

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Tomáš Mejtský

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh upínací kleštiny pro instrumentované dynamické tahové zkoušky  
plochých vzorků

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2019/2020

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE** (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš Mejtský**  
Osobní číslo: **D17159**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**  
Téma práce: **Návrh upínací kleštiny pro instrumentované dynamické tahové zkoušky plochých vzorků**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

### **Zásady pro vypracování**

Úvodní část práce obsahuje teoretické znalosti o testování při vysokých rychlostech, možnostech testování a tvaru zkoušených vzorků.

Praktická náplň bakalářské práce je návrh včetně výrobní dokumentace kleštiny pro ploché vzorky definovaných rozměrů. Kleština musí být integrována do stávajícího měřicího řetězce instrumentovaného Charpyho kladiva. Součástí práce je úprava a výroba opěrného systému zmiňovaného zařízení.

Výstupem práce je výrobní dokumentace, ověření funkčnosti sestav a vyhodnocení mechanických vlastností při definované rychlosti testování klíčového konstrukčního prvku automobilové karosérie.

Rozsah pracovní zprávy: **30 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] *Hodnocení vlivu strukturní heterogenity na pevnost svarových spojů vysokopevnostních ocelí.* Pardubice, 2016. Disertační práce. Univerzita Pardubice.  
[2] *Dynamická pevnost svarů martenzitických ocelí bezpečnostních proků automobilů.* Pardubice, 2015. Disertační práce. Univerzita Pardubice.  
[3] *Testování dynamické pevnosti dooufázových vysokopevnostních ocelí.* Pardubice, 2015. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Hanus, Ph.D.**  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **18. února 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2020**

L.S.

---

**doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Jakub Vágner, Ph.D.**  
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato bakalářská práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne 27. 03. 2020

Tomáš Mejtský

## **PODĚKOVÁNÍ**

V následujících odstavcích bych rád poděkoval všem, kteří mi pomáhali ve vytvoření této práce.

V první řadě bych rád poděkoval Ing. Petru Hanusovi, Ph.D. za odborné vedení, pokaždé okamžitou zpětnou vazbu a vhodně směřované připomínky k práci.

Dále bych rád vyjádřil nemalé dík mé rodině, která mi ustavičně dodává tolik potřebnou psychickou podporu jak při studiích, tak v životě.

## **ANOTACE**

V první části se tato práce zabývá použitím ocelí v karoserii automobilu, včetně mechanických vlastností vybraných vysokopevnostních ocelí. Dále se v teoretické rovině pojednává o statických (kvazi-statických) a dynamických zkouškách vzorků, stejně jako o používaných strojích k těmto testům. V praktické části je řešen problém upnutí testovaného vzorku při dynamických tahových zkouškách Charpyho kladivem, včetně potřebných pevnostních výpočtů a výkresové dokumentace.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Autokaroserie, vysokopevnostní oceli, deformační rychlost, statické a dynamické zkoušky, Charpyho kladivo, upínací mechanismus, upínací kleština.

## **TITLE**

Design of clamping collet for instrumented dynamic tensile tests of flat samples

## **ANNOTATION**

The first part deals with the use of steels in the car body, including the mechanical properties of selected high-strength steels. Furthermore, the theoretical part deals with static (quasi-static) and dynamic testing of samples, as well as the machines used for these tests. In the practical part the problem of clamping of the tested sample during dynamic tensile tests with Charpy hammer is solved, including necessary strength calculations and drawing documentation.

## **KEYWORDS**

Car body, high-strength steels, strain rate, static and dynamic tests, Charpy hammer, clamping mechanism, clamping collet.

# OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	11
ÚVOD.....	12
1 SORTIMENT OCELÍ V KAROSERII.....	13
1.1 Mechanické vlastnosti konvenčních ocelí v karosériích .....	14
2 TESTOVÁNÍ STATICKÉ (KVAZI-STATICKÉ) VS. DYNAMICKÉ .....	15
2.1 Statické, kvazi-statické zkoušky.....	17
2.2 Dynamické zkoušky .....	18
2.2.1 Zkušební zařízení .....	18
2.2.2 Měření veličin .....	19
2.2.3 Upnutí vzorku.....	19
2.2.4 Rychlá tahová zkouška.....	19
2.3 Závěr statické (kvazi-statické) vs. dynamické.....	20
3 PŘEHLED ZAŘÍZENÍ PRO DYNAMICKÉ TESTOVÁNÍ .....	21
3.1 Padostroj.....	21
3.2 Servohydraulické a servoelektrické stroje.....	21
3.2.1 Servohydraulické stroje.....	21
3.2.2 Servoelektrické stroje.....	22
3.3 Hopkinsonova tyč.....	22
3.4 Rázová kladiva .....	23
3.4.1 Charpyho metoda .....	23
3.4.2 Izodova metoda .....	23
3.5 Explosivní.....	24
4 CHARPYHO KLADIVO A TESTOVÁNÍ PLOCHÝCH VZORKŮ.....	25
5 NÁVRH A KONTROLA UPÍNACÍ KLEŠTINY .....	26
5.1 Vývoj upínacího zařízení pro testování plochých vzorků .....	26
5.2 Základní požadavky kladené na upínací zařízení .....	26
5.2.1 Rozměrové požadavky .....	26
5.2.2 Tuhost upnutí .....	26
5.3 Velikost zkušebního vzorku .....	26
5.4 Konstrukce upínacího zařízení .....	28
5.4.1 Kleština .....	29



5.4.2	Návrh upínacího mechanismu.....	30
5.5	Bezpečnostní a montážní součásti .....	31
5.6	Pevnostní kontrola.....	33
6	VLASTNÍ ZKOUŠKY .....	40
	ZÁVĚR .....	43
	POUŽITÁ LITERATURA .....	44
	PŘÍLOHY .....	46

## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 – Příklad použití ocelí v nové Škodě Kamiq [1] .....	13
Obrázek 2 – Mechanické vlastnosti jednotlivých materiálů [2] .....	14
Obrázek 3 – Rozdělení testování v závislosti na deformační rychlosti [4] .....	15
Obrázek 4 – Hydraulický trhací stroj firmy Zwick/Roell [7] .....	17
Obrázek 5 – Ukázka grafu z tahové zkoušky [8].....	18
Obrázek 6 – Rychlý trhací stroj [9] .....	19
Obrázek 7 – Příklad výstupního grafu dynamické zkoušky .....	20
Obrázek 8 – Porovnání výstupních grafů dynamických a statických zkoušek.....	20
Obrázek 9 – Moderní padostroj [10].....	21
Obrázek 10 – Servohydraulický stroj [13].....	22
Obrázek 11 – Schéma uspořádání Hopkinsonova testu [14] .....	22
Obrázek 12 – Reálné provedení Hopkinsonova testu [15] .....	23
Obrázek 13 – Rázové kladivo Zwick RKP 450 [16] .....	24
Obrázek 14 – Rázové kladivo s řízenou explozí.....	24
Obrázek 15 – Typy zkušebních vzorků [18].....	28
Obrázek 16 – Podsestava kyvadlového kladiva pro dynamické zkoušky [6].....	28
Obrázek 17 – 3D pohled na sestavu přípravku .....	29
Obrázek 18 – 3D kleština z plastu .....	30
Obrázek 19 – 3D pohled na oba typy klínů .....	30
Obrázek 20 – 3D pohled na sestavu.....	31
Obrázek 21 – 3D pohled na řez sestavy .....	31
Obrázek 22 – 3D pohled na uchycení, matici a vodící kolíky .....	32
Obrázek 23 – 3D pohled na finální sestavu, vodící kolíky, upravený klín a stavěcí šroub .....	32
Obrázek 24 – Součásti finální sestavy, složené (vlevo), rozložené (vpravo) .....	33
Obrázek 25 – Potřebné rozměry testovacího vzorku .....	33
Obrázek 26 – Schéma pružného děje.....	34
Obrázek 27 – Schéma předpokládaného řešení .....	35
Obrázek 28 – Průřez matice.....	37
Obrázek 29 – Silový obrazec A .....	38
Obrázek 30 – Silový obrazec B .....	39
Obrázek 31 – Příklad výsledného grafu.....	40
Obrázek 32 – Detail grafu 3.....	41
Obrázek 33 – Porovnání intervalů statických a dynamických zkoušek.....	42
Tabulka 1 – Výčet mechanických vlastností vybraných materiálů [3].....	14
Tabulka 2 – Výstupní hodnoty z grafů s porovnáním se statickými vlastnostmi [20] .....	41

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

HSS	High strength steels	
AHSS	Advanced high strength steels	
UHSS	Ultra high strength steels	
$\epsilon$	Lineární poměrná deformace	
$l$	Vzdálenost	m
$v$	Rychlost	$\text{ms}^{-1}$
$w, \dot{\epsilon}$	Rychlost deformace	$\text{s}^{-1}$
$t$	Čas	s
$k, l, L_c$	Deformovaná délka	m
$v_n$	Rychlost čelistí zkušebního stroje	$\text{ms}^{-1}$
$C$	Rychlost šíření elastické vlny	$\text{ms}^{-1}$
$U$	Mez úměrnosti (smluvní graf)	MPa
$E$	Mez pružnosti (smluvní graf)	MPa
$K, R_t, R_e$	Mez kluzu (smluvní graf)	MPa
$P, R_m$	Mez pevnosti (smluvní graf)	MPa
$S$	Přetržení (smluvní graf)	
$U'$	Mez úměrnosti (reálný graf)	MPa
$E'$	Mez pružnosti (reálný graf)	MPa
$K'$	Mez kluzu (reálný graf)	MPa
$P'$	Mez pevnosti (reálný graf)	MPa
$S'$	Přetržení (reálný graf)	
$e_s$	Požadovaná smluvní deformace před dosažením rovnováhy	m
$\dot{\epsilon}$	Zkušební rychlost	$\text{ms}^{-1}$
$a_0, t$	Počáteční tloušťka zkoušeného materiálu	m
$b_0, b$	Počáteční šířka zkoušeného materiálu v místě zkoušené délky	m
$L_0$	Počáteční délka	m
$L_{\text{celk}}, L_{\text{total}}$	Celková délka	m
$b_g$	Šířka upínací části	m
$\sigma$	Mechanické napětí	MPa

$\Delta l$	Změna délky	m
F	Síla	N
S	Plocha	m <sup>2</sup>
$\frac{F}{\Delta l}$	Tuhost	kg s <sup>-2</sup>
a	Zrychlení	ms <sup>-2</sup>
m	Hmotnost	kg
B	Amplituda	m
$\omega$	Úhlová frekvence	s <sup>-1</sup>
t	Čas	s
F <sub>max</sub>	Maximální síla	N
E <sub>k</sub>	Kinetická energie	J
$\sigma_t$	Napětí v tahu	MPa
$\sigma_{Dt}$	Dovolené napětí v tahu	MPa
F <sub>tah</sub>	Tahová síla	N
k	Bezpečnostní koeficient	
F <sub>max</sub> '	Maximální dovolená síla vůči dílčím součástem	N
l'	Hloubka děr pro kolíky	m
d	Průměr děr pro kolíky	m
$\alpha$	Úhel vybrání (klínu)	°
F <sub>n</sub>	Normálová síla	N
F <sub>v</sub>	Výsledná síla	N
F <sub>o</sub>	Osová síla	N
E <sub>c</sub>	Spotřebovaná energie do lomu	J
F <sub>r</sub>	Reakční síla	N
f	Součinitel tření	
$\varphi$	Třecí úhel	rad

# ÚVOD

V dnešní době rychlého vývoje automobilového průmyslu je prioritou ekonomická a technická dominance na trhu. S tím je spjata neustálé optimalizování a vylepšování stávajících výrobních technologií, zvyšování bezpečnosti, snižování hmotnosti jednotlivých komponent, ceny a podobně. Mezi moderní směry vývoje patří co nejvíce zmenšit negativní dopad spalování pohonných hmot na životní prostředí. Dosáhnout menší spotřeby pohonných hmot lze i již zmíněným snížením váhy. Toto však není úplně jednoduché, protože například v případě karoserie se musí zachovat pasivní bezpečnost posádky.

