

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Charpyho kladivo

Autor: **Martin STANĚK**

Vedoucí práce: **Ing. Václav KUBEC Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin STANĚK**
Osobní číslo: **S13B0078P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Modifikace Charpyho kladiva**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Cílem je vypracování konstrukce stávajícího stavu zkušebního stroje. Navrhněte možné úpravy konstrukce funkční části zkušebního stroje za účelem rozšíření možností měření.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše možností zkušebního stroje
2. Analýza stávajícího řešení, specifikace požadavků
3. Návrh variant funkčních částí stroje
4. Zhodnocení, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojího inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999, ISBN 80-7226-055-3.

SKÁLOVÁ, J., KOVAŘÍK, R., BENEDIKT, V. Základní zkoušky kovových materiálů. Plzeň: ZČU, 2005, ISBN 80-7043-417-1

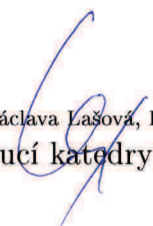
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Kubec, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Václav Kubec, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **23. září 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. září 2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat panu Ing. Václavovi Kubcovi, Ph.D., za jeho odborné rady, poskytnuté materiály a čas, který věnoval tvorbě této bakalářské práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Staněk	Jméno Martin	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kubec, Ph.D.	Jméno Václav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Modifikace Charpyho kladiva		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	39	TEXTOVÁ ČÁST	39	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce pojednává konstrukci Charpyho kladiva a jeho modifikaci. Na základě teorie jsou navrženy varianty modifikace. Vybraná varianta je zpracována ve formě výkresů.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Charpyho kladivo, ráz, modifikace, houževnatost, zkušební tělesa, CAD</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Staněk	Name Martin	
FIELD OF STUDY	2301R016 "Machine design"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kubec, Ph.D.	Name Václav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Modification of the Charpy impact tester		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	39	TEXT PART	39	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis deals with the design of Charpy impact tester and its modification. On the basis of the theory are designed variants modification. The option is processed in the form of drawings.
KEY WORDS	Charpy impact tester, impact, modifications, toughness, test specimens, CAD

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat panu Ing. Václavovi Kubcovi, Ph.D., za jeho odborné rady, poskytnuté materiály a čas, který věnoval tvorbě této bakalářské práce.

OBSAH

Obsah.....	1
Přehled použitých zkratk a symbolů	2
Úvod.....	3
1 Historie	4
1.1 Georges Charpy.....	4
2 Zkouška rázem v ohybu metodou charpy	5
2.1 Podstata metody	5
2.2 Zkušební tělesa	7
2.3 Zkušební teplota.....	7
2.4 Přenesení zkušební vzorku	7
2.5 Překročení kapacity stroje	8
2.6 Neúplný lom.....	8
2.7 Zaklínění zkušební tělesa	8
2.8 Nárazová práce a vrubová houževnatost.....	8
2.9 Vlivy na hodnotu vrubové houževnatosti.....	9
2.10 Přechodová teplota	10
2.11 Vzhled lomu	15
2.12 Příčné rozšíření	16
3 Analýza stávajícího řešení	19
3.1 Odčítání naměřených hodnot	20
3.2 Rám.....	21
3.3 Držák kladiva.....	22
3.4 Čelisti	23
3.5 Rameno s kladivem a břit.....	24
3.6 Shrnutí.....	24
4 Návrh čelistí.....	25
4.1 Varianty čelistí	26
4.2 Výběr vhodné varianty	30
4.3 Pevnostní simulace a výběr materiálu	31
4.4 Výsledné konstrukční řešení.....	34
Závěr.....	36
Bibliografie	37
Seznam obrázků	38
Seznam tabulek.....	39
Seznam příloh.....	39

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČSN	Československá státní norma
HMH	Metoda von Mises
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
MIT	Massachusettský technologický institut
MKP	Metoda konečných prvků
USA	Spojené státy americké
3D	Trojrozměrný

Pozn. V práci jsou používány veličiny a jednotky všeobecně známé. Méně známé veličiny jsou vysvětleny v textu.

ÚVOD

Předkládaná bakalářská práce se zabývá vytvořením modelu Charpyho kladiva a návrhem úpravy konstrukce funkční části zkušebního stroje za účelem rozšíření možností měření. Toto téma bakalářské práce bylo vybráno z důvodu možnosti návrhu konstrukčního řešení. Které bude vytvářeno pomocí 3D CAD systému.

Důvodem rozšíření možností měření je potřeba zkoušení sérií zkušebních vzorků odlišných rozměrů než na které je stávající Charpyho kladivo navrženo. A zároveň zmenšení časové náročnosti při změně uložení zkušebních vzorků jiných rozměrů.

Model Charpyho kladiva byl vytvořil ve spolupráci se společností COMTES FHT. V této společnosti byl model tvořen s přispěním místních odborníků, kteří přispěli svými zkušenostmi a znalostmi k objasnění dané problematiky zkoušení pomocí Charpyho kladiva.

Při výběru ideální varianty bylo použito čtyřbodové hodnocení metodou VDI 2225. Na pevnostní analýzu byla použita metoda konečných prvků (MKP). Touto metodou bylo zjištěno, v jakých oblastech bude návrh nejvíce namáhaný a jakých vlastností by měl dosahovat navržený materiál.

Cílem je navrhnout výměnné čelisti Charpyho kladiva. Výměnná část čelistí by měla být snadno demontovatelná, ale zároveň by měla zachovávat správnou polohu zkušebního vzorku.

1 HISTORIE

Charpyho kladivo se využívá při provádění zkoušky rázem v ohybu podle normy ČSN ISO 148-1 (42 0381). Při této zkoušce se zjišťuje vrubová houževnatost kovových a plastových materiálů. Zkouška byla důležitá pro porozumění poškození lodí během druhé světové války. Tato zkouška je vysoce využívaná v průmyslu využívá se při výrobě tlakových nádob, mostů a dalších věcí.

1.1 GEORGES CHARPY



Obrázek 1- Georges Charpy [3]

Georges Augustin Albert Charpy (1865-1945) byl synem námořního důstojníka Camille Benoid Charpy a Léontine Duflos. Narodil se v Oullins (Rhône). Měl jednoho bratra a byl ženatý se slečnou Marié à Mlle Baudry. [5]

Georges Charpy vystudoval na École Polytechnique což je nejvýznamnější a nejznámější vysoká škola technického zaměření. Je známa svými vysoce náročnými přijímacími testy, ale také tím, že jsou její absolventi považováni za elitu a ve Francii má škola podobné postavení jako například v USA MIT. Absolventi školy také zastávají většinu řídicích míst ve francouzském průmyslu a ekonomice. Z řad studentů a absolventů vzešlo také několik držitelů Nobelovy ceny či jiných prestižních vědeckých ocenění. [4]

Byl jmenován profesorem na Ecole des Mines. Jeho odborná oblast bylo od chemie po organizaci práce. Vynalezl test materiálů, který nese jeho jméno. Díky tomuto testu se zlepšila kvalita oceli, aby se předešlo nehodám kvůli její křehkosti. Jeho test nacházel uplatnění na

stavbách lodí, upozornil na stovky LIBERTY LODÍ, které byly porušeny v průběhu druhé světové války. Později Charpyho test byl rozšířen na jiné slitiny a plast. Byl použit k určení přechodových teplot křehkých tvárných ocelí. Bylo zjištěno, že trup Titaniku měl vyšší přechodovou teplotu než 0°C, takže loď narazila na ledovec a trup se roztrhl místo toho aby se zdeformoval. Charpy dále studoval oceli křemíku, které se používají k omezení ztrát v transformátorech. Na škole v Mines ho pokoušel jeden z jeho studentů. [5]

1.1.1 HISTORIE

Charpyho kladivo bylo vynalezeno francouzským vynálezcem Georgesem Augustinem Albertem Charpym (1. 09. 1865 – 25. 11. 1945) a Američanem SB Russellem.

1.1.2 DEFINICE

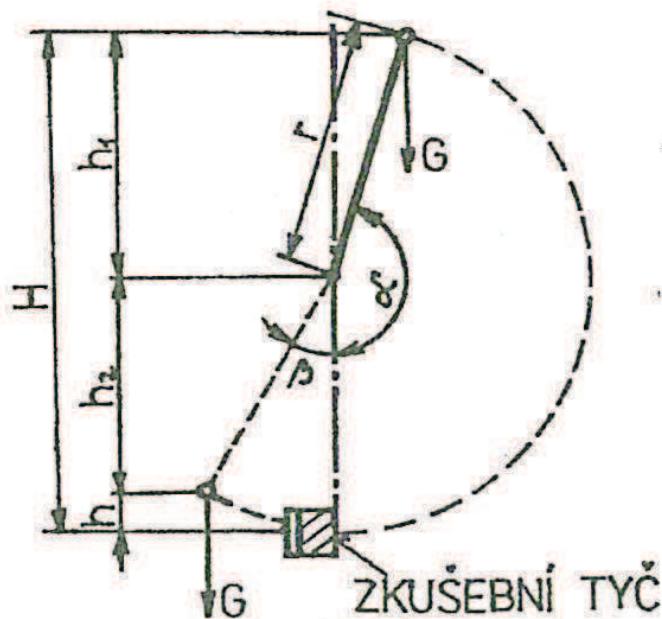
Charpyho kladivo se skládá z kyvadla o určité hmotnosti a délky. Na konci kyvadla je kladivo s břitem buď o poloměru 2mm, nebo o poloměru 8 mm. Kyvadlo na ložiscích otočně uloženo v rámu. Rám vyroben jako mohutný odlitek, na kterém jsou umístěny podpory, které drží zkušební tyč.

2 ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU METODOU CHARPY

Zkouška rázem v ohybu patří mezi mechanické zkoušky dynamické. Při této zkoušce dochází k plastické deformaci zkušební tyče, a proto se při ní bude významně uplatňovat vliv vnějších činitelů, kterými jsou teplota a rychlost deformace. Na rozdíl od zkoušky tahem, kde osově zatížení zkušební tyče působilo staticky, působí kyvadlové kladivo při zkoušce rázem v ohybu na zkušební tyč rázem, při kterém je rychlost kladiva v okamžiku úderu v rozmezí 4,5 ms⁻¹ až 7 ms⁻¹. Při plastické deformaci, tedy i při zkoušce rázem v ohybu, dochází v deformovaném objemu kovu ke zpevnování, které se projevuje změnami mechanických vlastností (např. nárůst meze kluzu). Zpevnění při plastické deformaci souvisí s podstatným zvýšením odporu krystalové mřížky proti pohybu dislokací. Obecně platí, že čím větší je rychlost deformace, tím je větší přetvárný odpor materiálu a je větší zpevnění. Zvýšená teplota při plastické deformaci však na druhé straně usnadňuje procesy odpevnovací, při kterých se uvolňuje uložená deformační energie, a obnovují se původní vlastnosti kovu. Podle způsobu namáhání zkušební tyče je možno kromě zkoušky rázem v ohybu rozlišit na zkoušku rázem v tahu, rázem v tlaku a zkoušku rázem v krutu. [1]

2.1 PODSTATA METODY

Zkouška rázem v ohybu je základní zkouškou hodnocení houževnatosti materiálů. Je měřítkem citlivosti materiálu vůči místní koncentraci napětí při dynamickém namáhání rázem. Zkouška se provádí na kyvadlovém kladivu a zjišťuje se práce, spotřebovaná k přeražení zkušební tyče.



Obrázek 2- Pohyb kladiva při zkoušce rázem v ohybu [1]

Spotřebovaná práce se určí pomocí vztahu:

$$K = G (H - h) = G (h_1 + h_2) = G [r \cdot \cos(180 - \alpha) + r \cdot \cos \beta] = Gr (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Spotřebovaná práce by se měla vztahovat na jednotku deformovaného objemu zkušební tyče, který je však velmi proměnlivý podle zkoušeného materiálu a podmínek zkoušky. Jeho zjišťování (např. metalografickou metodou) je časově náročné. Proto se zavedl pojem vrubová houževnatost, která vychází ze snadno měřitelného průřezu zkušební tyče v místě vrubu. Účelem vrubu je, aby se získal co nejmenší deformovaný objem, neboť ve vrubem zeslabeném průřezu nastává při rázu koncentrace napětí a deformace se rozloží pouze v blízkém okolí průřezu. Průběh napětí při deformaci zkušební tyče je na obrázku. Takto definovaná hodnota vrubové houževnatosti tedy nemá fyzikální charakter a nedá se přímo použít ve výpočtech. Výsledky zkoušky rázem v ohybu jsou proto navzájem srovnatelné pouze tehdy, byly-li zjištěny na stejných zkušebních tyčích a za stejných podmínek zkoušky. [1]

Tato zkouška spočívá v přeražení zkušebního tělesa s vrubem jedním rázem kyvadlového kladiva za podmínek definovaných v pozdějších kapitolách. Vrub ve zkušebním tělese má danou geometrii a nachází se uprostřed mezi dvěma podporami na protilehlé straně k místu úderu při zkoušce. Při zkoušce se určuje energie absorbovaná při rázové zkoušce.

Protože hodnoty při rázu se u mnoha kovových materiálů mění s teplotou, musí se zkoušky provádět při specifikované teplotě. Jedná-li se o jinou teplotu okolí, musí být zkušební těleso zahřáté nebo ochlazené na danou teplotu za řízených podmínek. [2]

2.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESA

Standartní zkušební těleso musí mít délku 55 mm a čtvercový průřez o stranách 10 mm. Ve středu délky musí být vrub tvaru V, nebo U.

Jestliže není možné z materiálu vyrobit standartní zkušební těleso, musí se použít jedno z náhradních zkušebních těles o šířce 7,5 mm, 5 mm nebo 2,5 mm.

Povrchová drsnost zkušebního tělesa musí být lepší než $R_a = 5 \mu\text{m}$ s výjimkou konců tělesa.

Je-li předmětem hodnocení tepelně zpracovaný materiál, musí být konečné mechanické opracování zkušebního tělesa včetně výroby vrubu provedeno po konečném tepelném zpracování, pokud není prokázáno, že nedochází k rozdílům v porovnání s opracováním před tepelným zpracováním. [2]

2.3 ZKUŠEBNÍ TEPLOTA

Pokud není stanoveno jinak, musí být zkouška provedena při teplotě $23 \pm 5^\circ\text{C}$. Pokud je specifikovaná jiná teplota, musí být zkušební těleso temperováno při této teplotě s přesností $\pm 2^\circ\text{C}$.

Při temperování, buď zahřívání, nebo chlazení v kapalném médiu, musí být zkušební těleso umístěno v nádobě na mřížce nejméně 25 mm nade dnem nádoby a pokryto nejméně 25mm kapaliny a musí být vzdáleno nejméně 10 mm od stěn nádoby. Médium musí být stále mícháno a udržováno na dané teplotě jakýmkoliv vhodným způsobem. Doporučuje se, aby přístroj použitý k měření teploty média byl umístěn uprostřed skupiny zkušebních těles. Teplota média musí být udržována na specifikované hodnotě v rozmezích $\pm 1^\circ\text{C}$ nejméně po dobu 5 minut.

Při temperování, buď zahřívání, nebo chlazení v plynném médiu, se musí zkušební těleso umístit v komoře nejméně 50 mm od nejbližšího povrchu. Jednotlivá zkušební tělesa musí být od sebe oddělena mezerou nejméně 10 mm. Médium musí neustále cirkulovat a musí být udržováno na specifikované teplotě jakýmkoliv vhodným způsobem. Doporučuje se, aby přístroj použitý k měření teploty média byl umístěn uprostřed skupiny zkušebních těles. Teplota plynného média se musí udržovat na specifikované hodnotě v mezích $\pm 1^\circ\text{C}$ po dobu nejméně 30 minut.

2.4 PŘENESENÍ ZKUŠEBNÍHO VZORKU

Pokud je zkouška prováděna při jiní než okolní teplotě, nesmí mezi okamžikem, kdy je zkušební těleso vyjmuto z ohřívacího nebo chladičského média a okamžikem úderu bříty uběhnout více než 5 s.

Zařízení pro přenos zkušebního tělesa musí být konstruováno a použito takovým způsobem, aby se teplota zkušebního tělesa udržela v přípustném teplotním rozsahu.

Části zařízení, které jsou v kontaktu se vzorem během přenosu z média do stroje, musí být temperovány spolu se vzorky.

Pozornost musí být věnována zajištění, aby zařízení pro centrování zkušebního tělesa na opěrách nezpůsobilo, aby se zlomené konce nízkoenergetických vysoce pevných zkušebních těles neodrazily zpět od tohoto zařízení do kladiva a nezpůsobily tak chybně vysokou hodnotu energie. Bylo prokázáno, že mezera mezi koncem zkušebního tělesa ve zkušební poloze a

zařazením pro centrování nebo pevnou částí stroje musí být větší než přibližně 13 mm, protože jinak mohou být části vzorku při lomu odraženy zpět do kladiva.

Pro přenos zkušebních těles z temperovacího média do příslušné zkušební polohy jsou často používány samo středící kleště.

2.5 PŘEKROČENÍ KAPACITY STROJE

Hodnota absorbované energie K nesmí přesáhnout 80 % počáteční potenciální energie K_p . Jestliže absorbovaná energie přesahuje tuto hodnotu, musí být absorbovaná energie označena jako přibližná a musí být ve zkušebním protokolu uvedeno, že hodnota překročila 80 % kapacity stroje.

