

# Dynamické zkoušky

---

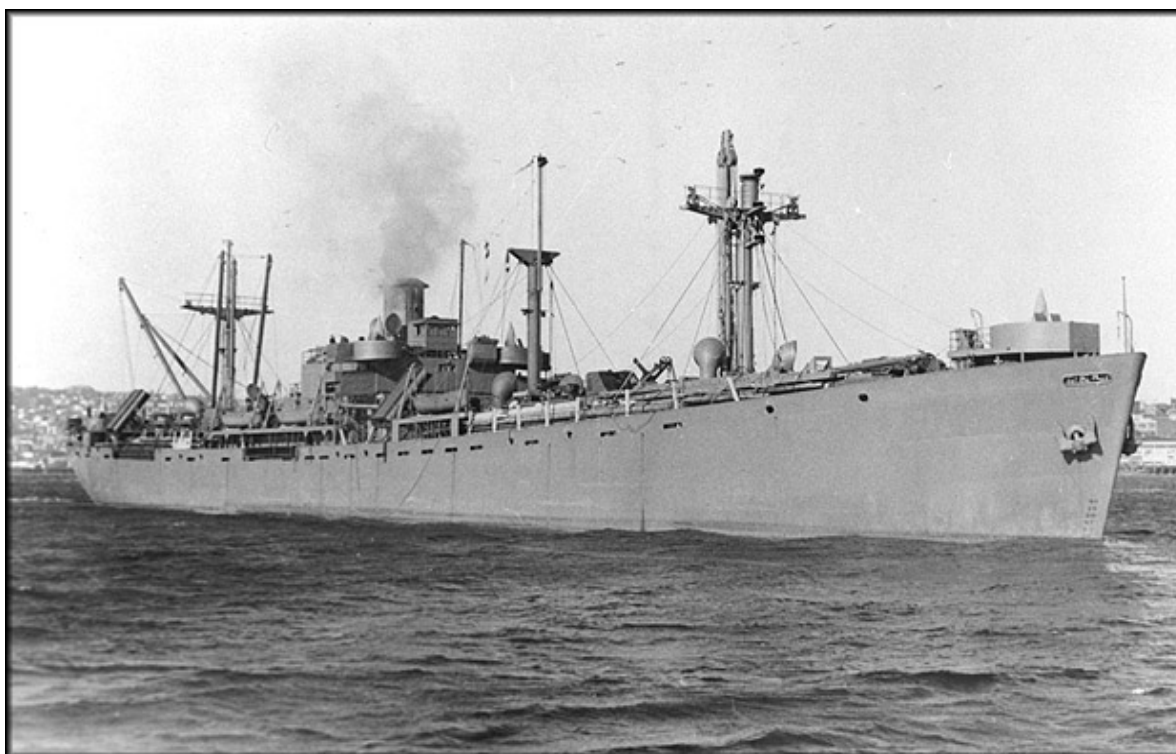
## Zajímavost z historie

Počátky výzkumu chování materiálu s trhlinou se datují do období II. světové války. V USA bylo vyrobeno cca 2 700 lodí třídy Liberty. Byly to první rozměrné konstrukce vyráběné svařováním (do té doby lodě pouze nýtované). Přibližně každá sedmá loď byla porušena křehkým lomem mimo bojovou akci.

Porušení lodí bylo zapříčiněno souhrou následujících faktorů:

- Konstrukce – většina lomů byla iniciována v rozích hranatých palubních otvorů, v nichž bylo koncentrováno napětí.
- Vlastnosti použitého materiálu – použitá ocel měla velmi nízkou dynamickou lomovou houževnatost. Dokonce tak nízkou, že některé lodě se rozlomily dříve, než byly nasazeny do služby v chladných vodách severního Atlantiku. Lomová houževnatost použitých oceli byla zcela dostatečná pro nýtované konstrukce, kde každá trhlina může být zachycena na nýtu; ve svařovaných konstrukcích však trhlina nenarazí na žádnou bariéru a může tak projít celým trupem.
- Technologie a kvalita výroby – svary zhotovené nezkušenými pracovníky obsahovaly poruchy podobné trhlinám.