Dle mého názoru patří bezpečnost a hmotnost, která přímo ovlivňuje snižování spotřeby pohonných hmot, k nejdůležitějším faktorům při vývoji nových konceptů automobilů. Jedná se však o dva protichůdné prvky, jejichž vyhovující poměr lze řešit použitím vysokopevnostních materiálů. K docílení těchto vlastností je třeba nejdříve poznat chování materiálu, které se nejčastěji zjišťuje experimentálně pomocí zkoušek.

Existuje mnoho evropských a celosvětových firem, zabývajících výrobou zkušebních strojů a automatů určených k mechanickému zkoušení materiálů a celých výrobků. Díky vlastnímu inovativnímu vývoji produktů a komplexnímu portfoliu výrobků poskytují nadstandardní služby, a to jak v oblasti výzkumu a vývoje, tak i při zajišťování stoprocentní kontroly výrobní kvality v průmyslových odvětvích jako je automobilový průmysl. Samozřejmě v tomto oboru jsou nejvyšší nároky na přesnost, opakovatelnost a spolehlivost dosažených výsledků během výroby a testování.

V mé práci je rozebírané použití vysokopevnostních materiálů zejména v karosériích. Níže uvedený sortiment ocelí v autokarosérii je závislý na mechanických vlastnostech materiálů. Materiál musí být nejen staticky pevný, ale musí poskytovat i dobrou absorpci energie, dynamické zpevnění, musí mít schopnost tvárného lomu, a to vše v širokém intervalu provozních teplot a rychlostí deformací. Při zjišťování výše uvedených vlastností jsou potřeba již zmíněné experimentální zkoušky.

V teoretické části mé práce je rozveden přehled možností testování materiálů s důrazem na tahové instrumentované zkoušky. Klíčovou roli pro správný průběh a vyhodnocení tahových zkoušek, hlavně pak dynamických, je správné upnutí vzorku. K tomu je potřeba, aby upnutí bylo dostatečně pevné a tuhé. Také nesmí zmenšovat průřez zkoušeného materiálu a musí být kompatibilní se zkoušecím strojem.

Cílem praktické části je vytvořit návrh upínacího zařízení, které bude instalované na Charpyho kladivo a pokryje rychlosti deformace odpovídající dnešním normovaným crash testům.

# 1 SORTIMENT OCELÍ V KAROSERII

Je několik druhů karosérií automobilu: nosné, polonosné a podvozkové. V současnosti se u osobních automobilů nejčastěji vyskytuje samonosná karoserie. Samonosné karoserie jsou poskládané z mnoha konstrukčních celků, u kterých se používá různý sortiment ocelí. Jednotlivý výběr ocelí závisí na funkčnosti dané části.

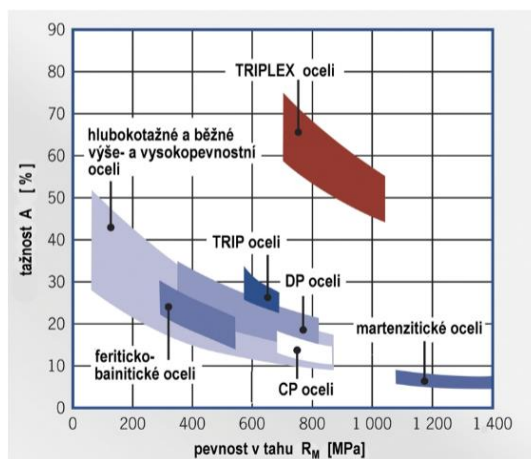
Jak jsem již psal, kvůli trendu snižování emisí je kladen čím dál tím větší důraz na snížení hmotnosti vozidla a tím pádem i karosérie. Nicméně snížení hmotnosti jde ruku v ruce s bezpečností. V praxi toho dosahujeme právě použitím vysokopevnostní ocelí v nejvíce zatěžených částech. Aplikací zmíněného materiálu můžeme snížit průřez nosných prvků nebo jejich tloušťku při zachování bezpečnosti posádky – tím se dá ušetřit nejen hmotnost ale i prostor. Na obrázku 1 můžeme vidět, že předkládaná fakta se doopravdy v praxi vyskytují, nejpoužívanější materiál je vysokopevnostní ocel a jedná se téměř o 78,4 % z celkového použití oceli u Škody Kamiq. Každopádně se zde používá i další ocel, zejména na části, kde není vyžadovaná taková pevnost, ale je preferovaná hmotnost.



Obrázek 1 – Příklad použití ocelí v nové Škodě Kamiq [1]

## 1.1 Mechanické vlastnosti konvenčních ocelí v karosériích

Nejdůležitějším aspektem pro výběr materiálu do konstrukčních celků jsou mechanické vlastnosti materiálu. Grafický přehled charakteristik vybraných materiálů je uveden na obrázku 2. Výpis hodnot jednotlivých vlastností je v tabulce níže. V tabulce jsou uvedeny maximální dosažitelné hodnoty jednotlivých vlastností.



Obrázek 2 – Mechanické vlastnosti jednotlivých materiálů [2]

		Mechanické vlastnosti			
	Druh materiálu	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Obsah uhlíku [%]
Vysokopevnostní ocel (HSS)	IF-HS	340	460	35	0.01
	IF-BH	360	480	34	0.1
	CMn	460	610	35	0.5
	HSLA	350	730	28	0.14
	IS	300	400	34	-
Pokročilé vysokopevnostní oceli (AHSS)	DP oceli	1100	1180	27	0.18
	CP oceli	950	1200	19	0.25
	Trip oceli	550	900	25	0.25
Ultra vysokopevné oceli (UHSS)	TWIP oceli	1350	1470	125	0.6
	Martenzitické oceli	1520	1820	6	0.25
	Borové oceli	1770	>2000	6	0.25