V ideálním případě se zkouška provádí při konstantní rychlosti rázu. Při zkoušce na zařízení typu kyvadlového kladiva rychlost v průběhu lomu klesá. V případě vzorků, jejichž rázové energie se blíží kapacitě kyvadlového kyvadla, rychlost kyvadlového kladiva v průběhu lomu klesá až k hodnotě, která neumožňuje získání přesných hodnot rázových energií.

2.6 NEÚPLNÝ LOM

Pokud při zkoušce nedojde k úplnému lomu zkušebního tělesa, může být rázová energie ve zkušebním protokolu uvedena nebo použita k vyhodnocení průměrné teploty spolu s výsledky kompletně přeražených zkušebních těles.

2.7 ZAKLÍNĚNÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

Dojde-li k zaklínění jakéhokoliv zkušebního tělesa ve stroji, musí být výsledky ignorovány a stroj celkově zkontrolován s ohledem na poškození, které může ovlivnit jeho kalibraci.

Zaklínění nastane v případech, kdy je přelomené zkušební těleso zachyceno mezi pohyblivými a nepohyblivými částmi zkušebního stroje. Výsledkem může být značná absorpce energie. Zaklínění může být rozpoznáno pomocí druhotných známek úderu, protože je spojeno s existencí protilehlých stop na vzorku.

2.8 NÁRAZOVÁ PRÁCE A VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST

Jako výsledek zkoušky se určuje buď nárazová práce, nebo vrubová houževnatost. Posuzuje se také vzhled lomu a příčné rozšíření zkušební tyče.

Nárazová práce K [J] je práce, která se spotřebuje na přeražení zkušební tyče. Zjišťuje se na stupnici kyvadlového kladiva.

Vrubová houževnatost KC [$J \cdot cm^{-2}$] je podílem nárazové práce K a počátečního příčného průřezu zkušební tyče S_0 v místě vrubu. Vypočte se podle vzorce:

$$KC = \frac{K}{S_0} [J \cdot cm^{-2}]$$

Vrubová houževnatost se uvádí s přesností na 1 $J \cdot cm^{-2}$ při KC větší než 10 $J \cdot cm^{-2}$, a s přesností na 0,1 $J \cdot cm^{-2}$ při KC do 10 $J \cdot cm^{-2}$.

Při zkoušce rázem v ohybu se nepřihlíží ke ztrátám počáteční energie kladiva v důsledku ztrát kinetickou energií odpadávajících polovin zkušební tyče po jejím přeražení, ztrát třením konců zkušební tyče o povrch opěr a ztrát při plastické deformaci povrchu zkušební tyče pod břitem, kladiva v okamžiku rázu.

Zkouška rázem v ohybu je důležitým doplňkem základních zkoušek materiálu. Je velmi dobrým ukazatelem plastických vlastností. Používá se při porovnání ocelí málo odlišných pevnostních hodnot a často při hodnocení tepelně ovlivněné oblasti svarových spojů. Charakterizuje stav tepelného zpracování a náchylnosti ke křehkému lomu.

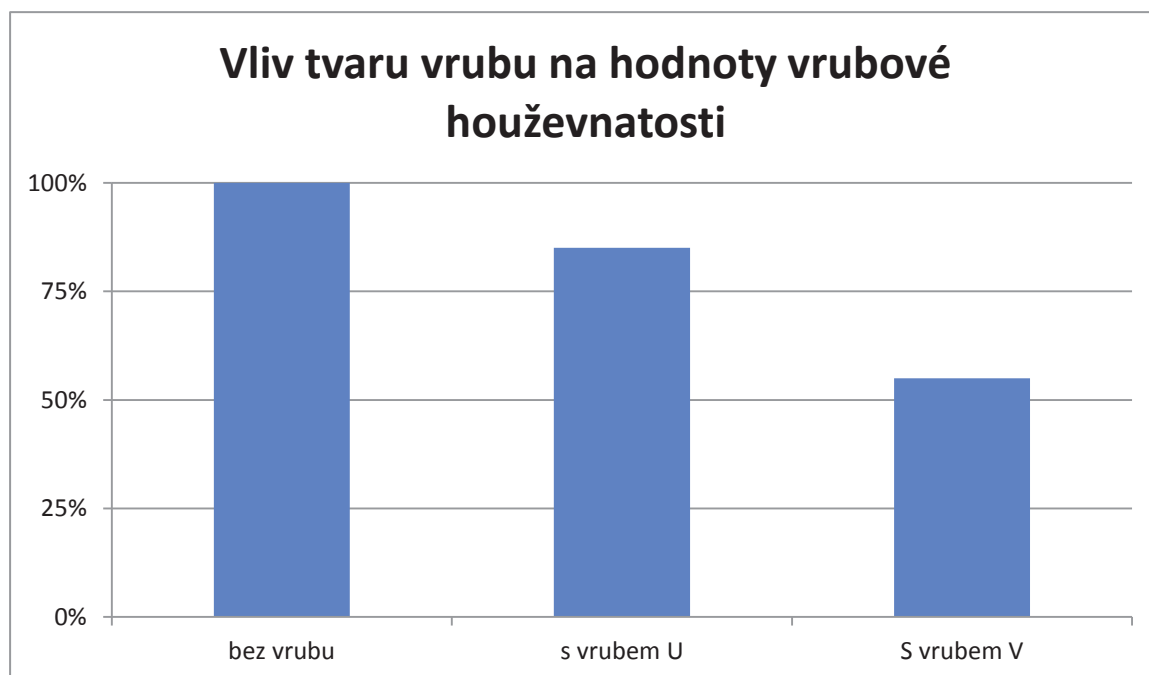
Zkouška rázem v ohybu má značný význam při zjišťování přechodové teploty. Často se jí také používá ke stanovení vrubové houževnatosti oceli, která byla plasticky deformována tahem nebo tlakem za studena a poté podrobena ohřevu 250°C/1 h (umělé stárnutí).

2.9 VLIVY NA HODNOTU VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI

Na hodnotu vrubové houževnatosti má vliv zejména struktura materiálu (chemické složení oceli, její tepelné a mechanické zpracování), teplota, rychlost deformace, tvar vrubu, hloubka vrubu, šířka zkušební tyče a orientace zkušební tyče a podélné osy vrubu vzhledem ke směru vláken výrobku.

2.9.1 TVAR VRUBU

Při rázovém namáhání konstrukce jsou pro lom nebezpečné místa s vruby (závity, drážky, otvory, náhlá zmenšení průřezu, dutiny, vměstky), neboť vrub působí jako místní koncentrátor napětí. Čím více je u zkušební tyče vrub ostrohranný bez zaoblení, tím při zkoušce rázem v ohybu dostáváme nižší hodnoty vrubové houževnatosti (Obrázek 3). Příčinou různé zjišťované hodnoty vrubové houževnatosti při různém tvaru je to, že při jiném tvaru vrubu je napětí rozděleno a jsou jiné plasticky deformované objemy v okolí vrubu.



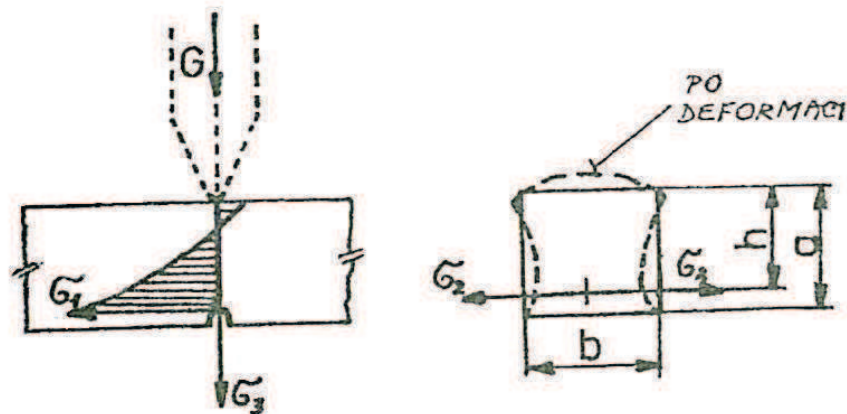
Obrázek 3-Vliv tvaru vrubu na hodnoty vrubové houževnatosti [1]

2.9.2 HLOUBKA VRUBU

Na hloubku vrubu je obzvláště citlivý houževnatý materiál, křehký materiál je na ni poměrně necitlivý. U houževnatého materiálu se při rázu plasticky deformuje značný objem materiálu v okolí vrubu. S rostoucí hloubkou klesá tato deformace a při zkoušce zjistíme zmenšování vrubové houževnatosti. U křehkého materiálu se zkušební tyč před rozlomením vůbec nedeformuje, tak že se hloubka vrubu nemůže uplatnit. Všeobecně platí, že mělký a ostřejší vrub dovoluje jemnější rozlišení houževnatosti.

2.9.3 ŠÍŘKA ZKUŠEBNÍ TYČE

V okamžik rázu působí na dně vrubu hlavní tahové napětí σ_1 ve směru podélné osy tyče, příčné tahové napětí σ_2 ve směru osy vrubu a tahové napětí σ_3 kolmo k σ_1 i σ_2 . Napětí je ovlivňováno hlavně hloubkou a ostroostí vrubu, napětí σ_2 závisí hlavně na délce vrubu, tj. na šířce zkušební tyče. Narůstá-li šířka tyče (je různá podle druhu materiálu) však vzniká lom předčasně a je křehký, překročilo se mezní příčné napětí σ_2 .



Obrázek 4-Průběh napětí ve zkušební tyči [1]

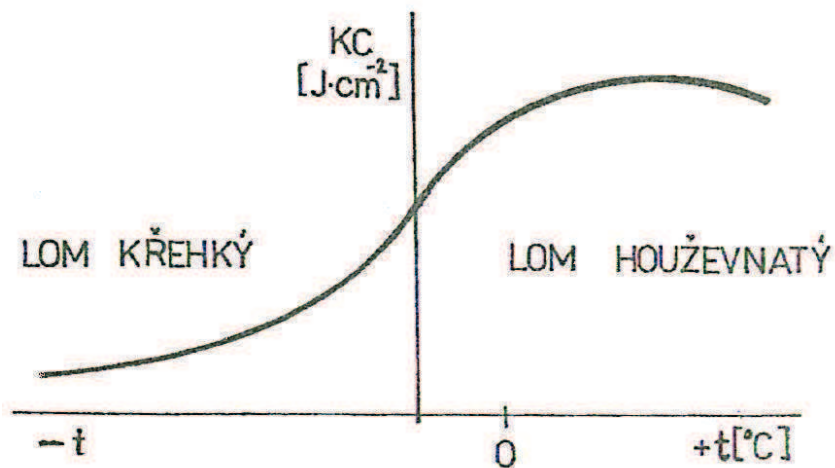
2.9.4 ORIENTACE ZKUŠEBNÍ TYČE KE SMĚRU TVÁŘENÍ

Nejvyšších hodnot vrubové houževnatosti se dosahuje v případě, že podélná osa zkušební tyče má orientaci rovnoběžnou směrem tváření, tj. se směrem vláken. V tomto případě je podélná osa vrubu kolmá na směr tváření. Nejnižší hodnoty vrubové houževnatosti vykazují zkušební tyče, jejich podélná osa je kolmá na směr tváření (Obrázek 4). Kromě těchto dvou základních orientací u tvářených plechů je možno u tvářených válcových polotovarů a tvářených nádob rozlišovat směr podélný, radiální a tangenciální. V každém z těchto tří směrů se dosahují jiné hodnoty vrubové houževnatosti.

2.10 PŘECHODOVÁ TEPLOTA

2.10.1 VLIV TEPLoty NA VRUBOVOU HOUŽEVNATOST

Na výsledek zkoušky rázem v ohybu má výrazný vliv teplota, při které se zkouška provádí. Snižuje-li se teplota při zkoušce, klesá nárazová práce potřebná k přeražení zkušební tyče. K tomuto poklesu nárazové práce dochází buď prudce v určité oblasti teplot, nebo je pokles pozvolný (Obrázek 5).

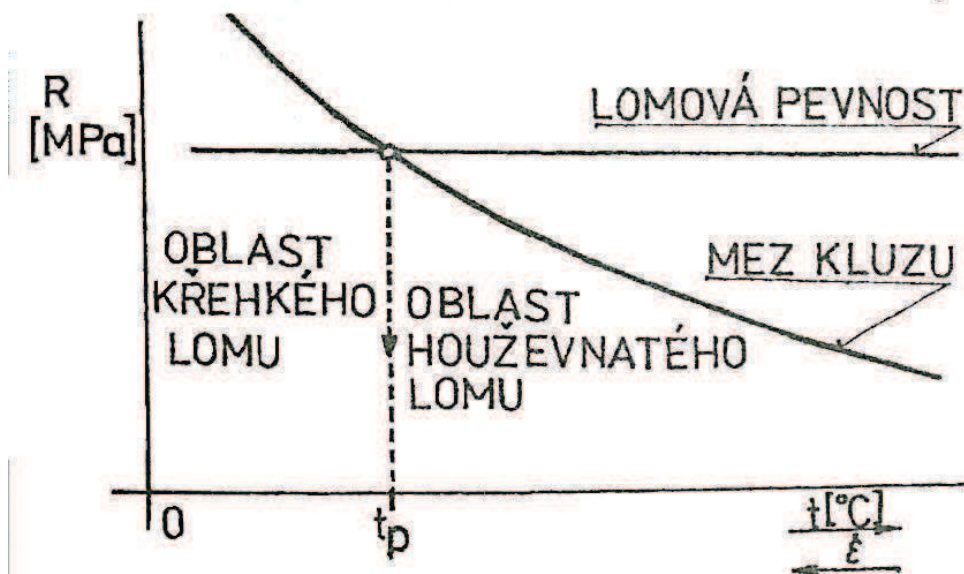


Obrázek 5-Závislost vrubové houževnatosti na teplotě [1]

Z lomových ploch přeražených zkušebních tyčí je patrné, že se vzhled lomu mění v závislosti na teplotě. Za vyšších teplot zjišťovaný houževnatý (tvárný) lom se při poklesu teploty mění v lom křehký, který obecně charakterizuje nižší teploty. Teploty, při které přechází houževnatý lom do lomu křehkého, se nazývá přechodová (tranzitní) teplota. Určuje se z křivky teplotní závislosti vrubové houževnatosti (Vidalova křivka), získané na souboru více zkušebních tyčí, přerážených při různých teplotách. Přechodová teplota je důležitá charakteristika vlastností ocelí, mnohdy je v praxi důležitější nežli znalost nejvyšší hodnoty vrubové houževnatosti sledované oceli.

2.10.2 TEORIE VZNIKU PŘECHODOVÉ TEPLoty

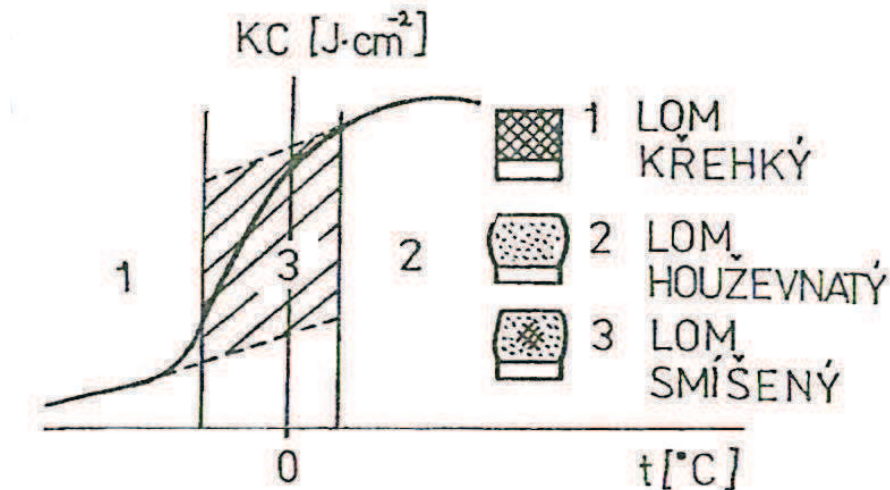
Vznik přechodové teploty vysvětlují Ludwik a Joffe. Podle těchto autorů lze předpokládat, že se v závislosti na teplotě a rychlosti deformace lomová pevnost významněji nemění, kdežto mez kluzu je velice závislá na jejich změně (Obrázek 6)

Obrázek 6-Závislost lomové pevnosti a meze kluzu na teplotě t a rychlosti deformace $\dot{\epsilon}$

Křivky lomové pevnosti a meze kluzu se protnou v bodě, který odpovídá přechodové teplotě t_p . Vzhledem k rozptylu jejich hodnot vzniká kromě oblasti tvárného (houževnatého) a křehkého lomu oblast lomu smíšeného (Obrázek 7).

Křivka teplotní závislosti absorbované energie (křivka KV/T) znázorňuje absorbovanou energii jako funkce zkušební teploty pro daný tvar zkušební vzorku.

Všeobecně se tato křivka získává tak, že se jednotlivými hodnotami proloží aproximační křivka. Tvar křivky vykazující přechodové chování se rozlišuje mezi oblastí horních prahových hodnot, přechodovou oblastí a oblastí spodních prahových hodnot.