Výsledkem bylo stanovení minimální hodnoty rázové energie tak, aby ocel byla schopná „práce“ i za nízkých teplot.



Obr. 1. Lod' třídy Liberty

## Dynamické zkoušky

Dynamické zkoušky se vyznačují rychlým zatěžováním, které se mění buď skokem – rázem, nebo opakovaně v určitých cyklech. Při dynamickém namáhání dochází často k porušení soudržnosti materiálu, i když zatěžující síla zdaleka nedosahuje velikosti síly odpovídající statické pevnosti. Účelem dynamické zkoušky je stanovení vlastností materiálu při působení dynamických sil. Rozeznáváme dynamické zkoušky rázové a únavové (při cyklickém namáhání).

Podle způsobu zatěžování se dynamická zkouška rázová dělí na zkoušku:

- v tahu (zatěžování háku jeřábu),
- v tlaku (kování),
- v ohybu (dynamická účinnost větru),
- v krutu (hřídele).

Zkouška rázem v ohybu je ze všech zkoušek nejpoužívanější a je velmi dobrým ukazatelem houževnosti (křehkosti) materiálu.

Zkouška rázem v ohybu hodnotí odezvu materiálu na rázové zatěžování – houževnatost. Houževnatost je materiálová vlastnost a lze ji charakterizovat jako schopnost materiálu zůstat při ohýbání a nárazech vcelku - bez tvorby trhlin. Nejčastěji používaná je zkouška podle Charpyho. Materiálovou charakteristikou určenou při zkoušce rázem v ohybu je nárazová práce. Zkouškou posuzujeme citlivost materiálu na koncentraci napětí v místě vrubu tyčinky. Hodnota vrubové houževnatosti je zvláště důležitá u tepelně zpracovaných ocelí nebo v místě svarů.

## Princip zkoušky – Charpyho kladivo

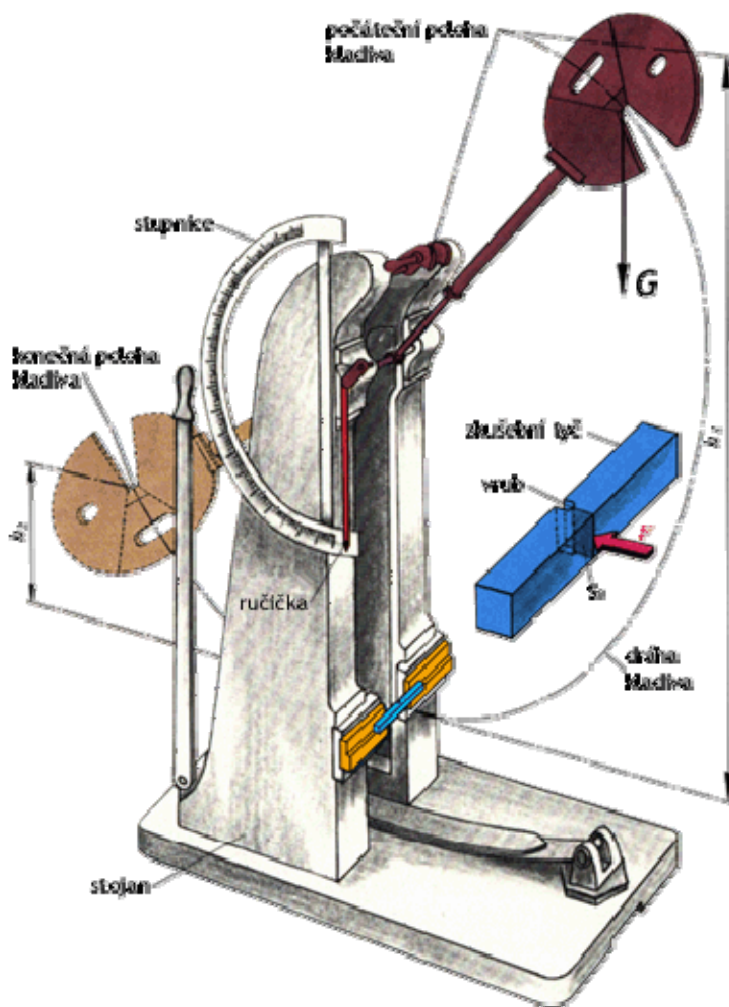
Stroje k vyvození rázového namáhání se nazývají kyvadlová kladiva. Těžké kladivo, otočné kolem osy, se zdvihne a upevní v počáteční poloze (viz obr. 2). Tím se kladivu udělí určitá energie. Zkušební tyč se umístí ve stojanu kyvadlového kladiva v jeho nejnižší poloze. Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje po kruhové dráze, narazí na zkušební tyč, přerazí ji a vykývne se do konečné polohy. Tato poloha je nižší než poloha počáteční, protože na