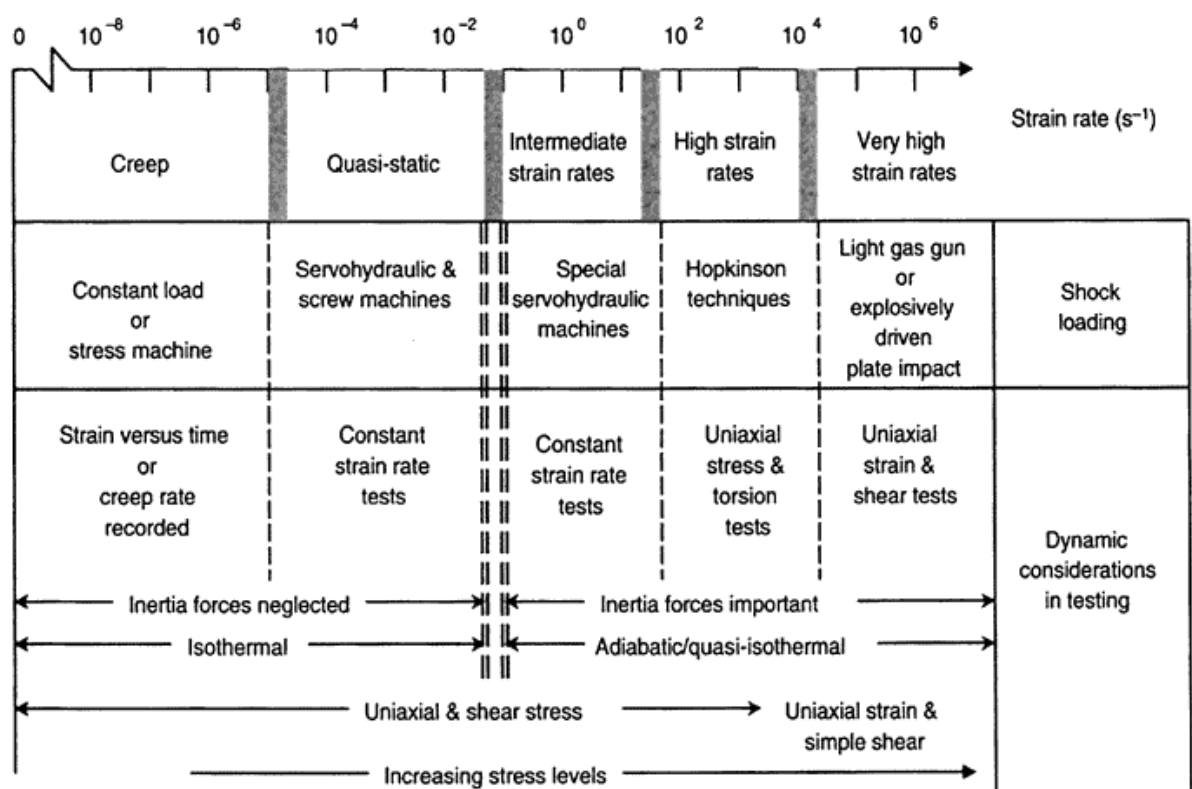
Tabulka 1 – Výčet mechanických vlastností vybraných materiálů [3]

## 2 TESTOVÁNÍ STATICKÉ (KVAZI-STATICKÉ) VS. DYNAMICKÉ

Předchozí kapitola zobrazuje a popisuje mechanické vlastnosti širokého sortimentu ocelí, který je zastoupen v karosériích automobilů. Pro správný návrh svařované karosérie je nutné znát mechanické vlastnosti v širokém rozsahu testovaných rychlostí deformací. S ohledem na to je důvodem i návrh testované kleštiny pokrývající rychlosti deformace už od  $230 \text{ s}^{-1}$ .

Mechanické vlastnosti materiálů jsou závislé na rychlostech deformací. U většiny materiálů při zvyšování deformační rychlosti pozorujeme „dynamické zpevnění“. V praxi to znamená, že při větší deformační rychlosti vzrůstá i pevnost materiálu. Dynamické testování má své specifické podmínky, které budou podrobněji rozepsány později v této kapitole. V závislosti na tomto charakteru zpevnění se nejčastěji testy rozdělují podle dvou hlavních kritérií:

1. Statické, kvazi-statické (Creep, quasi-static)
2. Dynamické (intermediate, high, very high strain rates)



Obrázek 3 – Rozdělení testování v závislosti na deformační rychlosti [4]

Pro testování pasivní bezpečnosti vozidel se používají crash testy. Nejběžnější je čelní nárazový test podle Euroncap, který simuluje náraz dvou protijedoucích aut v rychlosti přibližně  $55 \text{ km/h}$ . Napodobení probíhá nárazem jedoucího automobilu do deformovatelné bariéry v rychlosti  $64 \text{ km/h}$  s překrytím 40% šířky automobilu. Z obrázku 3 určíme, že nejběžnější čelní střet dvou aut je čistě dynamický jev. [5]



Výše zmíněnou deformační rychlost lze vyjádřit jako podíl rychlosti čelistí zkušebního zařízení a deformované délky vzorku.

POZNÁMKA:

„Deformační rychlost vychází z relativního pohybu mezi částicemi deformovaného prostředí. Je třeba připomenout, že rychlost těchto relativních pohybů není totožná s rychlostí silového působení.

Matematické vyjádření deformační rychlosti je pak založeno na vyjádření lineární poměrné deformace  $\varepsilon$  mezi částicemi vzdálenými o  $l$ , tedy  $\varepsilon = \frac{dl}{l}$ .

Aby uvedená změna vzdálenosti  $l$  nastala, musí mezi uvažovanými částicemi existovat jistá relativní rychlost  $dv$ .

Vztáhneme-li tuto elementární rychlost k délce  $l$ , vyjádříme např. veličinu  $w$ , která vyjadřuje rychlost deformace při náhlé změně délky  $dl$ . Platí:

$$w = \frac{dv}{l}, \quad (1)$$

$$\text{protože pro relativní rychlost platí, že } v = \frac{dl}{dt} \quad (2)$$

lze psát:

$$w = d\left(\frac{dl}{dt}\right) \cdot \frac{1}{l} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dl}{l}\right) = \frac{d\varepsilon}{dt} = \dot{\varepsilon} \quad (3)$$

Deformační rychlost  $w$  je dána derivací poměrné deformace  $\varepsilon$  podle času  $t$ .

