

Často porovnávací zkoušky – porovnávají se 2 nebo více materiálů

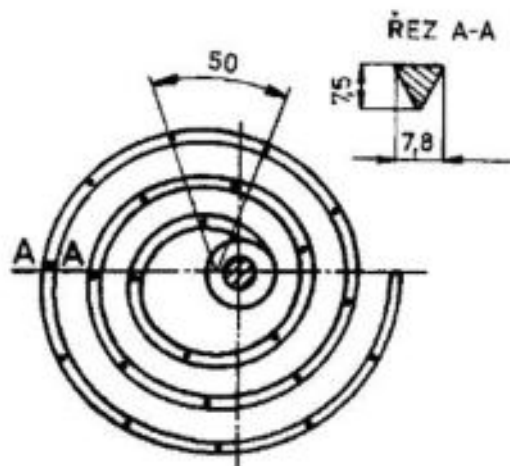
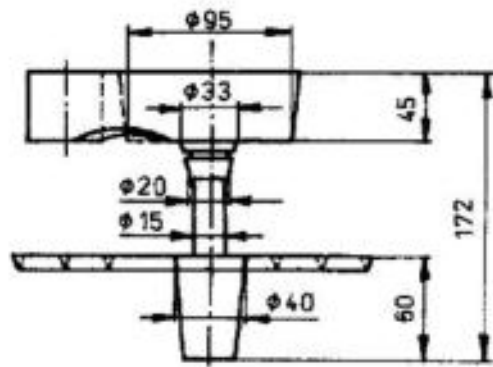
- 1. zkoušky slévatelnosti**
- 2. zkoušky svařitelnosti**
- 3. zkoušky tvárnosti**
- 4. zkoušky obrobitelnosti**

Technologické zkoušky

<https://katyd.cirkev.cz/clanky/ze-svatovitske-katedraly-se-rozezni-sv-dominik.html>
<https://www.ecorra.com/aktuality/>

1. zkoušky slévateľnosti

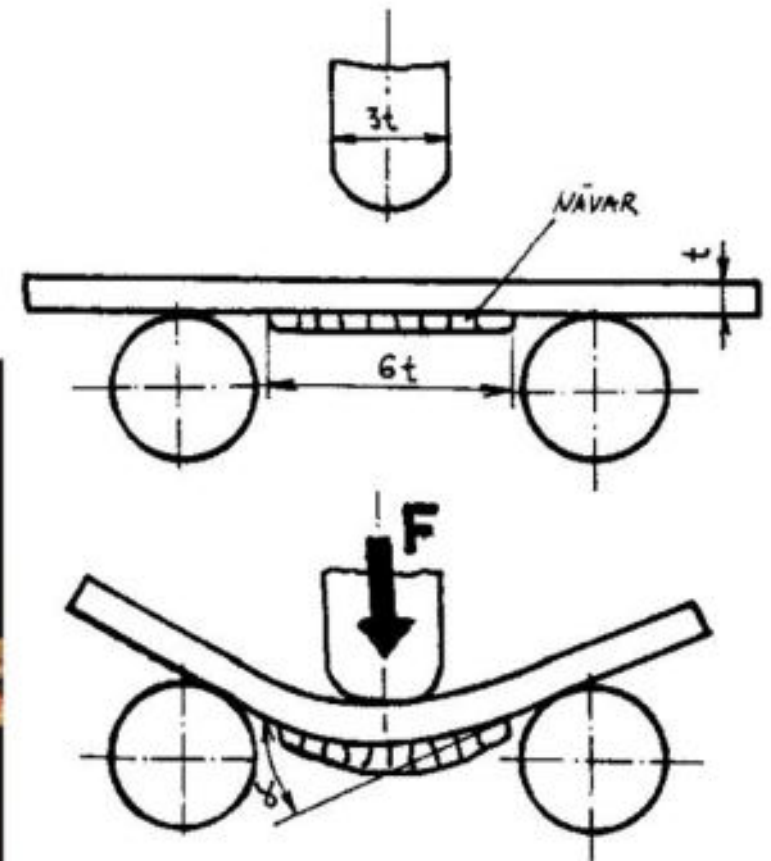
- ✓ Zabíhavost
- ✓ Smrštění



Curyho zkouška zabíhavosti pro šedou litinu.

2. zkoušky svařitelnosti

- ✓ Odolnosti svarových spojů proti vzniku trhlin (lámavosti) – předepsaný úhel ohybu bez trhliny
- ✓ Zkřehnutí – kontroluje se či hodnota KCU



Zkouška svařitelnosti (lámavosti svaru).