přeražení zkušební tyče se spotřebovala určitá práce. Hodnota vrubové houževnatosti  $KCU$  je dána poměrem energie spotřebované k přeražení zkušební tyče  $A_R$  a plochy (nejmenšího) průřezu tyče  $S_0$  (v místě vrubu).

$$KCU = \frac{A_R}{S_0} [\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}]$$

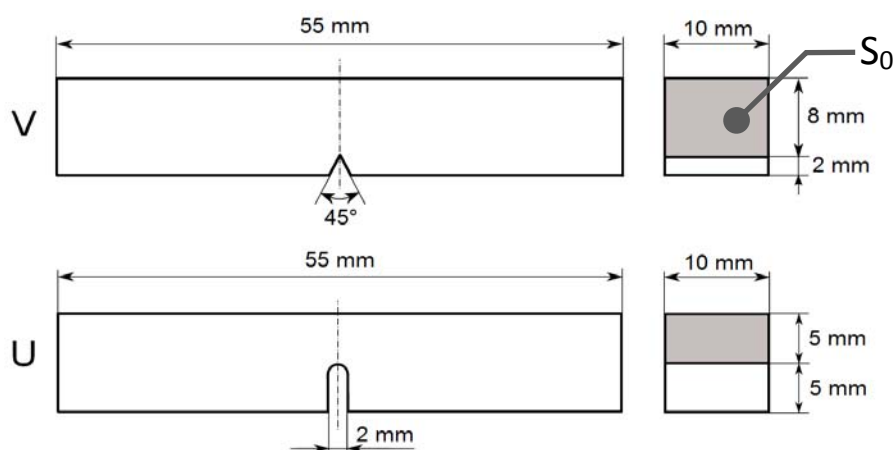
$$A_R = G(h_1 - h_2) [\text{J}] - \text{deformační rázová práce}$$

Běžně se používají Charpyho kladiva v rozsahu 0 – 450 J. Tato energie je dostatečná k porušení vzorku ve tvaru kvádrů s V nebo U vrubem. Pro zajímavost – energetická hodnota 100 ml nápoje Coca Cola je 180 kJ!