Uvažujeme-li reálnou tahovou zkoušku, při níž má zkušební vzorek deformovanou délku  $k$ , lze psát:

$$w = \dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{dk}{dt} = \frac{1}{k} \left(\frac{dk}{dt}\right), \quad (4)$$

kde  $\left(\frac{dk}{dt}\right)$  je rychlost  $v_n$  čelistí zkušebního stroje.

Potom lze deformační rychlost vyjádřit jako:

$$w = \dot{\varepsilon} = \frac{dk}{k dt} = \frac{v_n}{k} \quad (5)$$

Deformovanou délku  $k$  vzorku potom stanovíme ze vztahu (5) pro zvolenou deformační rychlost  $w$  a danou rychlost  $v_n$ .“ [6] Str. 68-69

## 2.1 Statické, kvazi-statické zkoušky

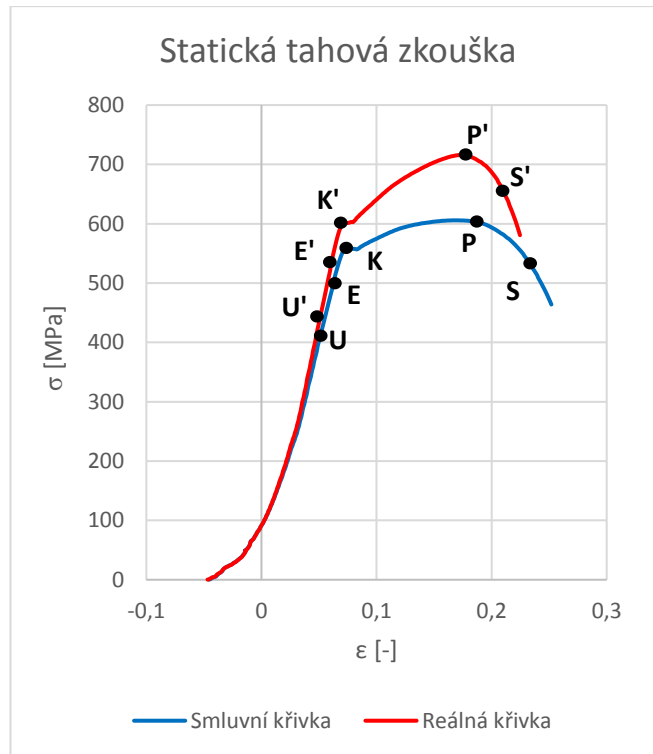
Jedná se o styl testování, který se provádí za nízkých rychlostí a při konstantním zatížení. Výhodou této zkoušky oproti dynamické zkoušce jsou poměrně nízké nároky na zkoušecí zařízení, měřící aparaturu i samotné upnutí vzorku do kleštin zařízení. Nevýhodou mohou být například ne příliš reálné vyobrazení chování materiálu v reálných dějích, které jsou převážně rychlé.

Při statickém zkoušení se převážně zjišťuje pevnost a deformace pomocí tahu, tlaku nebo ohybu (patří sem i střih a krut). Nejčastěji je používána zkouška tahem. Tato zkouška je realizována za konstantního zatížení a pomalé deformační rychlosti (viz obrázek 3). K realizaci zkoušky se využívá trhací stroj (obrázek 4).



Obrázek 4 – Hydraulický trhací stroj firmy Zwick/Roell [7]

Testovaný vzorek se upne do upínací hlavy. Pomocí hydraulického válce a pístu je na vzorek vyvinuta svislá síla, která jej prodlužuje. Míru prodloužení zaznamenává snímač prodloužení zkušebního tělesa. Vzorek se prodlužuje až do doby, kdy dojde k jeho porušení. Výsledný graf zkoušky (závislost tahové síly na prodloužení) vypadá následovně.



Obrázek 5 – Ukázka grafu z tahové zkoušky [8]

Tento graf platí pro běžnou tažnou ocel. Vidíme zde dvě čáry, modrou čáru, ta znázorňuje smluvní diagram (vlivem tahu se v průběhu zkoušky mění průměr, ale graf je vztahován pořád na původní průměr) a červená čára znázorňuje skutečný diagram tahové zkoušky. Dále na ose x je relativní prodloužení  $\epsilon$  a na ose y je mechanické napětí  $\sigma$ . Jsou zde vyznačeny významné body U (mez úměrnosti; do této doby je prodloužení lineární v celé délce průřezu), E (mez pružnosti; do této doby je deformace stále pružná), K (mez kluzu; počátek stálých deformací), P (mez pevnosti; maximální napětí dosažené v průběhu zkoušky), S (přetrhnutí vzorku), body označené U', E', K', P', S' platí pro zmíněný smluvní diagram.

## 2.2 Dynamické zkoušky

Při tomto druhu testování je vzorek vystaven náhlému (nárazovému) zatížení. Jedná se o testování za vysokých rychlostí a jednotlivé děje se zde odehrávají rychle. Tyto děje popisují realitu, která se objevuje v praxi, jako je jízda automobilu v terénu, nehoda apod. V porovnání se statickými zkouškami můžeme obecně shrnout, že dynamické zkoušky se liší ve třech bodech:

1. Zkušební zařízení
2. Měření veličin
3. Upnutí vzorku

### 2.2.1 Zkušební zařízení

Potřebné rychlosti v celém svém spektru není možné pokrýt strojem určeným ke statickým tahovým zkouškám. Zařízení pro dynamické zkoušení disponují větším nárokem na výkon stroje, který za krátký čas musí urychlit velkou hmotu.

## 2.2.2 Měření veličin

Potřebujeme měřit stejné veličiny jako u statické zkoušky, ale dynamika a krátký čas trvání samotné zkoušky mění situaci. Je potřeba rychlá záznamová technika (velká vzorkovací frekvence, zkouška samotná trvá zlomky milisekundy). Záznam ze snímače síly může být znehodnocen kmitáním částí sestavy (všechny reálné materiály mají konečnou tuhost, nejsou dokonale tuhé), proto se někdy volí měření síly pomocí tenzometru umístěného přímo na k tomu uzpůsobeném vzorku. Měření prodloužení též nemůže být provedeno klasickým kontaktním měřidlem, jako to bylo u statické tahové zkoušky, riskovalo by se jeho poškození. Používají se tedy bezkontaktní optické snímače polohy. Obtížné je však jejich prostorové umístění do zkoušky.