Obrázek 7-Vzhled lomu při zkoušce rázem v ohybu v závislosti na teplotě

2.10.3 ZPŮSOBY ZJIŠŤOVÁNÍ PŘECHODOVÉ TEPLoty

Pro zjišťování přechodové teploty neplatí žádná závazná norma. Přechodová teplota je definována různě, a proto je více možností jejího zjišťování. Je možno použít některého z následující způsobu ke stanovení t_p :

1. Nejnižší teplota, při níž je lom zkušební tyče v celém průřezu houževnatý.
2. Teplota, při níž houževnatý lom tvoří 50% celkové lomové plochy zkušební tyče.
3. Teplota odpovídající střední hodnotě vrubové houževnatosti (podle Daviděnka):

$$KC_{stř.} = \frac{KC_{max} + KC_{min}}{2}$$

4. Teplota odpovídající inflexnímu bodu křivky teplotní závislosti vrubové houževnatosti
5. Teplota odpovídající dohodnuté hodnotě vrubové houževnatosti např. 35 J. cm⁻² (pro svařované konstrukce s $Re < 280$ MPa) nebo 59 J. cm⁻² (SSSR, normy výpočtu tlakových nádob). Tento způsob se v technické praxi používá nejčastěji.

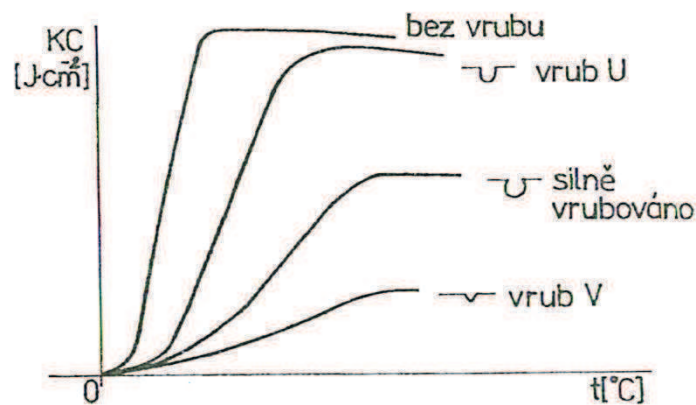
2.10.4 VLIVY NA POSUV PŘECHODOVÉ TEPLoty

Průběhy teplotní závislosti vrubové houževnatosti se mění nejen podle druhu zkoušeného materiálu, ale i podle jeho strukturního stavu, který je dán jednak technologií výroby a jednak provozními podmínkami. Hovoří se o tzv. posuvu křivky teplotní závislosti vrubové

houževnatosti k vyšším teplotám. Tento posuv je pro praxi nežádoucí. Podmínkou bezpečného provozu konstrukce je, aby teplota provozní byla vždy vyšší, nežli je přechodová teplota oceli, ze které je konstrukce vyrobena.

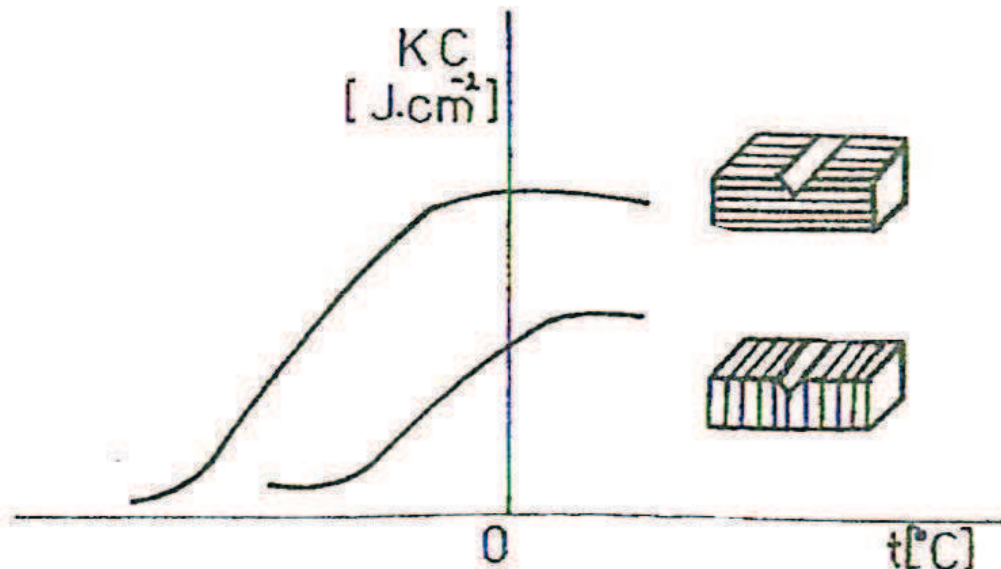
Přechodová teplota není materiálovou konstantou. Je stejně jako sama houževnatost ovlivněna celou řadou faktorů. Vlivy na posuv přechodové teploty lze shrnout následovně:

1. Tvar a velikost vrubu na zkušební tyči. Čím je vrub větší a ostřejší, tím více se t_p posouvá k vyšším teplotám. Příčinou je vznik víceosé napjatosti.
2. Rychlost deformace. Obecně platí, že čím je větší rychlost deformace, tím více se t_p posouvá k vyšším teplotám. Citlivost vrubové houževnatosti na rychlost deformace je malá, jsme-li v oblasti teplot daleko na t_p . V okolí t_p však může poměrně malé zvýšení rychlosti deformace způsobit podstatné snížení vrubové houževnatosti.



Obrázek 8-Vliv vrubu na přechodovou teplotu [1]

3. Vliv orientace podélné osy zkušební tyče ke směru tváření. Tvářením vzniká vláknitost, textura v materiálu. Vliv textury na hodnotu KC a posuv t_p je patrný z (Obrázek 9)



Obrázek 9-Vliv textury na posuv přechodové teploty [1]

4. Chemické složení ocelí. Přechodovou teplotu zvyšuje uhlík, kyslík, měď, fosfor, dusík. Snižuje ji mangan, křemík (pouze do 0,3 %), nikl, hliník, molybden, titan, bor.
5. Stárnutí ocelí. Projevuje se podstatným zvýšením t_p , a to zejména u nízkouhlíkové oceli (kolem 0,1% C). Přispívá k němu fosfor, dusík a kyslík v oceli.
6. Technologie tváření a tepelného zpracování. Podle provedení druhu tepelného zpracování nebo tváření se může t_p buď zvyšovat, nebo snižovat. Obecně platí:

Přechodovou teplotu zvyšují:

- kalení
- tváření za studena (deformace tlakem, malá deformace tahem)
- postupy, které mají za následek zhrubnutí struktury
- postupy, které mají za následek heterogenitu struktury

Přechodovou teplotu snižují:

- žíhání
- zušlechťování
- tváření za studena, po kterém následuje rekrystalizace
- postupy, které mají za následek zjemnění struktury. Čím je menší velikost feritického zrna, tím je nižší t_p .
- Postupy, které mají za následek vznik homogenní struktury.

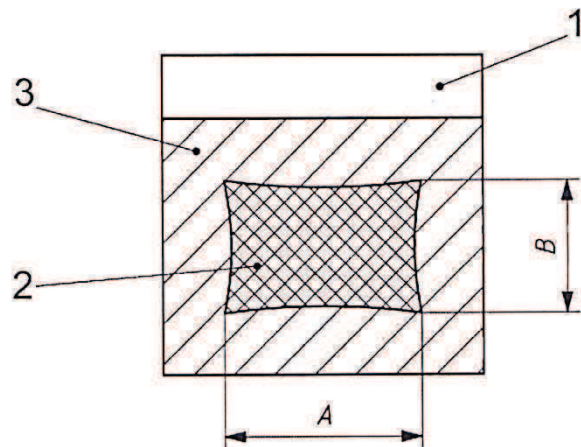
2.11 VZHLED LOMU

Lomová plocha zkušebních těles Charpy se často hodnotí prostřednictvím procent smykového lomu, ke kterému došlo. Čím větší je procento smykového lomu, tím vyšší je vrubová houževnatost materiálu. Lomová plocha většiny zkušebních vzorků Charpy vykazuje směs jak smykového, tak i křehkého lomu. Protože toto hodnocení je vysoce subjektivní, doporučuje se, aby se nepoužívalo v materiálových specifikacích.

2.11.1 POSTUPY

Procento smykového lomu se obecně určuje libovolnou z následujících metod:

- Změří se délka a šířka štěpné části („lesklé“ části) lomové plochy, jak je uvedeno na (Obrázek 10) a z (Obrázek 11) se určí procento smykového lomu;
- Porovná se vzhled lomu zkušebního tělesa s mapou vzhledu lomů, jaká je např. uvedena na obrázku.
- Lomová plocha se zvětší a porovná se s přehledem kalibrovanou přiloženou průsvítkou vzhledů lomu nebo procento křehkého lomu se změří planimetrem a potom se vypočítá procento smykového lomu (jako 100 % - procenta štěpného lomu);
- Vyfoťuje se lomová plocha ve vhodném zvětšení a změří se procenta štěpného lomu pomocí planimetru, potom se vypočtou procenta smykového lomu (jako 100% - procenta štěpného lomu),
- Procenta smykového lomu se měří technikami obrazové analýzy.



Legenda

- vrub
- štěpná plocha (křehká)
- smyková plocha (matná)

POZNÁMKA 1 Změří se průměrné rozměry A a B s přesností 0,5 mm.

POZNÁMKA 2 Určí se procenta smykového lomu použitím tabulky C.1.

Obrázek 10-Určení procent smykového lomu

B mm	A mm																			
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10	
Procenta smykového lomu																				
1,0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88	
1,5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81	
2,0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75	
2,5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69	
3,0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62	
3,5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56	
4,0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50	
4,5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44	
5,0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37	
5,5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31	
6,0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25	
6,5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19	
7,0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12	
7,5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6	
8,0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	

Pokud A, nebo B jsou rovny nule, je v protokolu nutno uvést 100 % smykového lomu.

Obrázek 11-Procenta smykového lomu při měření v milimetrech

2.12 PŘÍČNÉ ROZŠÍŘENÍ

2.12.1 VŠEOBECNÉ

Měřítkem odolnosti materiálu lome ve stavu trojosé napjatosti, jako např. v kořeni vrubu zkušebního tělesa Charpy, je rozsah deformace, ke které v této lokalitě dochází. V tomto případě se jedná o kontrakci. Vzhledem k problémům s měřením této deformace, i po lomu se obvykle měří rozšíření, ke kterému dochází na opačné straně roviny lomu a je používáno jako náhrad za kontrakci.

2.12.2 METODA

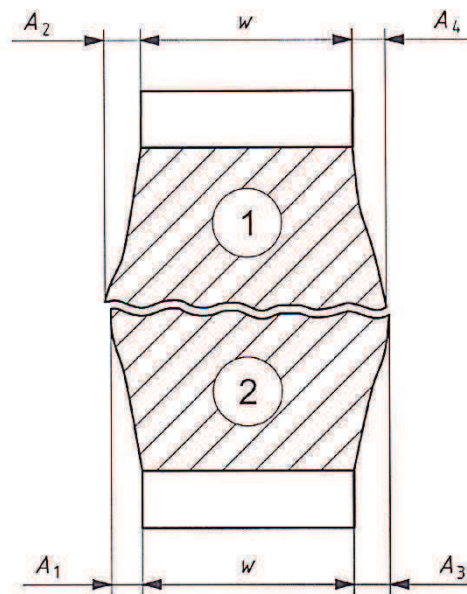
Tato metoda měření příčného rozšíření musí brát v úvahu skutečnost, že lomová plocha jen zřídka vykazuje shodné hodnoty na obou stranách. Jedna polovina zlomeného zkušebního tělesa může zahrnovat maximální rozšíření pro obě strany, pouze pro jednu stranu nebo vůbec. Použité metody musí proto dávat hodnotu rozšíření rovnající se součtu vyšší ze dvou hodnot získaných pro každou stranu nezávislým měřením na obou stranách zkušebního tělesa. Velikost rozšíření na každé straně obou polovin musí být měřena vzhledem k rovině definované nedeformovatelnou částí boku zkušebního tělesa (Obrázek 12) Rozšíření je možno měřit použitím měřidla podobného tomu na obrázcích. (Obrázek 13), (Obrázek 14)

Měří se obě zlomené poloviny jednotlivě. Nejprve se však zkontrolují boky kolmé k vrubu pro ujistění, že nedošlo ke vzniku otřepů na těchto bocích v průběhu rázové zkoušky; pokud podobné otřepy existují, musí být odstraněny např. obroušením smirkovým plátnem, přičemž je nutno se ujistit, že měřené výstupky nevznikly v průběhu odstraňování otřepů. Dále se umístí společně poloviny vzorků tak, že povrchy původně ležící na opačné straně vrubu se přiloží k sobě. Vezme se jedna z polovin vzorku a přitiskne se pevně na referenční podpory

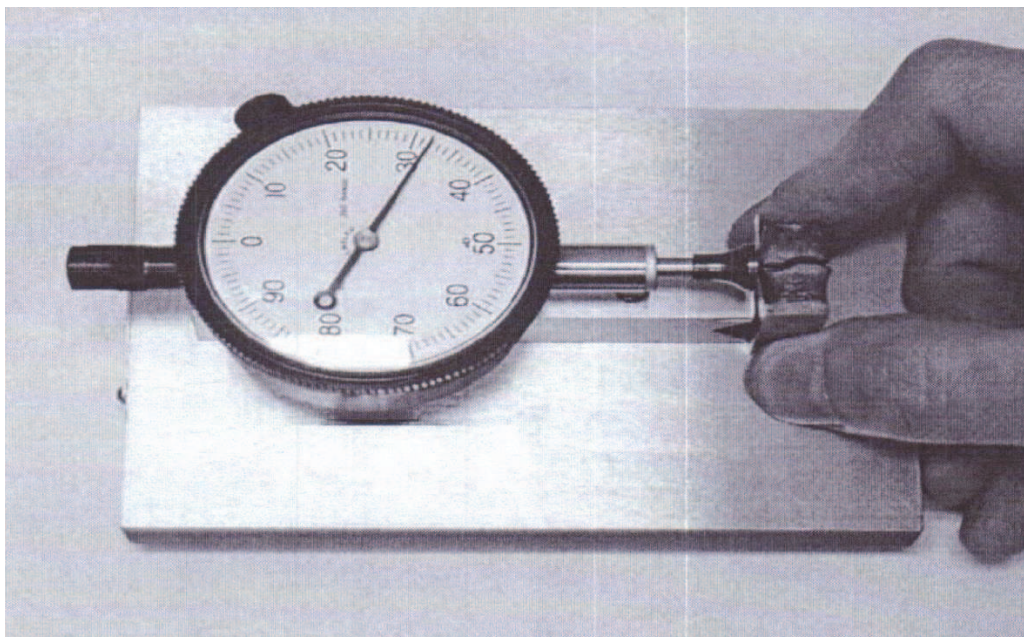
tak, že výstupky leží proti měřicí opoře. Zaznamená se údaj měření a pak se opakuje tento krok s druhou polovinou vzorku, přičemž je nutno zajistit, aby byla měřena stejná strana. Větší z těchto dvou hodnot je rozšíření této strany zkušební tělesa. Např., je-li A_1 , A_2 a $A_3 = A_4$, z toho plyne $LE = A_1 + (A_3 \text{ nebo } A_4)$. Jestliže A_1 , A_2 a A_3 , A_4 , vyplývá z toho $LE = A_1 + A_3$

Jestliže jsou jeden nebo více výstupků zkušební tělesa poškozeny kontaktem s opěrami, povrchem stroje, atd., nesmí být zkušební těleso měřeno a podmínky musí být uvedeny ve zkušebním protokolu.

Měří se každé zkušební těleso.

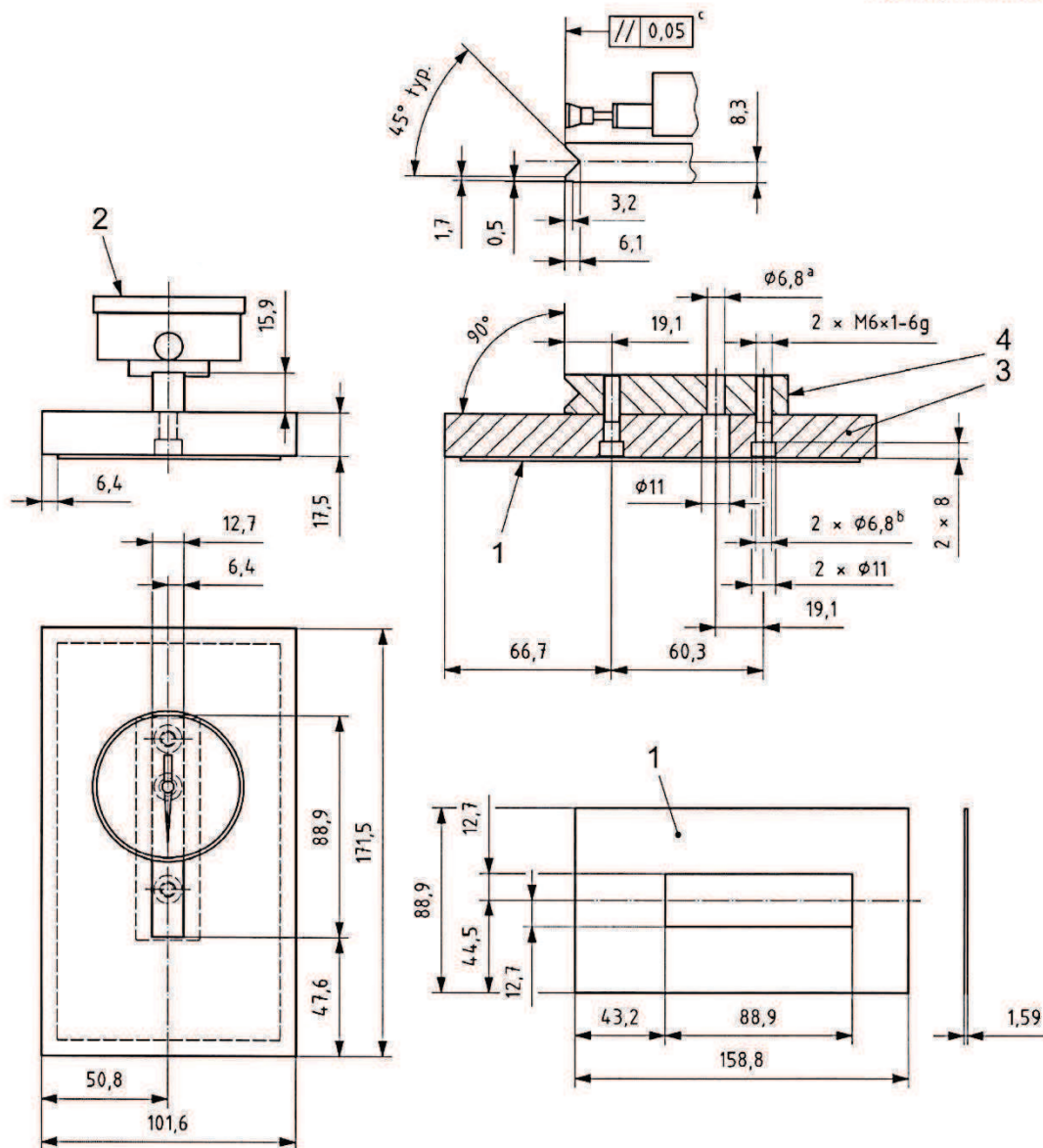


Obrázek 12-Poloviny přelomeného zkušební vzorku Charpy, znázorňující měření příčného rozšíření



Obrázek 13-Měřidlo pro měření rozšíření zkušebních vzorků Charpy.