Obr. 2. Charpyho kladivo

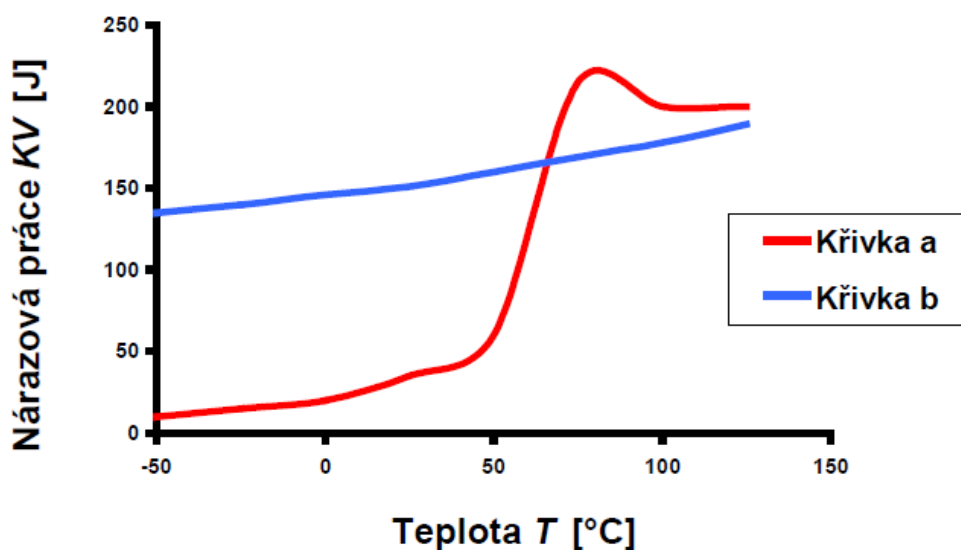
Vzhledem k vysoké houževnatosti oceli by v některých případech nemuselo dojít k přeražení zkušební tyče, ale pouze k její plastické deformaci. Z tohoto důvodu se vzorky opatřují vrubem. Pro zkoušky používáme zkušební tyče normalizovaného tvaru s průřezem 10x10 nebo 5x5 mm a délky 55 mm. Vzorek má uprostřed vrub tvaru U, hloubky 2mm, 3mm nebo 5mm při stejné šířce 2mm nebo ve tvaru písmene V. U křehkých materiálů nemá vrub vliv na výslednou hodnotu houževnatostí.



Obr. 3. Geometrie zkušebních vzorků s V a U vrubem

### Vyhodnocení zkoušky

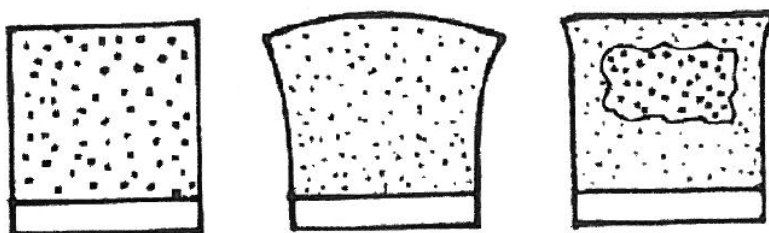
Zkoušky rázem v ohybu provádíme za různých teplot – dostaneme tak velké množství údajů o hodnotách nárazové práce za těchto teplot. Po grafickém zpracování těchto experimentálních výsledků získáme tzv. přechodové křivky. Pro některé materiály má uvedená závislost dramatický průběh (křivka a na obr. 4), pro některé vcelku nezajímavý (křivka b na obr. 4). Naneštěstí výraznou závislost nárazové práce na teplotě vykazují právě běžně používané konstrukční materiály – uhlíkové oceli s prostorově centrovanou kubickou mřížkou. Na křivce a je možno vysledovat přechodovou (tranzitní) oblast, v níž dochází v relativně úzkém intervalu teplot k velkému poklesu nárazové práce – dá se říct, že materiál při poklesu teploty přes uvedený interval zkřehne a přestane být tvárný.



Obr. 4. Přebodové křivky

### Struktura lomu

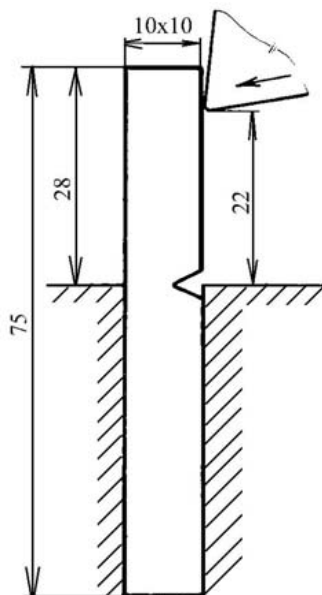
Mimo vrubovou houževnatost hodnotíme i vzhled lomové plochy. Z tohoto hlediska rozlišujeme křehký, houževnatý a smíšený lom. Křehký lom nevykazuje deformaci, na lomové ploše jsou znatelné větší krystalky. Houževnatý lom má okolí lomu deformované. Smíšený lom je kombinací předcházejících. Pokud se tyčinka přerazí, usuzujeme na křehký materiál zkoušeného vzorku. Pokud se tyčinka ohne, ale zároveň vznikne lom, pak zkoušený materiál je houževnatý.