## 2.2.3 Upnutí vzorku

Samotné upnutí vzorku pak musí splňovat podmínku pevného a co nejtužšího spojení (s ohledem na kmity a měření prodloužení), ale též je vhodné lehké provedení – mít co nejméně „mrtvé hmoty“, kterou je nutné urychlit na požadovanou rychlost.

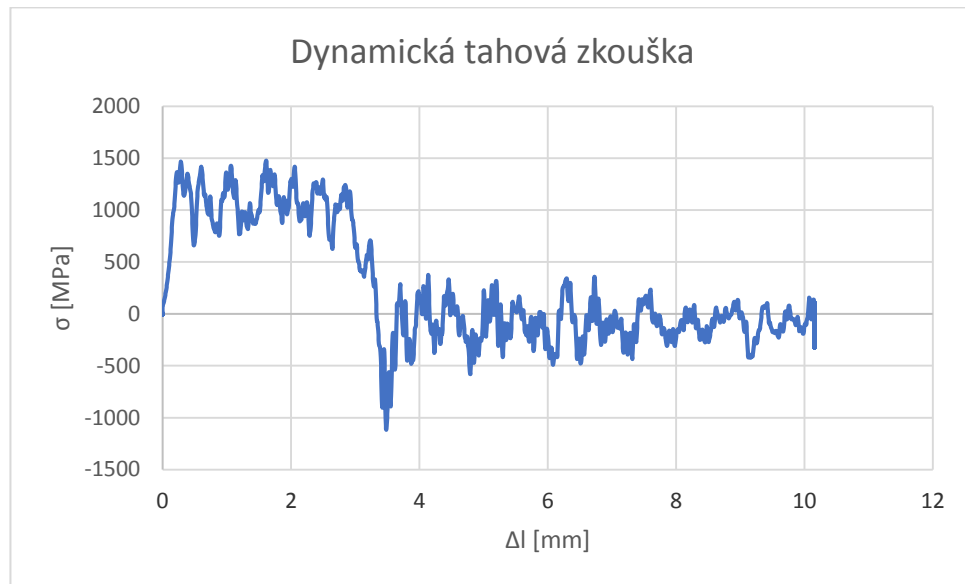
## 2.2.4 Rychlá tahová zkouška

Jako u statických zkoušek se jedná o nejpoužívanější metodu zjištění vlastností vzorku. V podstatě je tato tahová zkouška stejná jako předešlá, s rozdílem, že upínací hlava a vzorek jsou urychleny na podstatně vyšší rychlosti. To obnáší velké požadavky nejen na upnutí, ale právě na výkon tohoto stroje. Řešení se nabízí pomocí servohydraulických akčních členů. Také je potřeba náležitých měřicích zařízení, v níže uvedeném případě je optické měřicí zařízení.



Obrázek 6 – Rychlý trhací stroj [9]

Stejně jako v předchozím případě po upnutí vzorku dojde k testování. Bližší popis zařízení nastíním v následující kapitole o zařízeních pro dynamické zkoušky. Na obrázku 7 můžeme vidět příklad výstupního grafu z dynamické zkoušky. Dochází zde ke zmiňovanému dynamickému zpevnění.

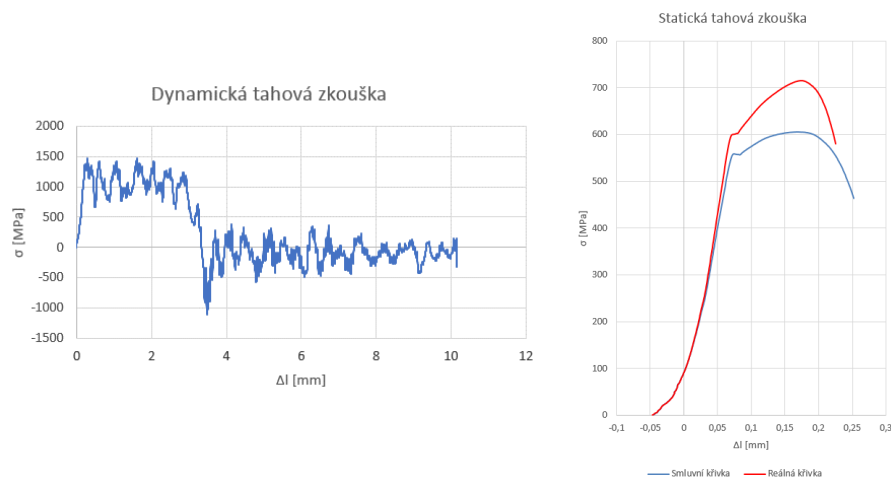


Obrázek 7 – Příklad výstupního grafu dynamické zkoušky

### 2.3 Závěr statické (kvazi-statické) vs. dynamické

S ohledem na složitost svařované karosérie nelze jednoznačně určit univerzální hodnotu pevnosti pro vybraný materiál, která by dostatečně popisovala chování karosérie při nárazu a zároveň by byla unifikovaná pro matematické predikce právě při této situaci.

Správným přístupem je reálné testování při různých rychlostech deformace jak statických, tak dynamických. Korektně naměřená a zpracovaná data pak poskytnout pro modely již zmiňovaných situací. Na obrázku 6 jsou porovnány grafy dynamických a statických zkoušek stejného zkoušeného materiálu.



Obrázek 8 – Porovnání výstupních grafů dynamických a statických zkoušek

### 3 PŘEHLED ZAŘÍZENÍ PRO DYNAMICKÉ TESTOVÁNÍ

Ať už se jedná o statické nebo dynamické zkoušky, je zapotřebí vhodný nástroj k jejich uskutečnění. V této kapitole bude uveden sortiment používaných strojů právě pro dynamické testování.

#### 3.1 Padostroj

Padostroj se používal převážně v minulých dobách, avšak po patřičných modernizacích se používá i dnes. Podstata jeho fungování je v polohové energii závaží. V nynější době je konstrukční řešení složité, je to tak z důvodu přesnosti zjišťování komplexních vlastností zkoušených materiálů. Je tedy kladen důraz zejména na přesnost nastavení polohové energie závaží, ale i na vedení závaží. Jako další lze zmínit důraz na patřičnou instrumentaci stroje.