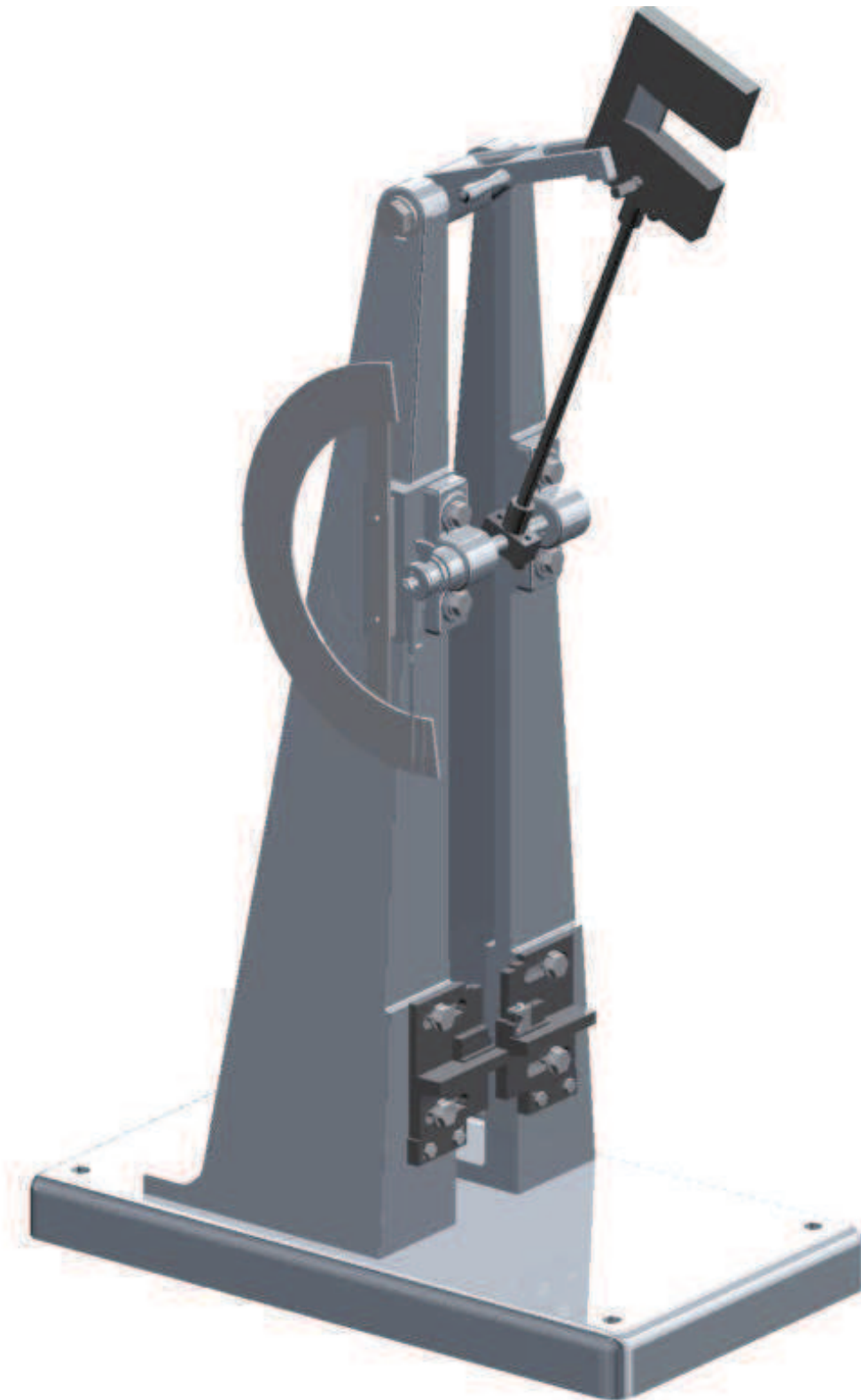
Rozměry v milimetrech

**Legenda**

- 1 gumová podložka
 - 2 úchylkoměr, rozsah 10 mm, dělení 1/100 mm
 - 3 základová deska vyrobená z korozi-vzdorné nebo pochromované oceli
 - 4 opěra číselníku vyrobená z korozi-vzdorné nebo pochromované oceli
- ^a Pro šroub 1/4-20 UNC s vybráním pro 7/8" dlouhou hlavou šroubu pro upevnění úchylkoměru.
- ^b Pro šroub M6 × 1 s 25 mm hlavou šroubu.
- ^c Montážní přesah.

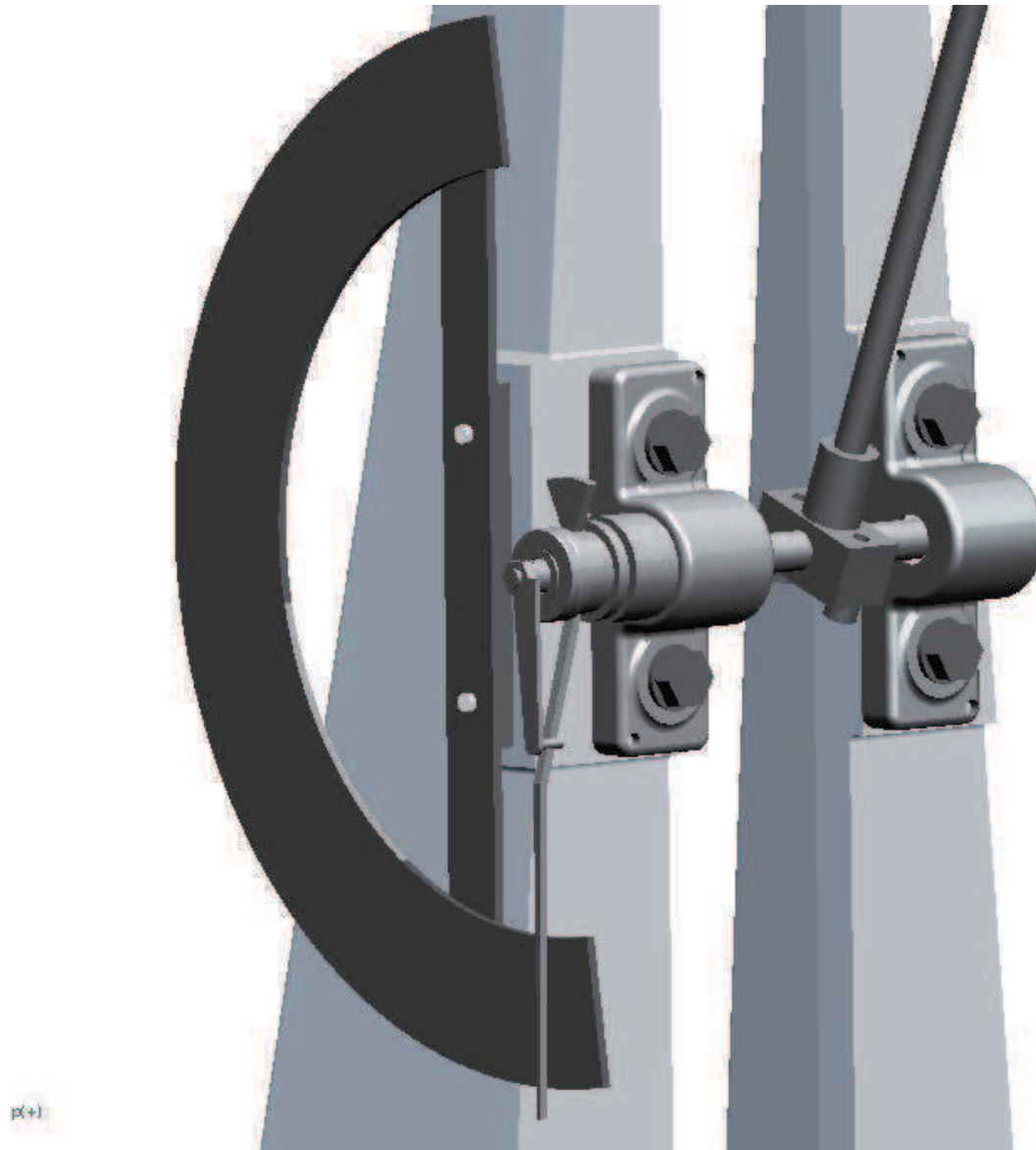
Obrázek 14-Sestava a detaily měřidla příčného rozšíření

3 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ



Obrázek 15-Model stávajícího stavu Charpyho kladiva

Stávající Charpyho kladivo (Obrázek 15) je malých rozměrů. Výška rámu je 800 mm a délka ramena, na kterém se pohybuje kladivo je 350mm. Kladivo slouží k přerážení zkušebních těles o jmenovitém rozměru 2,5 mm.



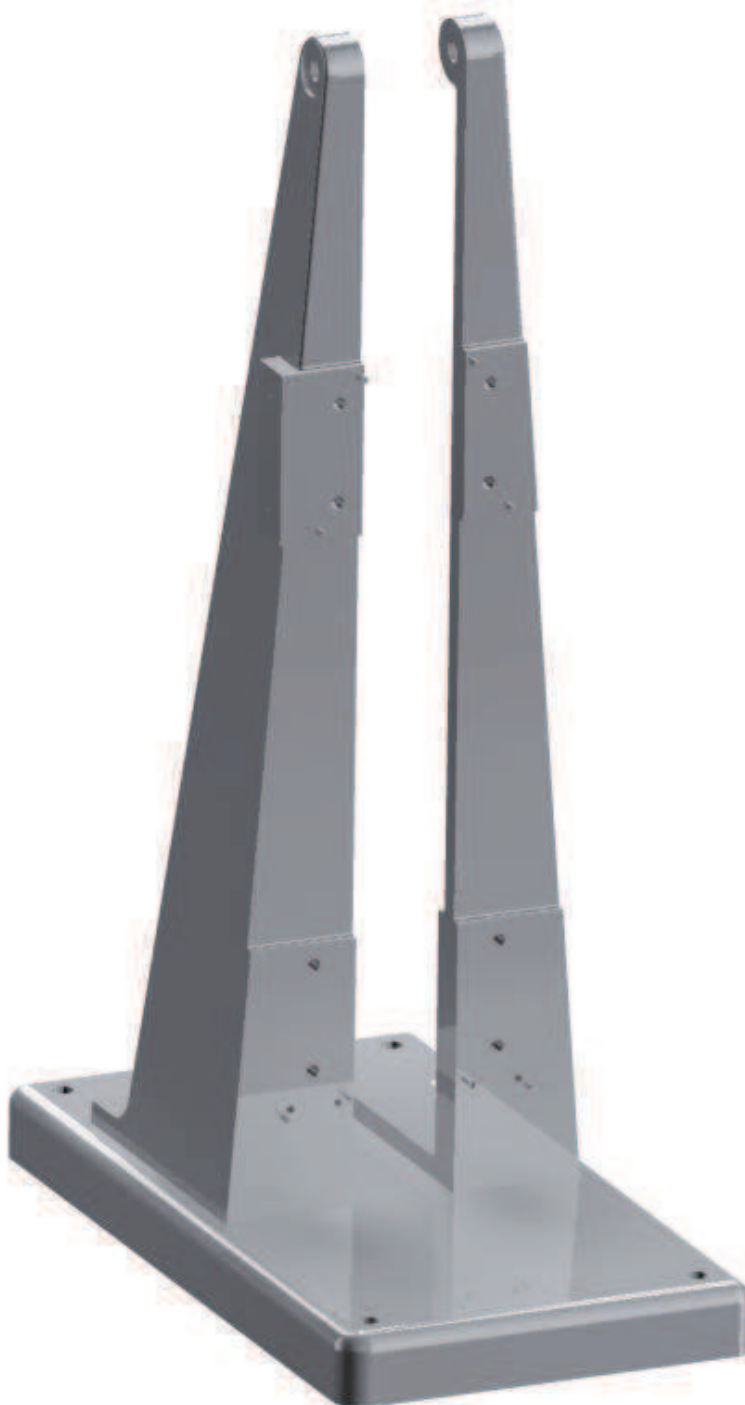
Obrázek 16-Detail na stupnici a rafiku

3.1 ODČÍTÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

K odčítání naměřených hodnot dochází na stupnici. Na naměřenou hodnotu ukazuje rafičkový ukazatel. Na stupnici jsou zobrazeny čtyři stupnice s různými měřítky. Různá měřítka jsou uvedena pro provádění zkoušky s kladivem dosahujícím jiných maximálních energií v nejnižším místě pracovního pohybu. Odčítání hodnot tedy provádíme pomocí rafičkového ukazatele, který po provedení zkoušky zůstane v poloze maximálního vychýlení. To je způsobeno tím, že ukazatel není pevně propojen s otočnou osou. K vychýlení dochází díky tomu, že s ukazatelem pohybuje posuvník, který je pevně spojen s osou. Osa, na které je silovým stykem uchyceno rameno s kladivem se otáčí a je uložena na valivých ložiscích.

3.2 RÁM

Rám (Obrázek 17) je vyroben jako litinový odlitek s obrobenými funkčními plochami. Rám musí být velmi tuhý, aby nedocházelo k deformacím a tím i ke zkreslení měřených hodnot. Spodní část rámu je dutá, aby rám nebyl příliš těžký. Dosedací plochy jsou opatřeny kolíky, které zajišťují přesné usazení čelistí a domků pro ložiska.



Obrázek 17-Rám Charpyho kladiva

3.3 DRŽÁK KLADIVA

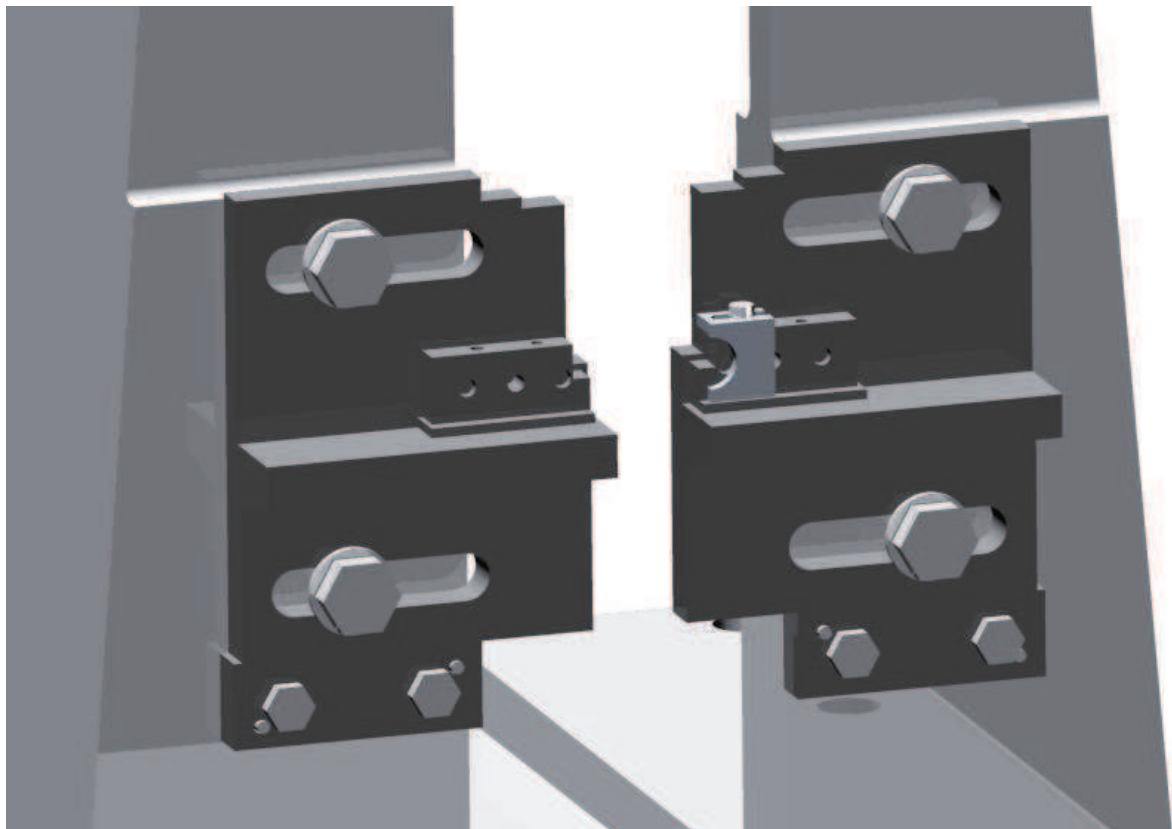
Držák kladiva (Obrázek 18) je vyroben jako odlitek, do kterého je zašroubovaná uchopovací klička. Funkce držáku je držet kladivo v horní poloze a pomocí kličky uvolnit kladivo, tak aby nedošlo k předání energie na rameno s kladivem, což by znehodnotilo výsledky provedené zkoušky. Držák je v rámu uchycen šroubem s maticí. K vymezení správné polohy držáku slouží podložky, které jsou umístěny po stranách. Jedna z podložek má na svém obvodu výbrus, do kterého zapadá kolík držáku a tím vymezuje jeho pracovní dráhu. Podložka s výbrusem je zajištěna proti pootočení stavěcím šroubem. Na opačném konci držáku jsou pomocí kolíků a šroubů přichyceny čelisti. Čelisti jsou vyrobeny z tvrdého materiálu, aby nedocházelo k opotřebení.