Obr. 5. Křehký, tvárný a smíšený lom

## Zkouška dle Izoda

Izod navrhl odlišný způsob provedení zkoušky. Charpy ukládá zkušební tyč na dvě pevné podpory a vede ráz doprostřed proti vrubu, kdežto Izod vetknul tyč až ke vrubu do šaboty a na volný konec nechal působit ráz. Hlavní rozdíl obou způsobů je v tom, že u zkoušky Charpyho narazí kladivo na zkoušenou tyč v rovině vrubu, kdežto u zkoušky Izodovy je ráz veden na místo od vrubu vzdálené. Zkouška Izodova byla zavedena v Anglii a částečně i v USA.



Obr. 6. Princip rázové zkoušky dle Izoda

# Název úlohy:

## Dynamická zkouška rázová

---

### Zadání úlohy

- Proved'te rázovou zkoušku v ohybu u zkušební tyčinky.
- Vypočítejte vrubovou houževnatost materiálu zkušební vzorku.
- Nakreslete graf závislosti deformační rázové práce  $A_r$  na teplotě.

### Použitá měřidla a přístroje

U měřidel uveďte rozsah a přesnost.

- Posuvné měřítko
- Charpyho kladivo

### Nákres součásti

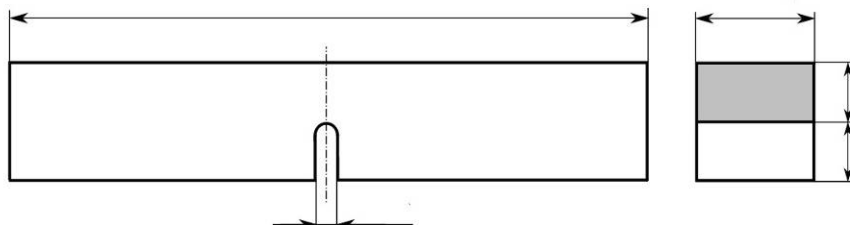
Nakreslete a zakótujte zkušební tyčinku



## Postup měření

### a) Rázová zkouška v ohybu

- Posuvným měřítkem změřte zkušební tyčinku a zakótujte



Obr. 7. Zkušební tyčinka

- Zkušební tyčinku vložte vrubem od kladiva mezi dvě podpěry ve spodní části Charpyho kladiva.
- Kladivo zdvihněte do horní polohy a zajistěte západkou (tím získá kladivo energii).
- Vlečnou ručičku na stupnici nastavte do polohy 0.
- Odjistěte západku.
- Kladivo padá po kruhové dráze dolů a svoji energii přerazí tyčinku.
- Po přeražení koná kladivo ještě pohyb po kruhové (překyv) dráze do tzv. konečné polohy, protože mu zůstala ještě část energie.
- Úhel této dráhy – překyv  $\beta$  ukáže vlečná ručička na stupnici.
- Zaznamenejte tento úhel  $\beta$  a deformační rázovou práci  $A_r$ .