Obrázek 9 – Moderní padostroj [10]

#### 3.2 Servohydraulické a servoelektrické stroje

Servohydraulické a elektrodynamické stroje jsou určeny pro testování mechanického namáhání vzorků. Frekvence mechanického namáhání může dosáhnout až 1000 Hz, při zdvizích až 350 mm a síle až 50000 kN. Mechanické testy lze provádět i při mezních klimatických podmínkách, jako například při velmi nízkých teplotách až -150 °C. [11]

##### 3.2.1 Servohydraulické stroje

Základem zkušební stroje je servohydraulický válec, ovládaný hydraulickým agregátem a řízen elektromagnetickým servoventilem. Konstrukce těchto strojů umožňuje namáhání testovaných vzorků vyšší zkušební silou s větší frekvencí. Tyto parametry stroje jsou využívány pro dlouhodobé testování únavy materiálu, popř. celistvých vzorků v tahu, tlaku, ohybu, smyku a krutu. Používají se především pro vývojové účely, pro kontrolu kvality v automobilovém, leteckém a stavebním průmyslu. Stroje se vyznačují také vysokou tuhostí rámu a mechanickou odolností, z čehož vyplývá hlavní výhoda – schopnost generovat vysoké zatížení pomocí jednoduchého hydraulického systému. [12]



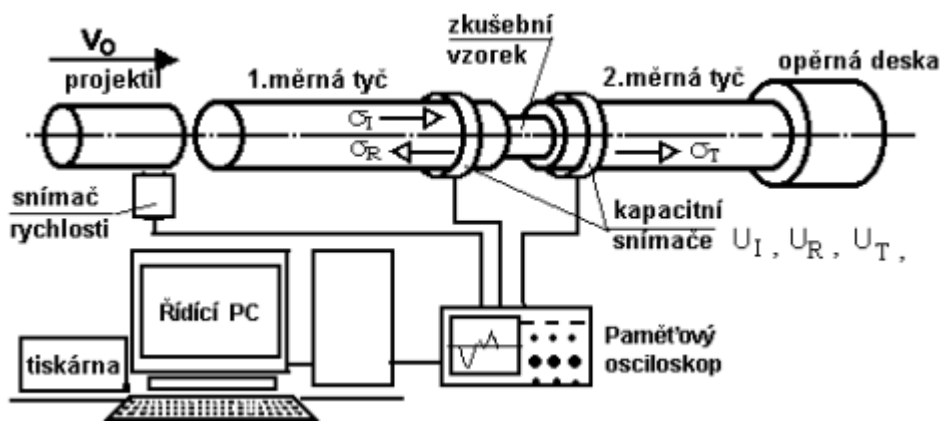
Obrázek 10 – Servohydraulický stroj [13]

### 3.2.2 Servoelektrické stroje

Pohon válce zajišťuje lineární elektromotor. Stejně jako servohydraulické tak i servoelektrické stroje jsou určeny především pro dlouhodobé testování únavy materiálu v tahu, tlaku, ale i krutu. Pro variabilitnost testů je možné tyto stroje doplňovat teplotními komorami.[11]

### 3.3 Hopkinsonova tyč

Hopkinsonova tyč je zařízení na kterém je zkoušený vzorek vystaven dynamickému zatížení při vysokých rychlostech. Simuluje se stav materiálu, který nastává při skutečných situacích v běžném provozu jako jsou havárie vozidel při vysokých rychlostech nebo stavy při kterých se vytváří vysoká energie na materiál. Používá se k testování vlastností kvalitních materiálů s vysokou rychlostí deformace. Při takto vysokém zatěžování zkoušeného vzorku, při takto vysokých rychlostech, je důležité brát v úvahu šíření napěťových vln, vlivy setrvačné síly a také mechanické rezonance působící na zkoušený vzorek. Metoda dělení Hopkinsonovy měrné tyče dokáže vyhodnocovat zkoušené vzorky i s těmito vlastnostmi. [14]



Obrázek 11 – Schéma uspořádání Hopkinsonova testu [14]



Obrázek 12 – Reálné provedení Hopkinsonova testu [15]

### 3.4 Rázová kladiva

Tyto stroje se používají k provedení rázového testu podle různých metod. Za nejdůležitější z nich se považuje Charpyho a Izodova metoda. Jedná se o rázové dynamické zkoušky. Požadovanými výsledky z těchto testů jsou hodnoty rázové a vrubové houževnatosti. Zkouška pro zjištění těchto materiálových vlastností se provádí při rázovém namáhání zkušební vzorku. Síla působí na zkoušený vzorek ve velmi krátkém čase. Z technického hlediska je rázové působení síly velmi nebezpečné, neboť může zapříčinit okamžité a nevratné poškození materiálu.