Obrázek 18-Držák Charpyho kladiva

3.4 ČELISTI

Čelisti (Obrázek 19) složí k přesnému uložení zkušební tělesa. Jsou složeny z několika částí a jejich poloha je nastavitelná z důvodů použití zkušebních těles jiných rozměrů. Spodní část čelistí je uložena na kolících z důvodů přesné vertikální polohy. Čelisti musí zajistit, aby zkušební těleso bylo uloženo pod osou otáčení ramena s kladivem a správnou axiální polohu. Podle normy vzdálenost mezi čelistmi musí být 40mm V čelistích jsou vybroušeny výřezy, aby nedošlo ke kontaktu s kladivem. Zobrazené čelisti jsou uzpůsobeny pro zkušební tělesa se jmenovitým rozměrem 2,5 mm.



Obrázek 19-Čelisti Charpyho kladiva

3.5 RAMENO S KLADIVEM A BŘIT

(Obrázek 20) Rameno je silovým stykem pomocí dvou šroubů uchyceno na osu. Na druhém konci ramena je šrouby přichyceno kladivo. Kladivo má předepsanou hmotnost, aby dosahovalo správných hodnot energií. Na kladivu jsou po stranách umístěny kolíky, které přichází do kontaktu s držákem kladiva. Břit kladiva má normou definovanou geometrii břitu což je 2 nebo 8 mm. Je vyroben z tvrdého materiálu, aby nedošlo k deformaci při přerážení zkušební tyče. V kladivu je břit uložen přechodně.



Obrázek 20-Rameno s kladivem a břit

3.6 SHRUTÍ

Kladivo svůj účel plní dostatečně, ale v dnešní době, kdy se využívají různé elektronické, laserové a optické technologie způsob odečítání hodnot pomocí stupnice a rafičkového ukazatele působí zastarale. Inovace způsobu získávání naměřených hodnot, by měla být velmi jednoduchá a neměla by ovlivnit získávané hodnoty.

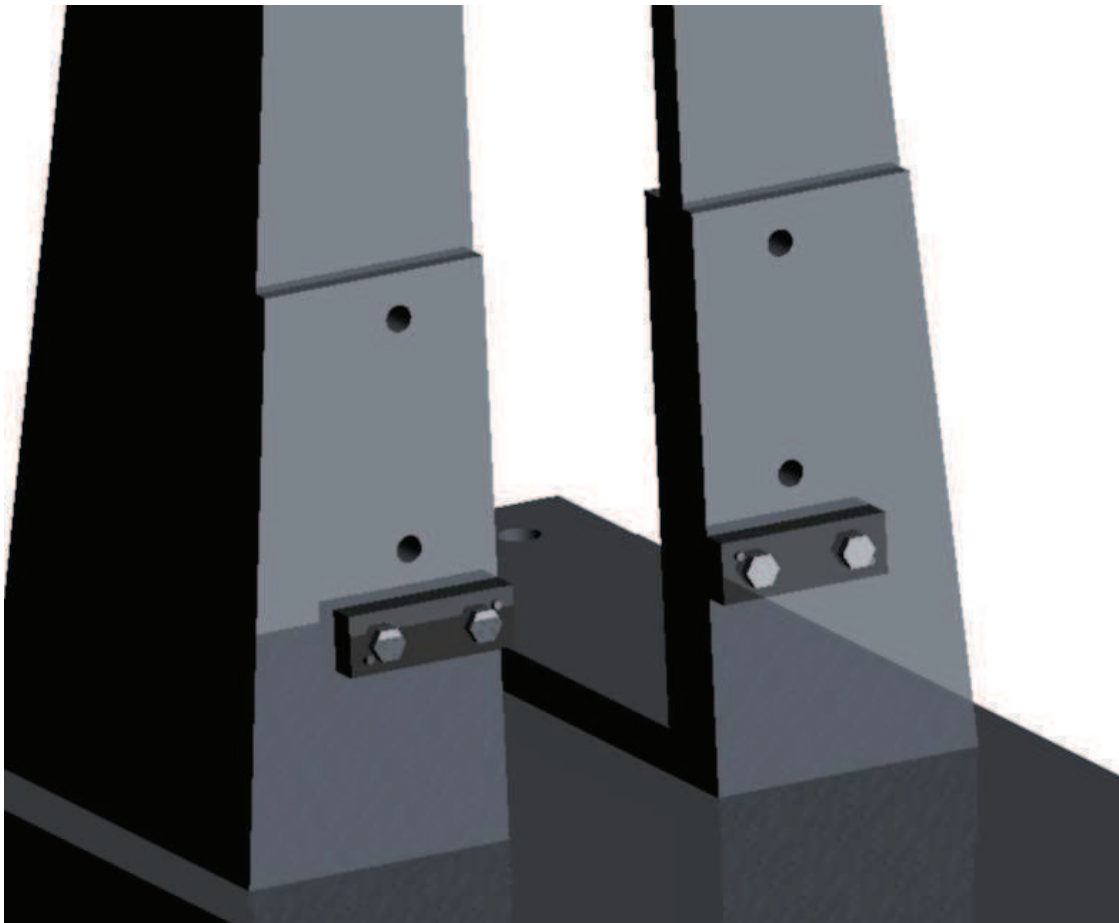
4 NÁVRH ČELISTÍ

Úkolem bylo navrhnout výměnné čelisti pro různé typy zkušebních těles. Pro zachování co největší shody s původním řešením byla zvolena varianta, při které zůstane zachováno původní uchycení čelistí k rámu a výměnná bude pouze část čelistí, která drží zkušební vzorek.

Pro uchycení nových výměnných čelistí na rám Charpyho kladiva bude využita dosedací plocha stávajících čelistí. Vertikální poloha čelistí je zajištěna zarážkami, které jsou nasazeny na kolicích a zajištěny šrouby (obrázek 21).

Při navrhování výměnných čelistí bylo cílem co nejsnazší výměna vložek čelistí pro různé zkušební vzorky a zároveň zachování polohy i po opětovném nasazení. Prvním problémem bylo vyřešit způsob zajištění polohy výměnné vložky vůči pevným čelistím. Druhým problémem bylo způsob zajištění výměnných vložek v dané poloze a zároveň zachování přesnosti.

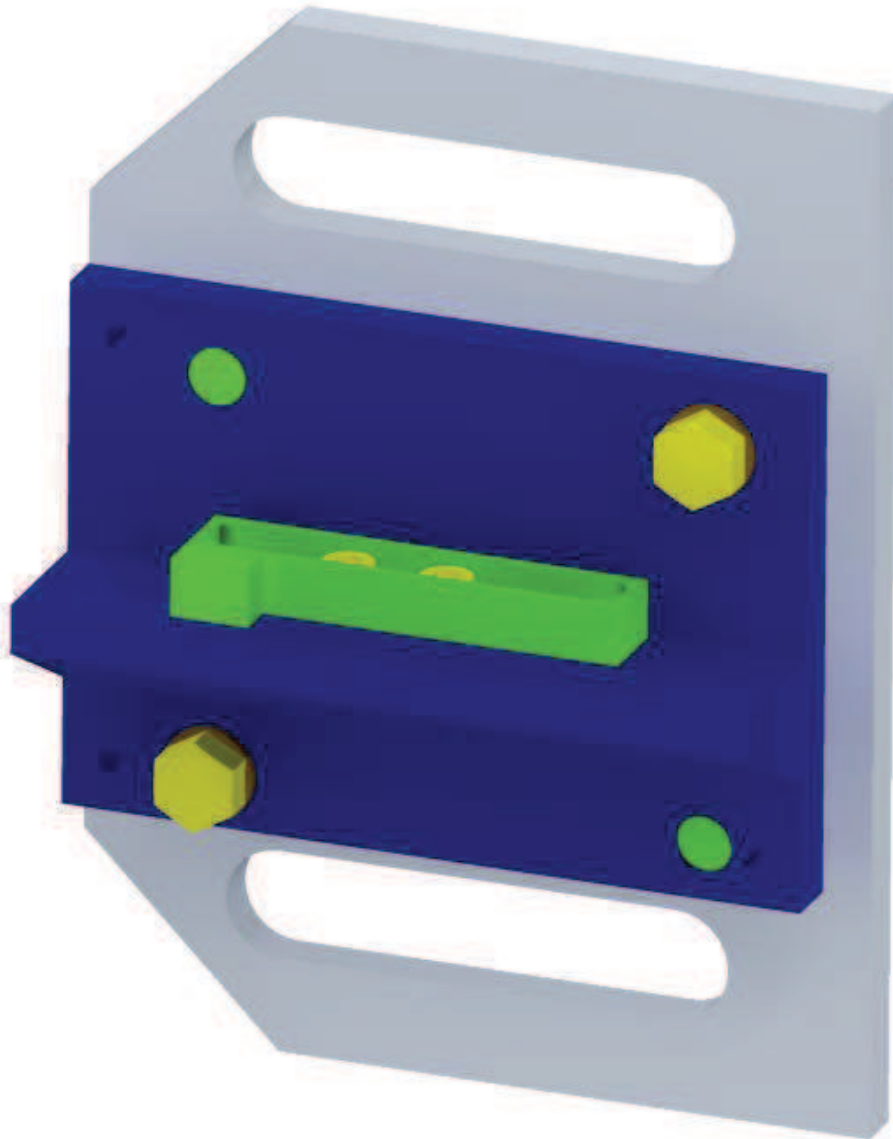
Pro zachování co největší shodnosti s původním řešením ponecháváme všechny funkční rozměry stejné.



Obrázek 21-Dosedací plocha se zarážkami

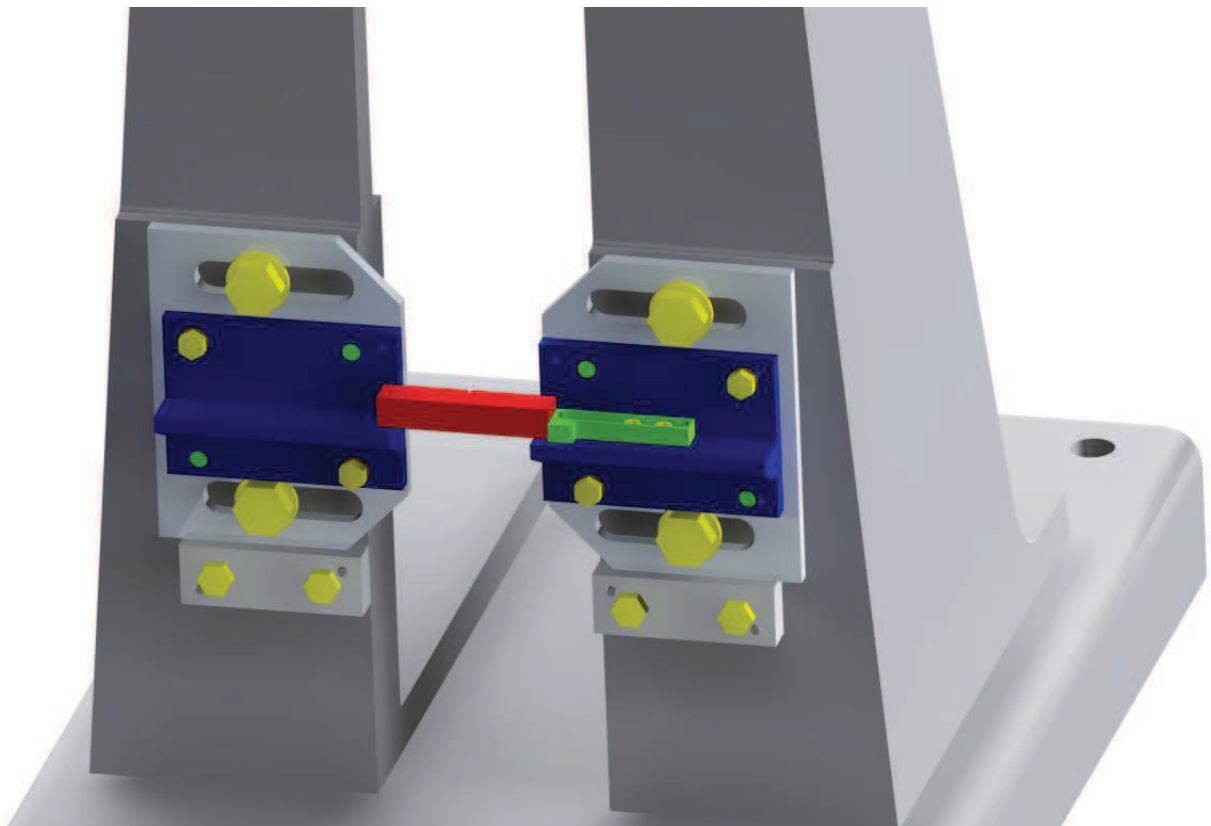
4.1 VARIANTY ČELISTÍ

4.1.1 VARIANTA A



Obrázek 22-Varianta A

Tato varianta je velmi jednoduchá. Přesnost vertikální polohy čelistí je zajištěna tím, že pevná část čelistí dosedá spodní plochou na zarážky (Obrázek 21). Horizontální poloha je volně přestavitelná do polohy, kterou určuje norma. Poloha výměnné části čelistí je zajištěna dvěma kolíky, na kterých je výměnná čelist nasunuta. Výměnné čelisti jsou na pevné čelisti připevněny pomocí dvou šroubů. Pro zajištění správné polohy zkušebního vzorku je jedna z výměnných čelistí opatřena dorazem. Doraz je přestavitelný do správné polohy a zajištěn dvěma šrouby. Pro lepší demontáž případně při vzpříčení čelistí na kolících jsou výměnné čelisti opatřeny dírami se závitem.



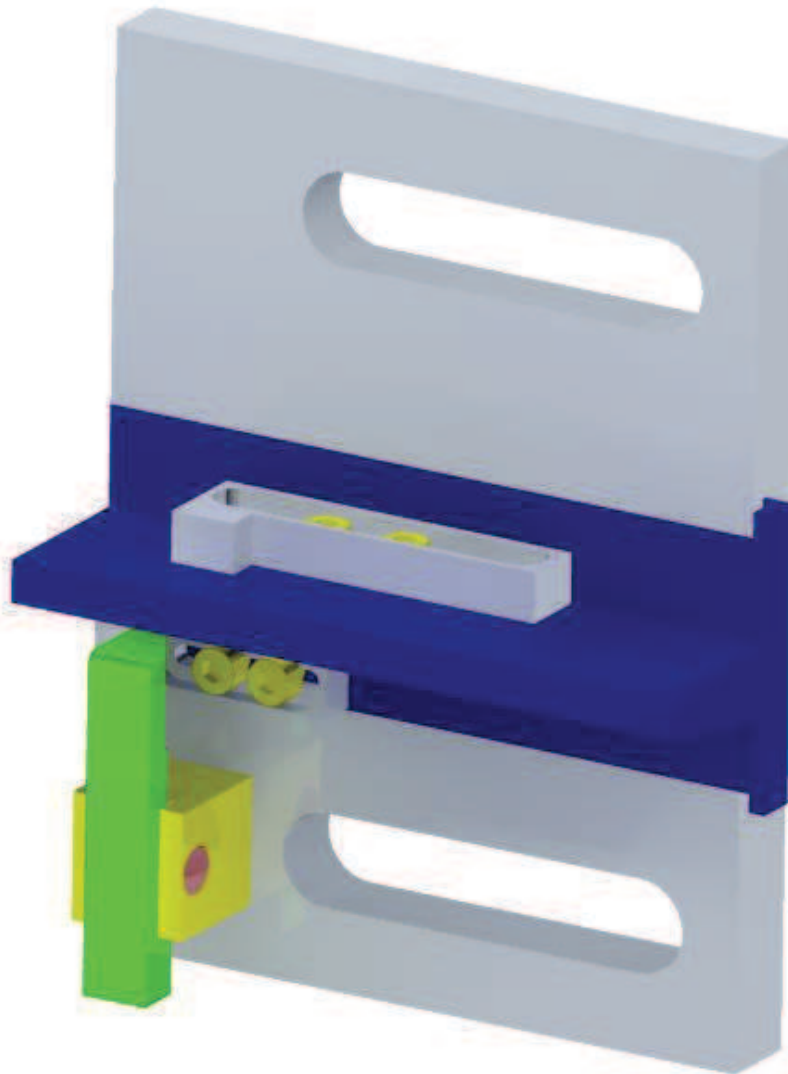
Obrázek 23-Varianta A, čelisti uložené na rámu

Na obrázku (Obrázek 23) jsou čelisti umístěny na rám. Mezi čelistmi je umístěn zkušební vzorek. Jeho poloha je zajištěna dotykem s plochami dorazu a čelistí.