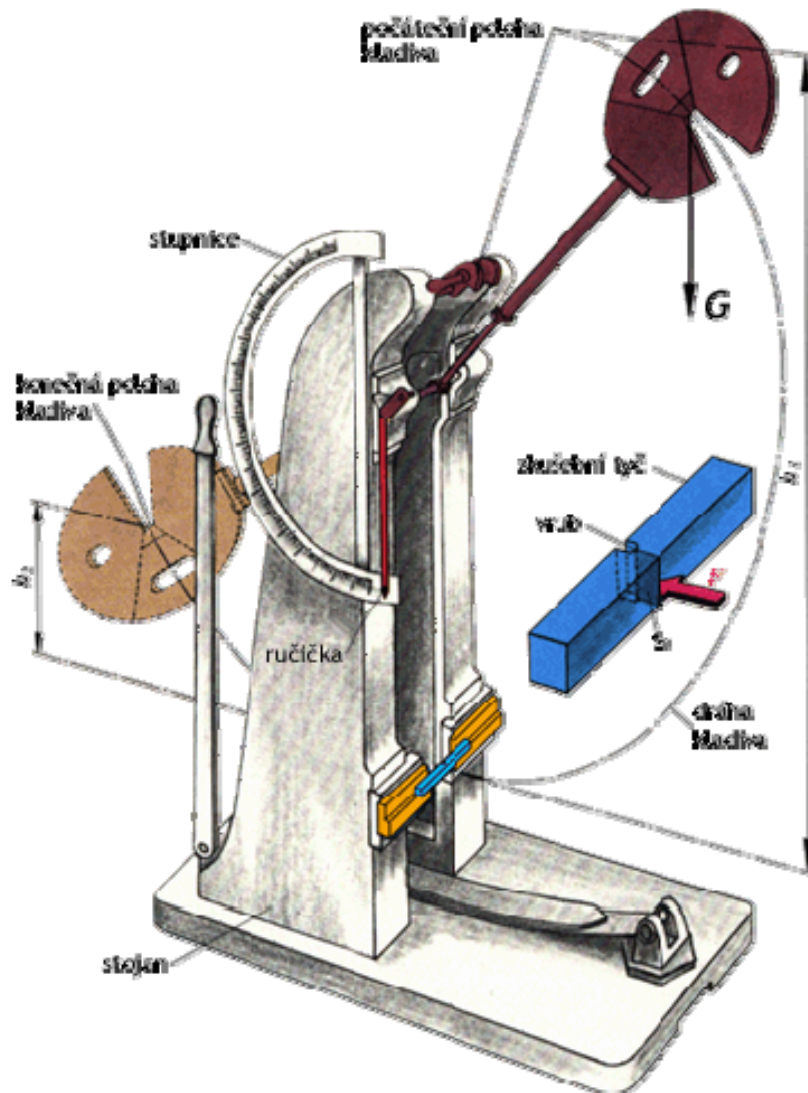
$\beta =$

$A_r =$

- Zjistěte parametry kladiva.

Hmotnost  $m = 2,035 \text{ kg}$

Rameno  $R = 380$



Obr. 8. Charpyho kladivo

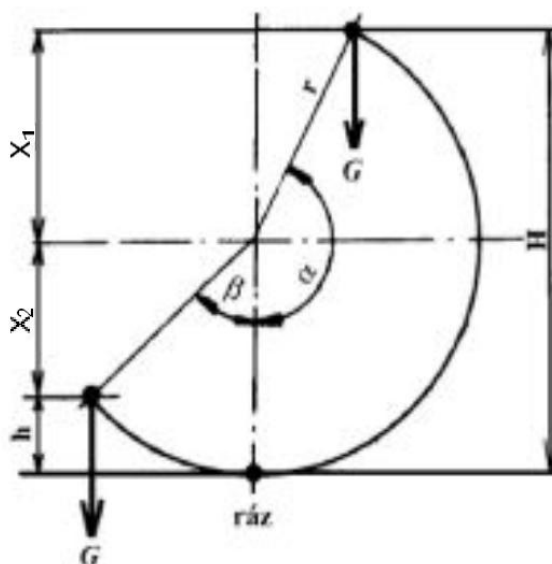
## b) Výpočet vrubové houževnatosti

- Vypočítejte spotřebovanou rázovou práci  $Ar$ .