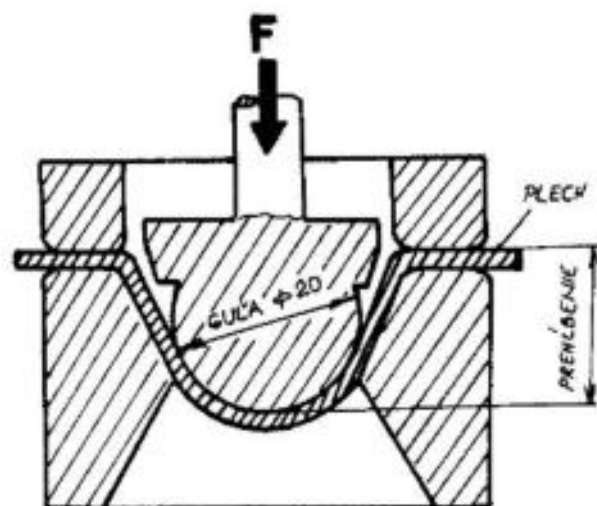
Technologické zkoušky



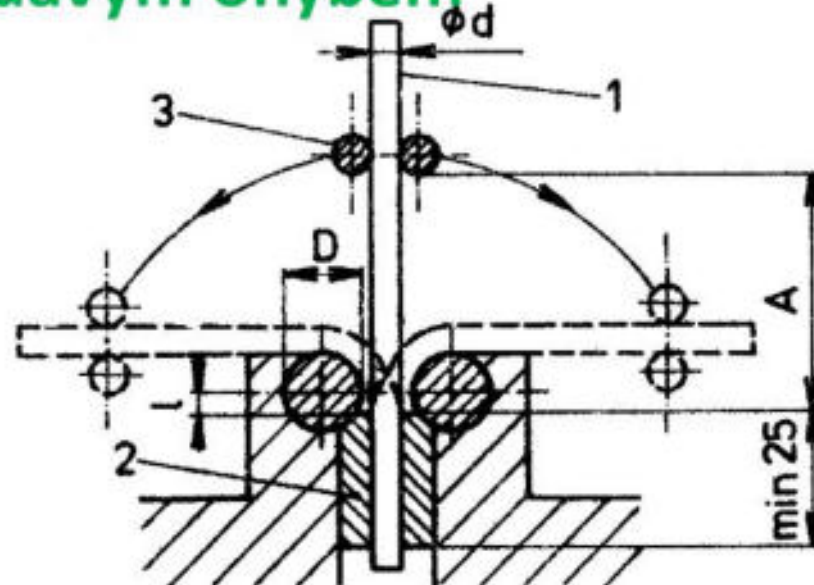
3. zkoušky tvárnosti (tvářitelnosti) – za studena, za tepla

- ✓ zkoušky plechů, drátů a trubek (do tloušťky 2 mm, určených pro zpracování ohýbaním, hlubokým tažením, lisováním a lemováním)
- ✓ tvárnost závisí na chemickém složení a struktuře materiálu, teplotě, způsobu a rychlosti deformace.

Zkouška hloubením dle Erichsen.



Zkouška plechu (drátu) střídavým ohybem



Zkoušky obrobitelnosti

- ✓ závisí na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, na řezném nástroji (typu, geometrii a materiálu nástroje) a na podmínkách, za nichž se obrobitelnost zkouší.

souhrnná vlastnost určující:

- jak snadno a s jakým výsledkem se daný materiál obrábí
- s jakou intenzitou se otupuje břit nástroje
- jakou práci musíme vynaložit na oddělení třísky
- příp. jaké dosáhneme drsnosti povrchu.



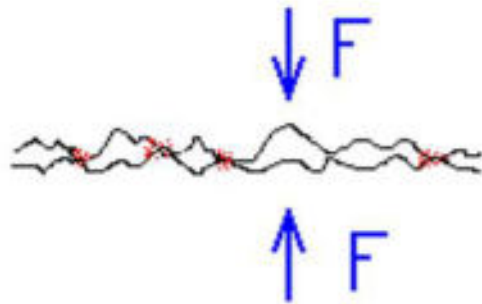
Odolnost proti povrchovému opotřebení

Druhy opotřebení:

- ADHEZIVNÍ
- ABRAZIVNÍ
- EROZIVNÍ
- KAVITAČNÍ
- ÚNAVOVÉ (kontaktní)
- VIBRAČNÍ
 - většinou kombinace a spolupůsobení teploty nebo koroze

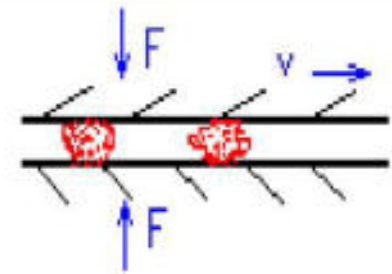
Povrchové opotřebení

Adhezivní opotřebení



- Adhezivní mikrospoje – vzájemným třením dochází k jejich porušení nebo deformacím
- Zlepšení – zvýším tvrdost – snížím tření

Abrazivní opotřebení



- Opotřebení účinkem tvrdých a drsných povrchů těles resp. částic mezi tělesy
- Závisí na:
 - velikosti částic
 - teplotě
 - povrchu
 - přítláčné síle
- Zk.: brusný kotouč + vzorek \Rightarrow hm. úbytek

Hodnocení – úbytkem objemu nebo hmotnosti

Povrchové opotřebení

Erozivní opotřebení

- Poškození povrchu – nerovnoměrné – **částicemi nesenými proudícími médii** (kapalina, plyn)
- Rýhování ploch, oddělení částic → dál fungují jako abrazivo

Kavitační opotřebení

- V důsledku proudění kapaliny → vznik a zánik kavitačních bublin při změně podmínek proudění

Zánik kavit → imploze → hydrodynamické nárazy na stěny materiálu → oddělování částic, poškození povrchu

Jsou i případy kdy dojde ke zpevnění povrchu

Děkuji za pozornost