Pro výměnu čelistí je nutné povolit šrouby a odstranit podložky. Následně jsou vysunuty čelisti z kolíků. V případě zpříčení jsou čelisti vybaveny závitovými dírami, které po vložení šroubů slouží k vyvození dostatečné síly k demontáži čelistí. Při montáži nasuneme čelisti na kolíky, vložíme šrouby s podložkami a utáhneme.

Rozměry obou čelistí jsou shodné a mají zrcadlově převrácený tvar. Doraz je umístěn pouze na pravé čelisti. Pro zabránění kolize zkušebního kladiva s čelistmi jsou na čelistích sražený hrany.

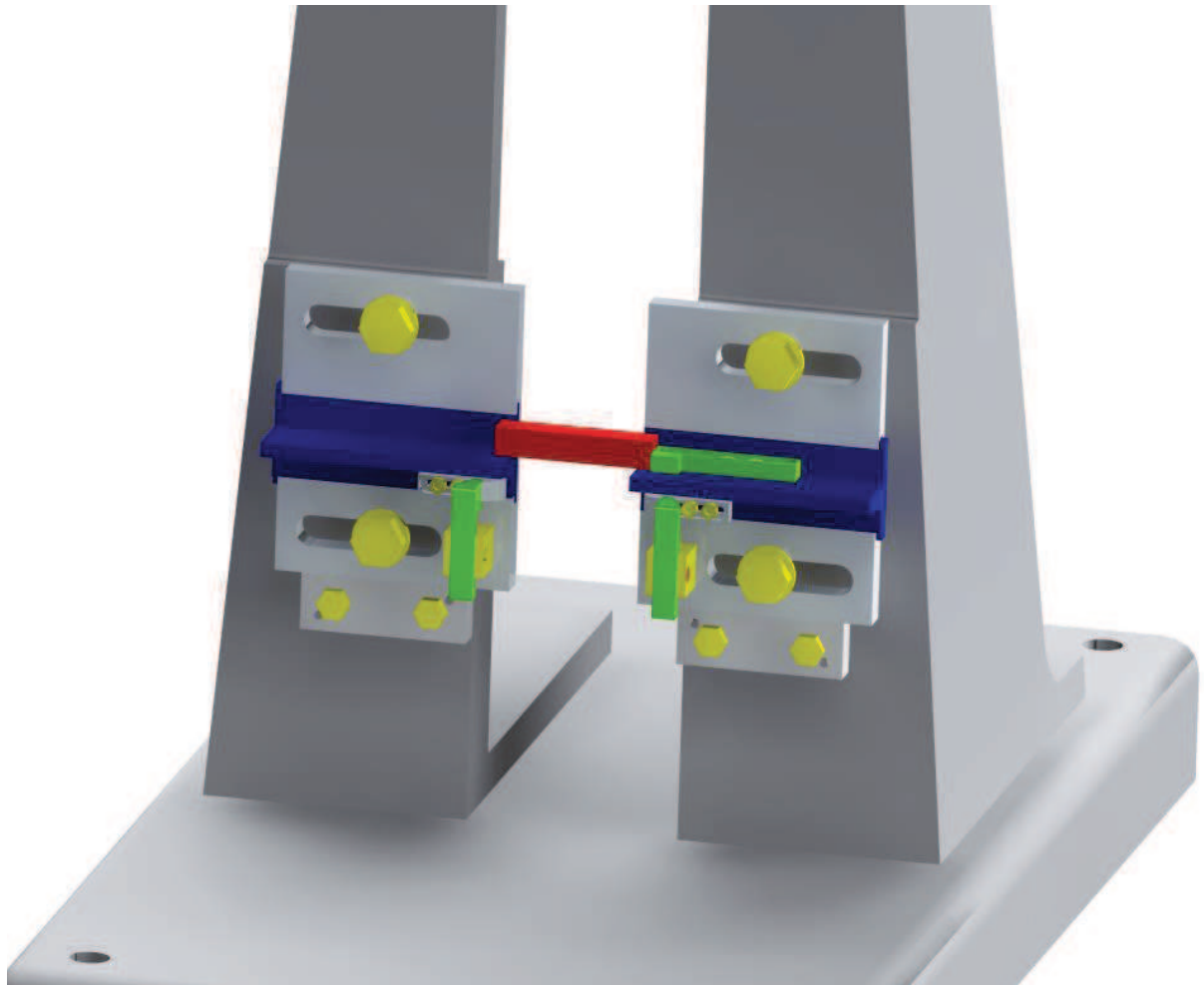
4.1.2 VARIANTA B



Obrázek 24-Varianta B

Varianta B není tak jednoduchá jako varianta A. Přesnost vertikální polohy pevných čelistí je jako u varianty A zajištěna tím, že pevná část čelistí dosedá spodní hranou čelistí na zarážky (Obrázek 21). Horizontální poloha je volně přestavitelná do polohy, kterou určuje norma. Poloha výměnné části čelistí je zajištěna drážkami, ve kterých je výměnná čelist zasunuta. Horizontální posunutí v jednom směru je zajištěno dorazem na výměnné čelisti a posunutí v druhém směru je zajištěno západkou s pružinou. Hrana, za kterou západka zapadá, je nastavitelná pomocí dvou šroubů. Pro zajištění správné polohy zkušební vzorku je jedna z výměnných čelistí opatřena dorazem. Ten je přestavitelný do správné polohy a zajištěn dvěma šrouby.

Pro výměnu čelistí je nutné stlačit spodní část západky, tím dojde ke stlačení pružiny a následně k uvolnění výměnné části čelistí. Po uvolnění je možné čelist vysunout ve směru od středu kladiva. Při montáži je nutné nasunout drážky výměnné části čelistí do drážek pevných čelistí a zasunout je až po doraz. Tím dojde k přesunutí hrany západky za hranu umístěnou na výměnné čelisti a následnému zajištění polohy.



Obrázek 25-Varianta B, uložené čelisti na rámu

Na obrázku (Obrázek 23) vidíme, že čelisti jsou na rám připevněny pomocí šroubů s podložkou. Rozměry obou součástí jsou shodné, jejich tvar je zrcadlově převrácen. Levá čelist byla ponechána bez dorazu.

Správná vertikální poloha byla zajištěna dotykem čelistí se zarážkou. Horizontální poloha je nastavena do polohy určené zkušební normou a byla zajištěna pomocí šroubů. U obou čelistí je náhrada navržena stejným způsobem pouze směr výsuvu má opačný směr.

Správná poloha zkušebního vzorku je zajištěna dorazem. Doraz je umístěn pouze na pravé čelisti. Správná poloha zkušební byla zajištěna tím, že zkušební vzorek byl umístěn do polohy, ve které je v kontaktu s dorazen a svislými plochami čelistí.

4.2 VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY

4.2.1 ZPŮSOB VÝBĚRU

Jsou vybrána kritéria, ke kterým je přiřazena váha. Hodnoty váhy dosahují hodnot od jedné do tří. Vyšší číslo znamená větší váha kritéria. Ke každé variantě je přiřazeno hodnocení, je zvoleno čtyř bodové hodnocení, které je pro nás dostačující. Vážená hodnota byla zjištěna jako součin váhy a bodů. Hodnota sumy byla určena jako součet vážených hodnot jednotlivých kritérií.

$$H = V * B \quad \text{SUMA} = \sum H$$

Způsob bodování kritérií:

- Velmi důležité kritérium 4 b.
- Středně důležité kritérium 3 b.
- Málo důležité kritérium 2 b.
- Minimálně důležité kritérium 1 b.
- Nedůležité kritérium 0 b.

4.2.2 POPIS KRITÉRIÍ

Vyrobitelnost - cílem je zhodnotit jak náročná by byla výroba každé z variant.

Varianta A – Důležité je dosažení přesné polohy dosedací plochy zarážek (Obrázek 21) a polohy děr kolíků. U výměnné části je důležité dosažení přesné polohy děr pro kolíky a dosedací plochy pro zkušební vzorky. Dosažení správné poloh u této varianty by nemělo být náročné.

Varianta B – Pro tuto variantu je důležitá vzdálenost dosedací plochy zarážek (Obrázek 21) a polohy drážek. Výroba drážek je náročnější než výroba přesných děr pro kolíky.

Přesnost – po výměně čelistí je nutné opakované dosažení správné polohy.

Varianta A – u této varianty je dosaženo velmi dobré přesnosti a opakovatelnosti správné polohy, která je dosažena pomocí kolíků.

Varianta B – tato varianta dosahuje dobré přesnosti ve vertikálním směru, ale mohlo by dojít k pohybu ve směru pohybu kladiiva kde je nutná vůle pro nasunutí výměnné čelisti.

Cena – cena je závislá na náročnosti výroby a složitosti čelistí

Varianta A - tato varianta je jednoduchá a cena výroby není vysoká.

Varianta B – není výrobně náročná ale, skládá ze z více prvků, které mohou cenu zvýšit.

Výměna – je hodnocena rychlost a náročnost výměny

Varianta A – výměna není náročná, je nutné povolit dva šrouby a vyjmou výměnnou čelist.

Varianta B – výměna by měla být velmi jednoduchá, uvolnění výměnné čelisti pomocí západky a vysunutím z drážek.

Poškození – poruchovost nebo nedostatečná životnost je nežádoucí

Varianta A – tato varianta je tak jednoduchá, že neobsahuje nic, co by mohlo, podlehnout poškození nebo se jinak poškodit.

Varianta B – varianta je složitější, k poškození by mohlo dojít pouze u západky, ale není to příliš pravděpodobné.

4.2.3 VÝBĚR

	Vyrobiteľnosť			Přesnost			Cena			Výměna			Poškození			Suma	Pořadí
	V	B	H	V	B	H	V	B	H	V	B	H	V	B	H		
Varianta A	3	4	12	3	4	12	1	4	4	1	3	3	1	4	4	35	1.
Varianta B	3	2	6	3	3	9	1	1	1	1	4	4	1	3	3	23	2.

Tabulka 1- Legenda: V- Váha, B – Body, H – Hodnota

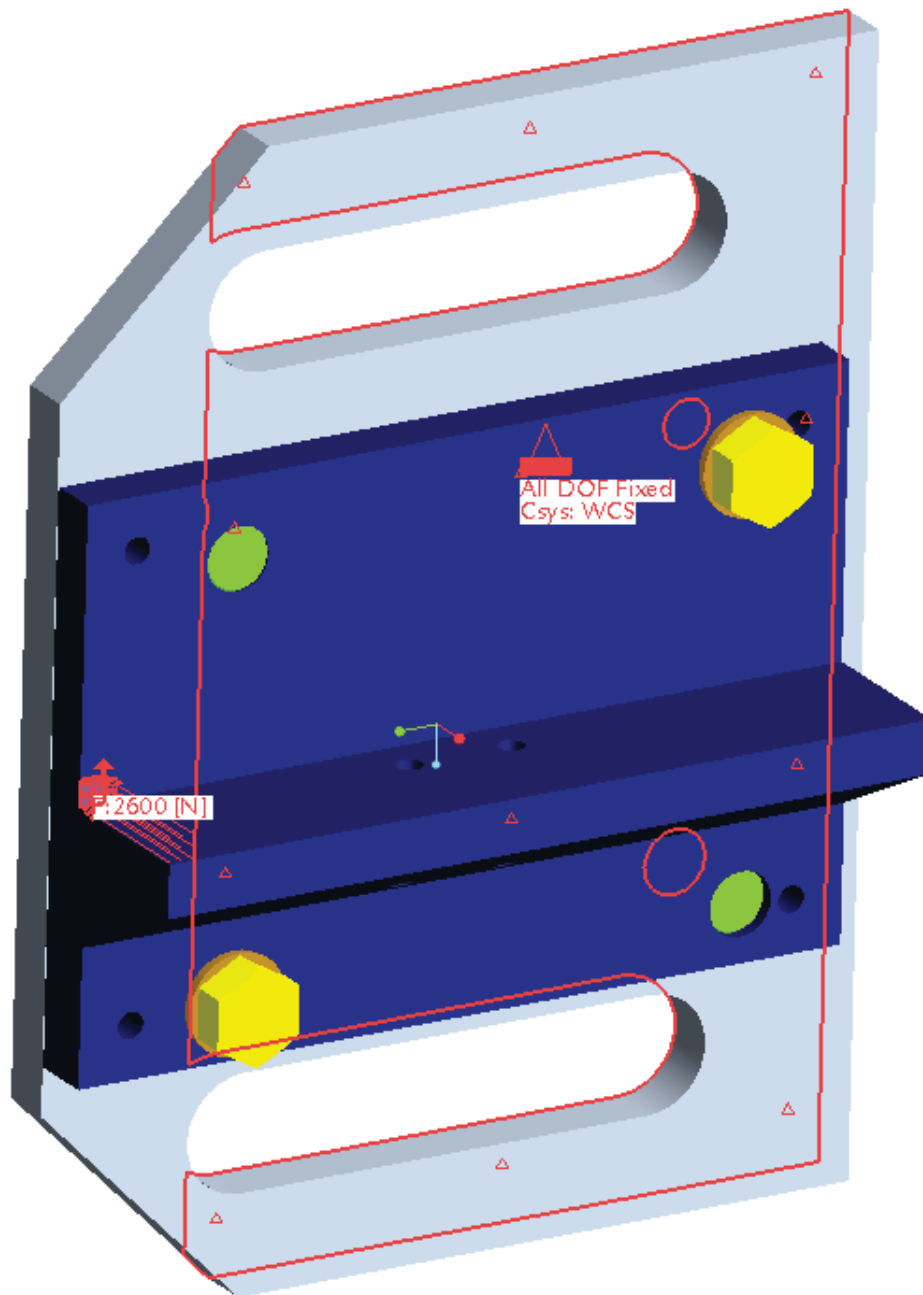
Z tabulky (Tabulka 1) je vidět že Varianta A dosáhla větší hodnoty sumy a to znamená, že varianta A je vybrána jako lepší. Z výběru variant je vidět, že výrobně náročnější varianta B nedosahuje takových hodnot jako Varianta A ve čtyřech z pěti kritérií.

4.3 PEVNOSTNÍ SIMULACE A VÝBĚR MATERIÁLU

Pro početní analýzu byla zvolena aplikace Pro Mechanika v softwaru Pro Engineer v5.0. Síla, kterou vyvine kladivo, byla odhadnuta z energie, kterou kladivo dosahuje v nejnižším místě a průhybu zkušební vzorku.

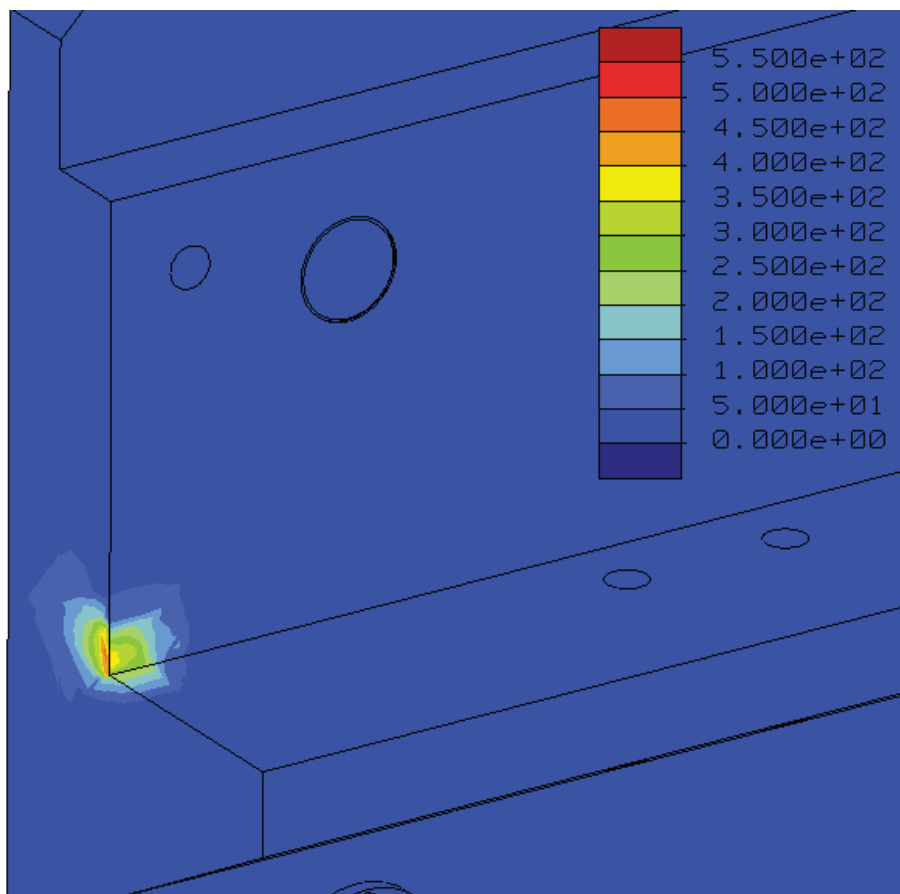
Předpokládáme, že se kladivo zastaví v místě maximálního průhybu zkušební vzorku. Tento stav nastane ve chvíli, kdy zkoušený vzorek vypadne z čelistí. Maximální průhyb zkušební vzorku jsme přibližně vypočetli z následujících údajů: délka zkušební vzorku je 55[mm], vzdálenost čelistí 40 mm. Když vezmeme polovinu těchto hodnot, vznikne nám pravoúhlý trojúhelník a požadovaný rozměr dopočteme z Pythagorovy věty. Tímto způsobem jsme vypočetli maximální hodnotu průhybu 11,5 [mm].