$$Ar = G \cdot (H - h) \quad [J]$$

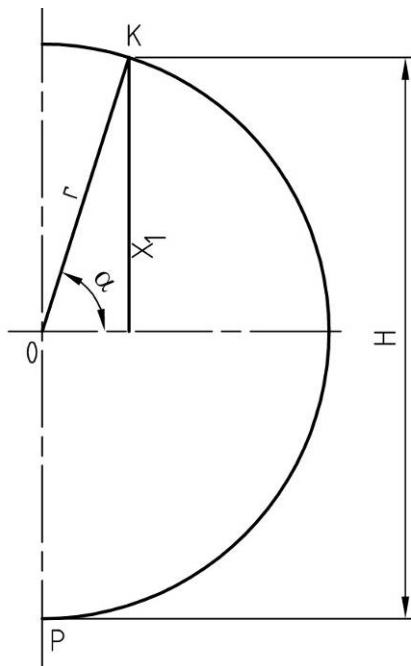
Tíhová síla  $G = m_k \cdot g \quad [N]$

Hmotnost kladiva  $m_k = 2,035 \quad [kg]$



Obr. 9. Schéma pro výpočet výšek  $H$ ,  $h$

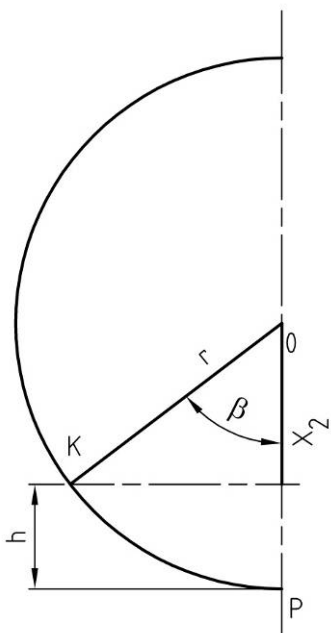
### Výpočet výšky kladiva H



$$H = r + x_1 \quad [mm]$$

$$x_2 = r \cdot \sin \alpha \quad [mm]$$

### Výpočet výšky kladiva h



$$h = r - x_2 \quad [mm]$$

$$x_2 = r \cdot \cos \beta \quad [mm]$$

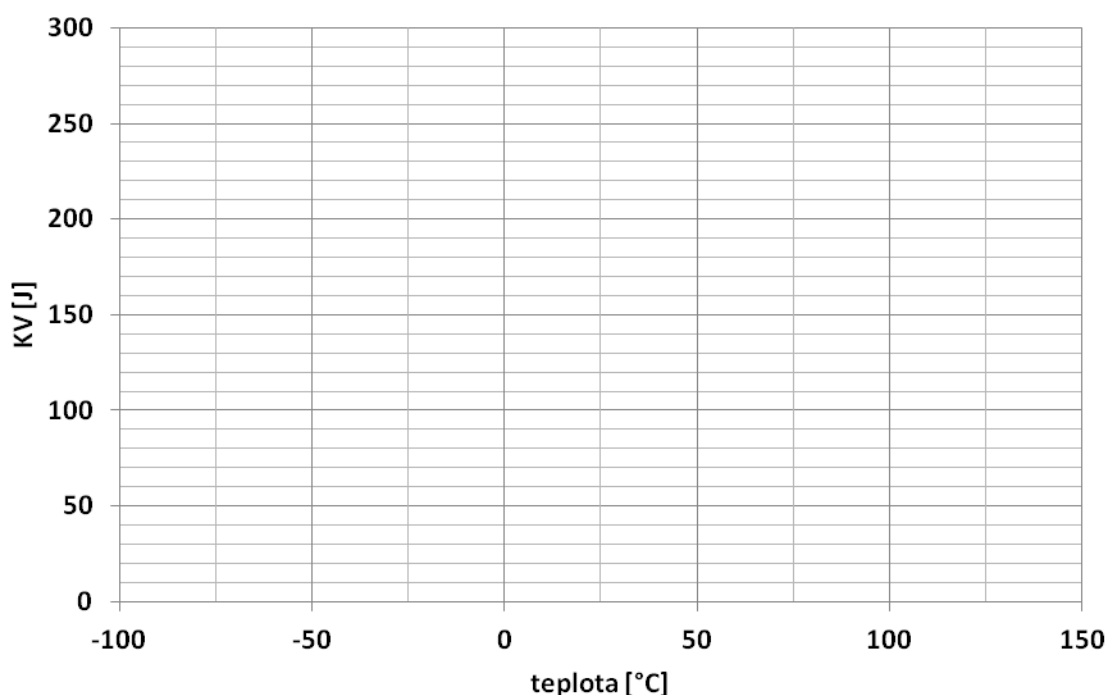
- Výpočet vrubové houževnatosti KCU [ J/cm<sup>2</sup>]

$$KCU = \frac{A_R}{S_o} \left[ \frac{J}{cm^2} \right]$$

*c) Graf teplotní závislosti a deformační rázové práce*

- V tabulce jsou uvedeny hodnoty nárazové práce v závislosti na teplotě zkoušky zkušebních tyčí s V-vrubem vyrobených z nízkouhlíkových ocelí o různém obsahu manganu. Závislost zakreslete do grafu.

Materiál	0 % Mn	0,5 % Mn	1,0 % Mn	2,0 % Mn
Teplota [°C]	KV [J]	KV [J]	KV [J]	KV [J]
-50	12	10	10	30
-25	15	15	20	260
0	18	20	40	260
25	20	35	100	245
50	25	60	225	260
75	30	200	230	260
100	45	200	230	255
125	180	200	225	260



## Závěr

- Porovnejte velikost rázové práce  $A_r$  (KV) zjištěnou na stupnici kladiva s vypočítanou hodnotou rázové práce  $A_r$  vyp.(KV)
- Podle vzhledu lomové plochy vzorku určete křehkost nebo houževnatost materiálu
- Jaký vliv má Mn na hodnotu nárazové práce při dané teplotě, která z ocelí je nejvhodnější pro použití za nízkých teplot.

## Použité zdroje

archiv autora

File:Epruvette charpy1.svg. *Wikimedia commons* [online]. 2010 [cit. 2012-08-12]. Dostupné z:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Epruvette\\_charpy1.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Epruvette_charpy1.svg)

Charpyho kladiva | PRODUKTY | Zkušební stroje LaborTech | charpyho kladivo, trhací stroje. *LaborTech* [online]. (c) 2009 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.labortech.cz/produkty/charpyho-kladiva>

Kompletní energetické tabulky. *Kompletní energetické tabulky - nutriční a energetické hodnoty více než 10400 potravin (kJ i kcal)* [online]. (c) 2006-8 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.lucy.cz/energeticke-tabulky/napoje-nealkoholicke/>

VLACH, Bohumil. *Mechanické vlastnosti a charakteristiky materiálů II*. Brno, 2002. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/Files/Vyuka/BUM/03-BUM.ppt>

VÝZKUMNÉ CENTRUM KOLEJOVÝCH VOZIDEL. *Oceli do nízkých a kryogenních teplot*. Plzeň, 2009. Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/download/nizke\\_teploty.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/nizke_teploty.pdf)

SPŠ KARVINÁ. *Strojní a technologická měření: Návod k řešení úloh pro SPŠ*. Karviná, 2006.

WW2Ships.com: Liberty Ships. *World War Two Ships* [online]. 2005 [cit. 2012-07-16]. Dostupné z: <http://www.ww2ships.com/usa/us-os-001-b.shtml>

Základy progresivních konstrukčních materiálů. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ. *Personalizace výuky prostřednictvím e-learningu* [online]. 2012 [cit. 2012-08-16]. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/ZPKM/index.htm>

MOLLIKOVÁ, E., P. KALÁB, L. STRÁNSKÝ a J. SEDLÁČEK. *ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU*. Brno, 2004. Dostupné z: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/umvi/zk.raz.ohybu.pdf>

ZKOUŠKA RÁZOVÁ OHYBOVÁ VRUBOVÁ. *STROJAŘI* [online]. b.r. [cit. 2012-08-02]. Dostupné z: [http://www.strojari.wz.cz/kom/razova\\_zkouska.htm](http://www.strojari.wz.cz/kom/razova_zkouska.htm)