Z výrobního štítku na Charpyho kladivu, je odečtena maximální hodnota dosahované energie 30[J]. Dále je využito definice práce: “ *Velikost práce jako fyzikální veličiny lze v nejjednodušším mechanickém případě vypočítat jako součin velikosti složky síly ve směru pohybu a délky dráhy, po které se těleso posunulo* “. [7] a vypočtena síla 2600[N]. Síla je přenesena přes zkušební vzorek na čelisti a tím rozdělena na dvě síly. Sílu v našem příkladu je považována za konstantní, ale ve skutečnosti tomu tak není. Z toho důvodu sílu nebude dělena dvěma a bude využita hodnota 2600[N].



Obrázek 26-Zatížení a zavazbení modelu

Z modelu pro výpočet byl odstraněn doraz se šrouby, které by zbytečně zvyšovaly náročnost výpočtu, ale na výsledek nemají vliv. Model byl uchycen za plochu, u které je předpokládán styk s rámem. (Obrázek 26). Předpokládaná oblast styku zkušebního vzorku s čelistmi byla zatížena silou 2600[N]. Velikost styčné plochy byla určena promítnutím zkušebního vzorku nejmenšího průřezu tedy 2x4.



Obrázek 27-Oblast s největším napětím. Redukované napětí podle hypotézy HMM v MPa

Z výsledků simulace vidíme (Obrázek 27), v jakých místech bylo dosaženo maximálních redukovaných napětí metodou HMM. Maximální hodnota je 561 MPa. Tato hodnota je ovlivněna ostrou hranou, tedy vrubem, ve kterém se koncentruje napětí. Ve skutečnosti na této hraně vznikne rádius a skutečná hodnota napětí bude nižší.

Materiál čelistí by měl splňovat požadavky: dobrá obrobiteľnosť, dobré mechanické vlastnosti pro zajištění tuhosti, možnost povrchové úpravy pro zvýšení tvrdosti a odolnost proti povětrnostním vlivům jako je koroze.

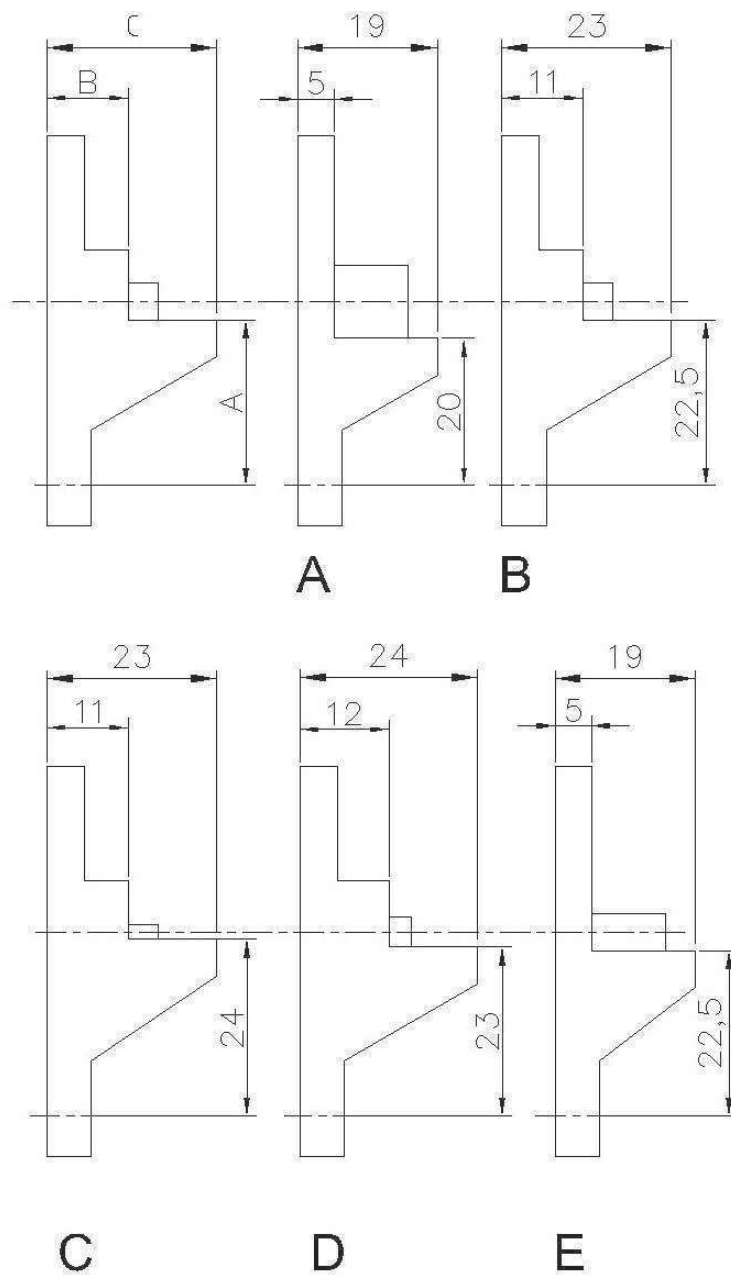
Byl zvolen materiál ČSN 15230.7. Tento materiál je nízko legovaná ocel s dobrou svařitelností i obrobiteľností. Ocel je legována vanadem a manganem a chromem. Vhodná pro zušlechťování, povrchové kalení, chemicko-tepelné zpracování a pro nitridování. Využívá se na velmi namáhané zušlechťené strojní části a na části nitridované, včetně nitridovaných ozubených kol. Vzhledem k vysoké prokalitelnosti použitelná i pro velké výkovky. [8]

Při zkoušení nedochází k mechanickému zatížení dorazu. Mohl být tedy zvolen materiál bez ohledu na mechanické vlastnosti. Byla zvolena slitina hliníku ČSN 424201. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 2-Mechanické vlastnosti vybraných materiálů Tabulka 2).

Zvolený materiál	Rm [MPa]	Re [MPa]	HB	Třída odpadu
ČSN 15230.7	980-1180	835	300-359	35
ČSN 424201	200-450			812

Tabulka 2-Mechanické vlastnosti vybraných materiálů

4.4 VÝSLEDNÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ



Obrázek 28-Funkční rozměry čelistí pro zkušební vzorky

Vzorek V x Š [mm]	Rozměr [mm]			Obrázek
	A	B	C	
10x10	20	5	19	A
5x4	22,5	11	23	B
2x4	24	11	23	C
4x3	23	12	24	D
5x10	22,5	5	19	E

Tabulka 3-Rozměry čelistí

Pro různé rozměry zkušebních vzorků byly vypracovány profily zkušebních čelistí (Obrázek 28). Bylo nutné zachovat jak horizontální tak vertikální polohu bříty v místě dotyku se zkušebním vzorkem (Obrázek 28). Poloha zkušebního vzorku byla zajištěna pomocí tří kót. Pro zachování polohy byl vytvořen univerzální profil, který je okótován třemi kótami závislými na velikosti zkušebního vzorku. Hodnoty kót byly zaznamenány do tabulky (Tabulka 3). Tato tabulka je umístěna ve výrobním výkresu výměnné čelisti. Zakótování tímto způsobem umožní vytvořit pouze jeden výrobní výkres pro pět rozměrově odlišných typů čelistí.

ZÁVĚR

Bakalářská práce pojednává o zkoušení Charpyho kladivem, o jeho konstrukci a jeho úpravách. Byla vytvořena rešerše zabývající se metodikou zkoušky rázem v ohybu a vyhodnocování výsledků.

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit 3D model stávajícího kladiva, které se nachází ve zkušebnách společnosti COMTES FHT. Tento model byl vytvořen pomocí softwaru Pro Engineer V5 a byl poskytnut ve formátu „step“ konstrukčnímu oddělení této společnosti. Navzdory měření rozměrů pomocí posuvného měřítka a svinovacího metru je dosažená přesnost nadmíru uspokojující.

Dalším cílem bylo navrhnout úpravy konstrukce funkční části zkušebního stroje za účelem rozšíření možností měření. Pro splnění toho cíle došlo k úpravě čelistí. Čelisti byly navrženy pro výměnu funkční části a zároveň zachování přesné polohy zkušebního vzorku. Byly navrženy varianty, ze kterých metodou VDI 2225 byla vybrána lepší varianta. Pro výběr varianty touto metodou byla vytvořena kritéria, ke kterým byla přiřazena jejich váha a každé kritérium obodováno body od nuly do čtyřky. Nejlepšího hodnocení dosáhla varianta, která měla nejvyšší sumu součinů váhy a bodů. Na vybrané variantě byla vytvořena pevnostní analýza metodou MKP. Z výsledků analýzy MKP byl zvolen materiál čelistí a jeho povrchové zpracování.

Vybraná varianta byla zpracována ve formě výrobních výkresů a výkresu sestavení. Výrobní výkres vyměnitelné části čelistí byl vypracován, tak aby z něho bylo možné vyrobit čelisti pro uvažované zkušební vzorky. Na vybraných plochách byla vybrána povrchová úprava pro zvýšení odolnosti povrchu. Výkresy jsou přiloženy v příloze.

Výhodou zpracovaných variant je využití současných funkčních ploch rámu Charpyho kladiva. Z toho důvodu není potřebný žádný zásah do původního rámu. V případě nefunkčnosti nebo špatné funkce čelistí není problém vrátit na zkušební zařízení původní řešení dosedacích ploch.

Vybraná varianta je velmi jednoduchá a zároveň funkční. Dobře splňuje všechny požadované vlastnosti a zároveň není výrobně náročná. Od náročnosti výroby se odvíjí výrobní cena, která by neměla být vysoká. Výhoda této varianty vůči druhé je předpokládaná vyšší přesnost, která je způsobena uložením výměnné čelisti na kolících. Nevýhodou zvolené varianty je vyšší montážní čas, který je způsoben zvolením šroubů jako upevňovacích prvků. Tato nevýhoda není příliš důležitá, protože při zkoušení dochází ke zkoušení sérií zkušebních vzorků jednoho rozměru.

BIBLIOGRAFIE

[1] SKÁLOVÁ, Jana, Rudolf KOVAŘÍK a Vladimír BENEDIKT. Základní zkoušky kovových materiálů. 4. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005, 175 s. ISBN 80-704-3417-1.

[2] ČSN ISO 148-1. Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

[3] Fotolog. [Http://www.fotolog.com/](http://www.fotolog.com/) [online]. 2002-2013, 26.2.2013 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.fotolog.com/tyrael04/22949576/>

[4] École Polytechnique. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%89cole_Polytechnique

[5] [Www.anales.org](http://www.anales.org). *Georges Augustin Albert Charpy* [online]. 2013 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.anales.org/archives/x/charpy.html>

[6] Nože-nůž: Nabídka značkových nožů. [Http://www.noze-nuz.com/](http://www.noze-nuz.com/) [online]. 2012 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: <http://www.noze-nuz.com/recenze/vlastnosti-damasku/vlastnosti-damasku.php>

[7] Wikipedia. *Práce (fyzika)* [online]. 2010, 14.1.2014 [cit. 2014-06-21]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%A1ce_\(fyzika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%A1ce_(fyzika))

[8] JKZ Bučovice. *JKZ Bučovice* [online]. 2010 [cit. 2014-06-22]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/node/222>

SEZNAM OBRÁZKŮ

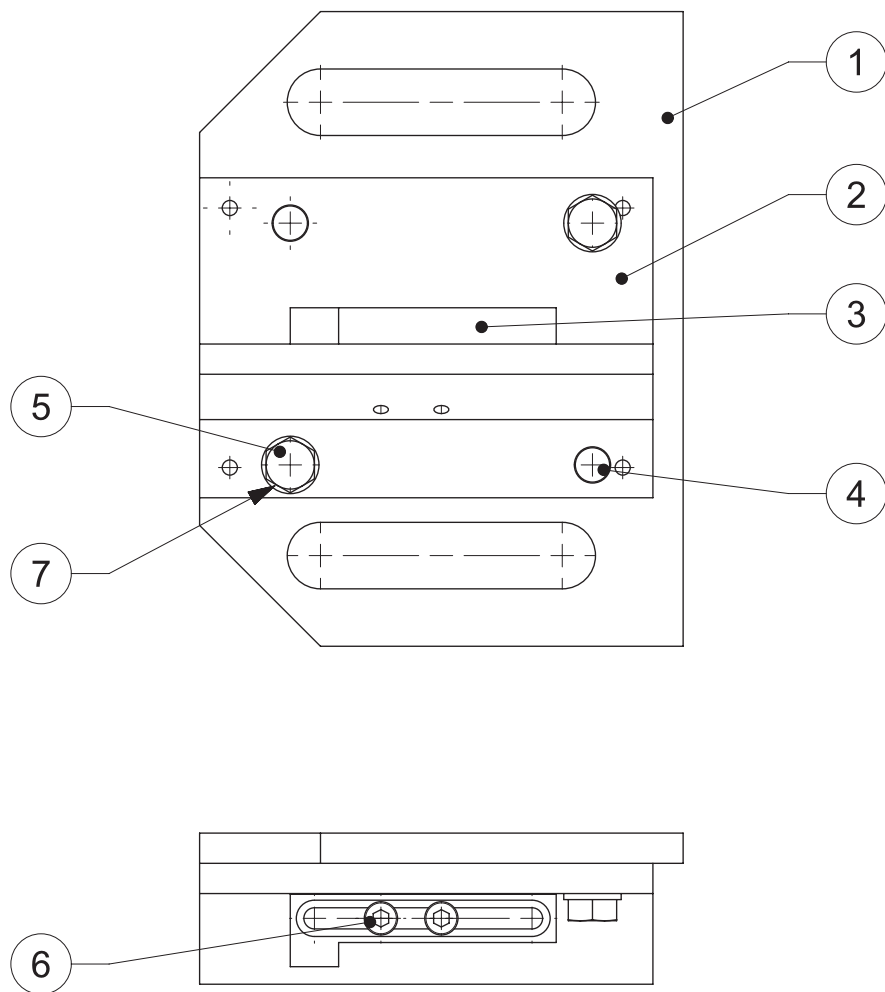
Obrázek 1- Georges Charpy [3]	4
Obrázek 2- Pohyb kladiva při zkoušce rázem v ohybu [1]	6
Obrázek 3-Vliv tvaru vrubu na hodnoty vrubové houževnatosti [1]	9
Obrázek 4-Průběh napětí ve zkušební tyči [1].....	10
Obrázek 5-Závislost vrubové houževnatosti na teplotě [1]	11
Obrázek 6-Závislost lomové pevnosti a meze kluzu na teplotě t a rychlosti deformace ε	11
Obrázek 7-Vzhled lomu při zkoušce rázem v ohybu v závislosti na teplotě	12
Obrázek 8-Vliv vrubu na přechodovou teplotu [1]	13
Obrázek 9-Vliv textury na posuv přechodové teploty [1]	14
Obrázek 10-Určení procent smykového lomu	15
Obrázek 11-Procenta smykového lomu při měření v milimetrech.....	16
Obrázek 12-Poloviny přelomeného zkušební vzorku Charpy, znázorňující měření příčného rozšíření.....	17
Obrázek 13-Měřidlo pro měření rozšíření zkušebních vzorků Charpy.....	17
Obrázek 14-Sestava a detaily měřidla příčného rozšíření.....	18
Obrázek 15-Model stávajícího stavu Charpyho kladiva.....	19
Obrázek 16-Detail na stupnici a rafiku.....	20
Obrázek 17-Rám Charpyho kladiva.....	21
Obrázek 18-Držák Charpyho kladiva.....	22
Obrázek 19-Čelisti Charpyho kladiva	23
Obrázek 20-Rameno s kladivem a břit.....	24
Obrázek 21-Dosedací plocha se zarážkami	25
Obrázek 22-Varianta A.....	26
Obrázek 23-Varianta A, čelisti uložené na rámu	27
Obrázek 24-Varianta B.....	28
Obrázek 25-Varianta B, uložené čelisti na rámu	29
Obrázek 26-Zatížení a zavazbení modelu	32
Obrázek 27-Oblast s největším napětím. Redukované napětí podle hypotézy HMM v MPa.....	33
Obrázek 28-Funkční rozměry čelistí pro zkušební vzorky.....	34

SEZNAM TABULEK



Tabulka 1- Legenda: V- Váha, B – Body, H – Hodnota.....	31
Tabulka 2-Mechanické vlastnosti vybraných materiálů.....	33
Tabulka 3-Rozměry čelistí.....	34

SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavení	4-BP-01	ČELIST
Výrobní výkres	4-BP-01-01	ČELIST PEVNÁ
Výrobní výkres	3-BP-01-02	DORAZ
Výrobní výkres	4-BP-01-03	ČELIST VÝMĚNNÁ



7	PODLOŽKA 5,3	ISO 7090-8						2
6	ŠROUB M3	ISO 4762 - 8.8						2
5	ŠROUB M5x10	ISO 4017 - 8.8						2
4	KOLÍK 6x10 A	ISO 8734 - St						2
3	DORAZ		424201	812	0,02	4-BP-01-03		1
2	ČELIST VÝMĚNNÁ		15230.7	035	0,3	3-BP-01-02		1
1	ČELIST PEVNÁ		15230.7	035	0,7	4-BP-01-01		1
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovary	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R.weight	Assembly No.	Quant.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name			 <p>FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI</p> <p><small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small></p>	
Kreslil / Drawn by	24.6.2014	Martin STANĚK				
Prezkoušel / Checked by						
Schválil / Approved by						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:	
 <p>Tolerance / Tolerovani</p> <p>ISO 8015 ISO 2768mK</p>	Soubor-model / ASM-file	celist_kolik_kolik_asm_stp			Projekt / Project: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Meritko / Scale N
	Soubor-vykres / DRW-file	celist_kolik_kolik_asm_stp			C.sestavy / Assembly No.	
					C.hmot.sestavy 1,2	
Nazev / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.	Format
ČELIST				1	4-BP-01	297.0 x 210.0
				List / sheet no. 1	Pocet listu / sheets 2	

4

3

2

1

D

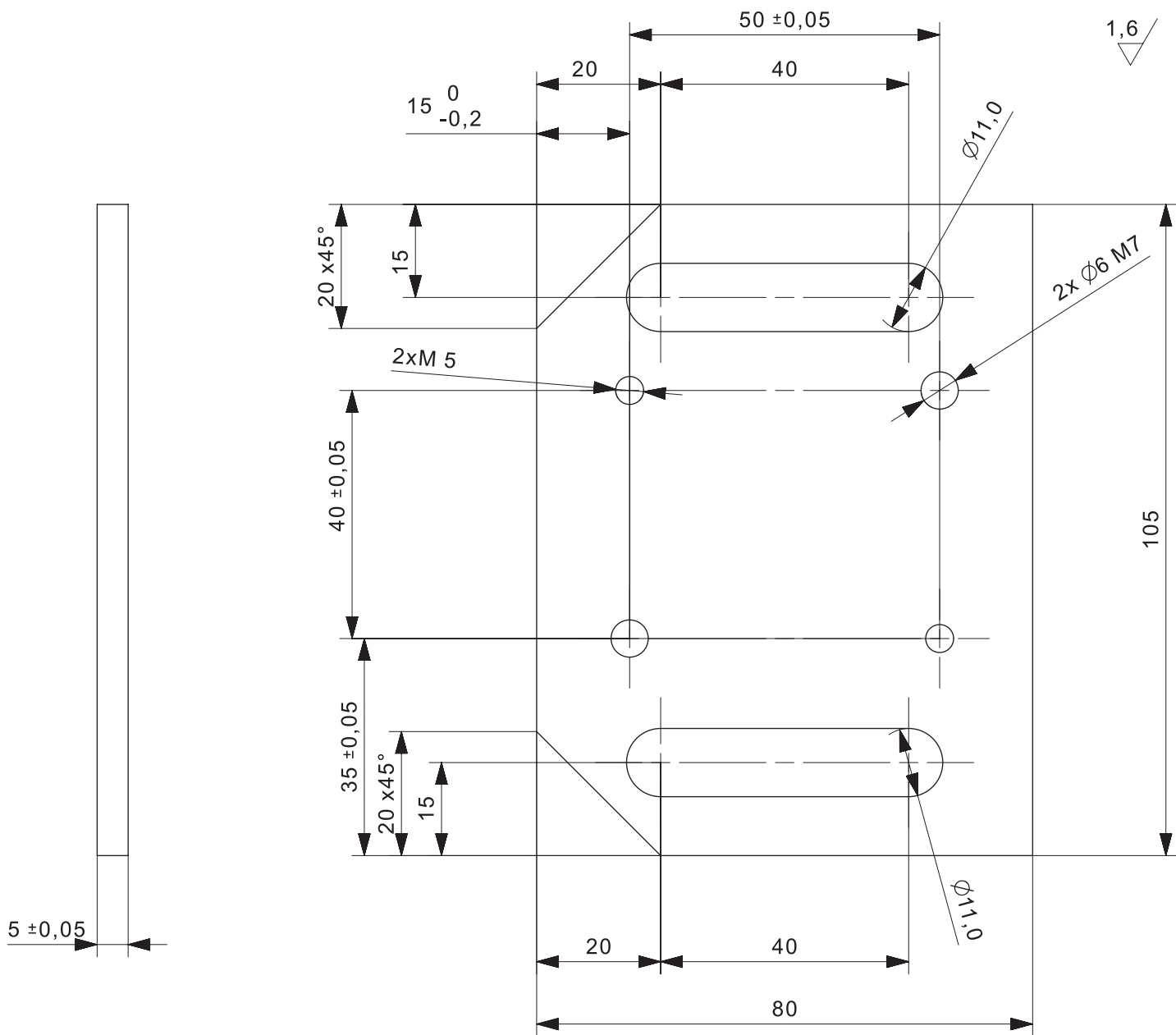
D

C

C

B

B



1.NETOLEROVANE ROZMĚRY PODLE ČSN ISO 2768-fH

	PLECH 10 - 90x110	ČSN 425310.11	15230.7	035		0,7	4-BP-01	
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovár	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Císlo sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R.weight	Assembly No.	Quant.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		
Kreslil / Drawn by	24.6.2014	Martin STANĚK		
Prezkoušel / Checked by				
Schválil / Approved by				
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature



FAKULTA STROJNI
ZAPADOČESKE
UNIVERZITY
V PLZNI

Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

Poznámka / Note:

 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file	celist_kolik_stp
	Soubor-vykres / DRW-file	celist_kolik_stp

Projekt / Project:	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Meritko / Scale
C.sestavy / Assembly No.	4-BP-01	1:1
C.hmot.sestavy		

Nazev / Title	ČELIST PEVNÁ
---------------	--------------

Rev.	Císlo vykresu / Drawing No.	4-BP-01-01	Format
			297.0 x 210.0
List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	1

4

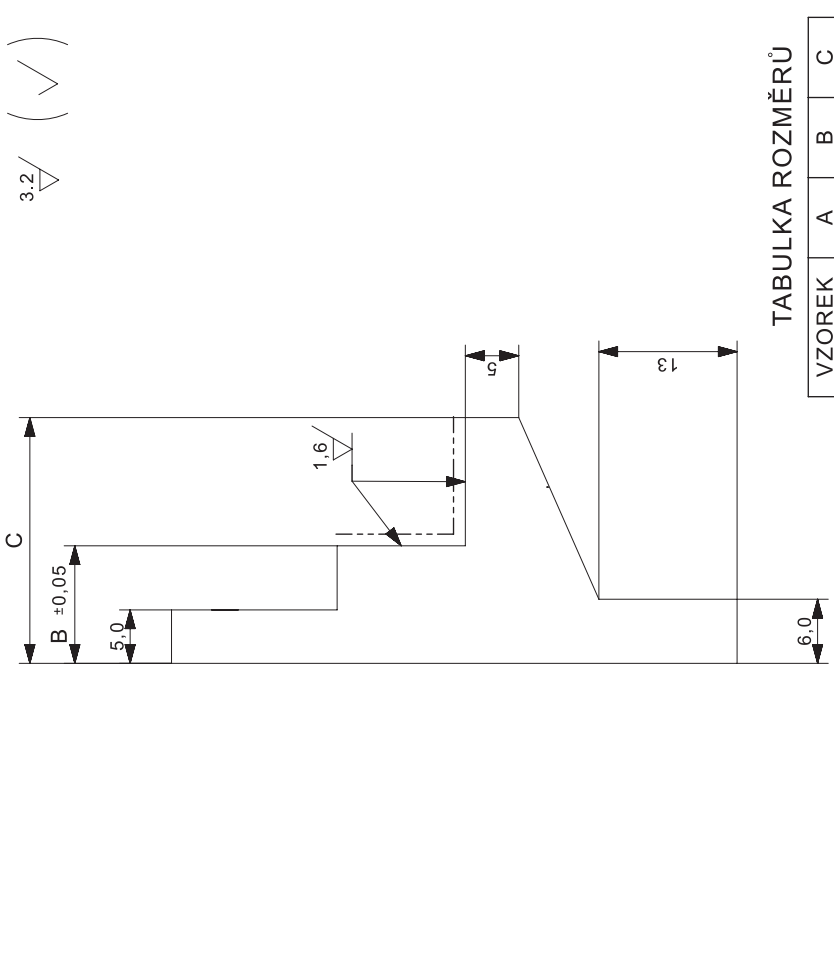
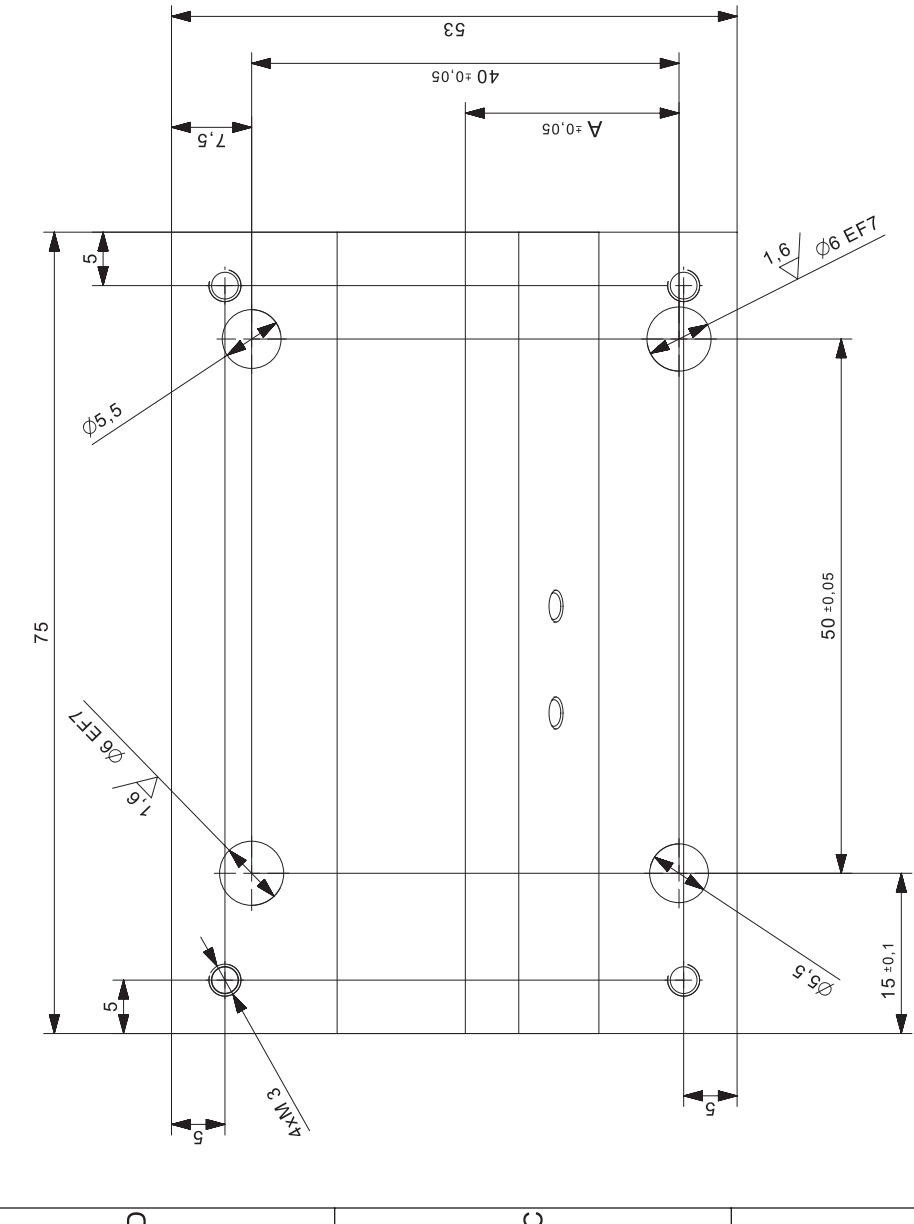
3

2

1

A

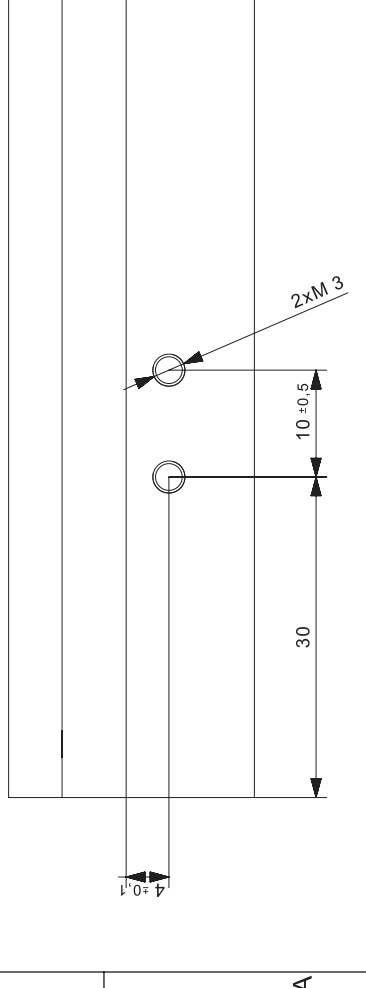
A



TABULKA ROZMĚRŮ

VZOREK	A	B	C
10x10	20	5	19
5x4	22.5	11	23
2x4	24	11	23
3x4	23	12	24
5x10	22.5	5	19

2. OZNAČENÉ PLOCHY POVRCHOVĚ KALIT NA HRC 55±5
1. NETOLEROVANÉ ROZMĚRY PODLE ČSN 2768-fH



Poz.	PLO 80x60x30	ČSN 425526.10	15230	035	0.30	4-BP-01
Pos.	Název - rozmer	Položovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.
Číslo 1	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R.weight
Kreslí / Drawn by	Datum / Date		Jmeno / Name	Počet ks.		
Prezkoušel / Checked by	24.6.20143		Martin STANEK	Cílo sestavy		
Schválil / Approved by				Assembly No.		
Index změny	Popis změny / change description		Schválil / APP	Datum / Date		Podpis / Signature
	Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project			
	Soubor-výkres / DRW-file		Bakalářská práce			
	Tolerance / Tolerance		4-BP-01			
	ISO 8015		Scale			
	ISO 2768mk		2:1			
Název / Title	ČELIST VÝMĚNNÁ		Rev.			
			1		Cílo výkresu / Drawing No.	
					3-BP-01-02	
					List / sheet no.	
					1	
					Pocet listu / sheets	
					1	
					Format	
					A3	

Logo of Fakulta Strojní, Západočeská univerzita v Plzni

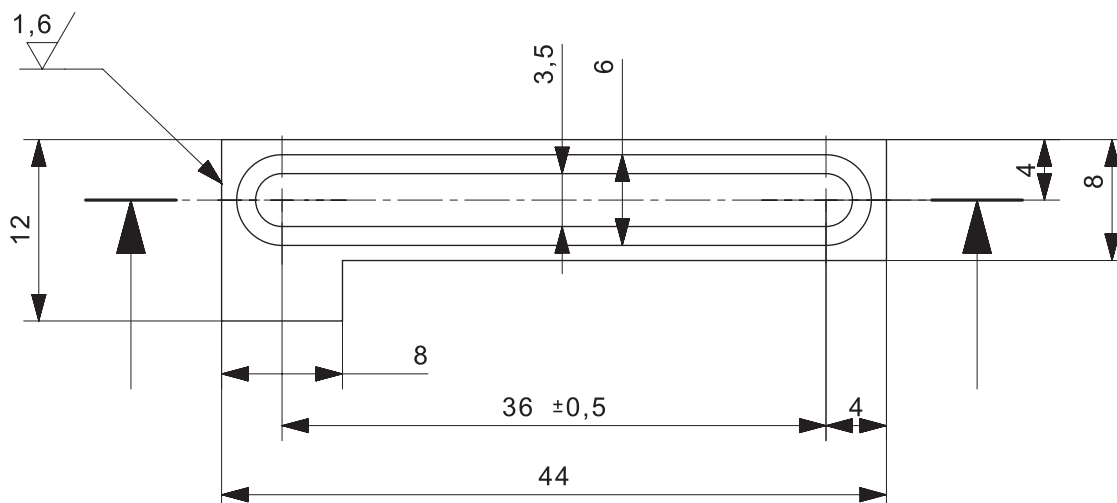
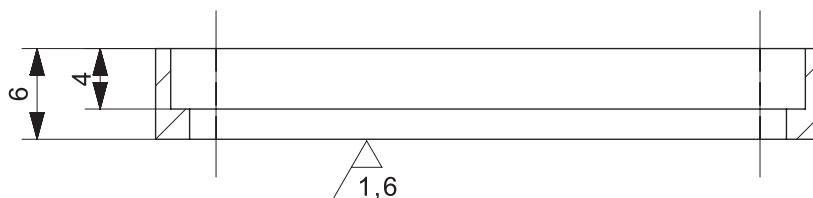
4

3

2


1


6.3 (✓)



1.NETOLEROVANE ROZMĚRY PODLE ČSN 2768-fH

	TYČ 16x10x50	ČSN 427624.02	424201	812		0,02	4-BP-01	
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R.weight	Assembly No.	Quant.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name			 <p>FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI</p> <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>
Kreslil / Drawn by	24.6.2014	Martin STANĚK			
Prezkoušel / Checked by					
Schválil / Approved by					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:

 <p>Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK</p>	Soubor-model / ASM-file doraz_stp	Projekt / Project: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Meritko / Scale
	Soubor-vykres / DRW-file doraz_stp	C.sestavy / Assembly No. 3-BP-01	2:1
Nazev / Title DORAZ		Rev. Cislo vykresu / Drawing No. 4-BP-01-03	Format 297.0 x 210.0
		List / sheet no. 1	Pocet listu / sheets 1

4

3

2

1