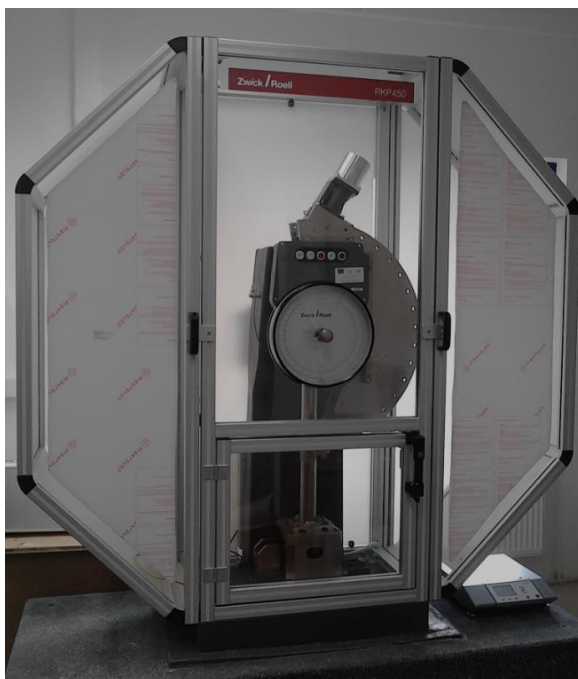
#### 3.4.1 Charpyho metoda

Charpyho metoda spočívá v přeražení definovaného zkušební tělesa rázem kyvadlového kladiva. Zkušební těleso je uloženo na dvou pevných podpěrách. Principem je těžké kladivo upevněné v počáteční poloze s možností otáčení kolem středové osy. Kladivo je v definované poloze čímž je zajištěna definovaná energie pro test. Zkušební vzorek se umístí do nejnižší polohy dráhy kladiva. Tímto způsobem může být stanovena hodnota nárazové práce v joulech. Vysoká houževnatost ocelí může zapříčinit, že zkušební vzorek nebude přeražen, ale pouze poškozen (plasticky deformován). Norma pro zkoušení uvažuje i tento jev, a proto je nutné na zkušebním vzorku vyrobít vrub s přesně danou geometrií nacházející se uprostřed zkoušeného vzorku. Hodnoty nárazové práce zkoušených materiálů se mění s teplotou, proto je nutné provádět testy při specifikovaných teplotách. [3]

#### 3.4.2 Izodova metoda

Rozdílností této metody je letmé uložení zkoušeného vzorku. Zkoušený vzorek je vetknut do jedné pevné podpěry a ráz kyvadlového kladiva působí na volný konec zkušební vzorku vzdáleného od vyrobeného vrubu. [3]





Obrázek 13 – Rázové kladivo Zwick RKP 450 [16]

### 3.5 Explosivní

Teoreticky lze tento druh zkoušky uplatnit u všech již zmíněných dynamických testů. Podstata spočívá ve způsobu urychlení hmoty, který je zde zprostředkován řízeným výbuchem. Příklad, jež se vyskytuje ve Výukovém a výzkumném centru v dopravě, je rázové kladivo urychlené již zmíněným řízeným výbuchem. Na krátké vzdálenosti dokáže pomocí exploze dosáhnout vysoké rychlosti v dolní úvratí a s tím spojená kinetická energie dosahuje taktéž větších hodnot. Hlavním důvodem konstrukce takovýchto zařízení je možnost testovat větší a pevnější vzorky. Nevýhodou pak může být například nutnost toto kladivo zastavit tak, aby nezpůsobovalo škodu při dokyvu.



Obrázek 14 – Rázové kladivo s řízenou explozí

## 4 CHARPYHO KLADIVO A TESTOVÁNÍ PLOCHÝCH VZORKŮ

Znalosti používaného materiálu, jeho houževnatosti a křehkosti, jsou základními předpoklady pro správný konstrukční návrh. Pro zjištění těchto vlastností je v praxi jednou z nejpoužívanějších metod test vrubové houževnatosti na Charpyho kyvadlovém kladivu. V praxi se sleduje energie spotřebovaná k destrukci zkoušeného vzorku, tj. vykonaná práce.

Je mnoho využití testovací metody Charpyho kladiva. Komerční firmy využívají metodu při kontrole kvality v běžné výrobě. Testování je prováděno ve výstupních kontrolách výrobců hutních materiálů, výrobců finálních komponent a samozřejmě ve vývojových zkušebnách a výzkumných laboratořích. Rozlišujeme dva způsoby vyhodnocení testů, a to instrumentovaná a neinstrumentovaná metoda.

U instrumentované zkoušky je zkušební zařízení vybaveno senzory, které s dostatečnou přesností zaznamenávají zkoumané hodnoty v závislosti na čase. Především jde o nárazovou sílu a deformaci při destrukci zkoušeného vzorku. Získaná data jsou velice detailní a naměřené v závislosti na čase přináší neocenitelné informace o jednotlivých materiálech. Celistvé materiálové křivky jsou největším přínosem instrumentované zkoušky, z nichž můžeme porovnávat závislosti například za různých teplot a také studovat chování materiálů v celém rozsahu namáhání.

U neinstrumentované zkoušky nezískáme kontinuální data, průběhový diagram. Vykonaná práce se neměří, ale vypočítává z jediné hodnoty – z energie potřebné k destrukci zkušebního vzorku.

## **5 NÁVRH A KONTROLA UPÍNACÍ KLEŠTINY**

### **5.1 Vývoj upínacího zařízení pro testování plochých vzorků**

V laboratořích Výukového a výzkumného centra Dopravní fakulty Jana Pernera bylo v rámci této práce vyvinuto upínací zařízení, které umožňuje vyhodnocení pevnosti materiálů s obdélníkovým průřezem při různých rychlostech deformace. Testovací zařízení prošlo v průběhu vývoje mnoha modifikacemi, než bylo docíleno požadované kvality záznamu a stal se tématem řady prací, např. disertační práce Ing. Petra Hanuse, Ph.D. nesoucí název: „*HODNOCENÍ VLIVU STRUKTURNÍ HETEROGENITY NA PEVNOST SVAROVÝCH SPOJŮ VYSOKOPEVNOSTNÍCH OCELÍ*“ [6].

### **5.2 Základní požadavky kladené na upínací zařízení**

#### **5.2.1 Rozměrové požadavky**

Kyvadlové rázové kladivo ZWICK RKP 450 vyráběné firmou ZWICK je zařízení pro instrumentovanou dynamickou tahovou zkoušku, jehož originální upínací kleština je navržena pro normalizované vzorky kovových materiálů kruhového profilu. Konstrukční uspořádání nové kleštiny, určené pro mechanické zkoušky plechu tloušťky 1 mm, je rozměrově kompatibilní s rázovým kladivem ZWICK.

Je technicky známo, že rozměr a tvar zkoušeného vzorku má vliv na výslednou deformační rychlost, proto je cílem při testech používat jeden tvar i rozměr zkoušených plechů. Konstrukční návrh nové kleštiny, včetně návrhu tvaru vzorku, tuto problematiku řeší a také eliminuje vytváření zkušebních vzorků z běžně vyráběných komponent karosérií, které jsou mnohdy tvarově velmi různorodé a rozměrově čím dál tím více úspornější. Principem je minimalizace vzdálenosti zkoušeného vzorku a měrného členu. Upnutí vzorku znázorňuje obrázek 16.

#### **5.2.2 Tuhost upnutí**

Tuhost upnutí zkušebního vzorku ovlivňuje přesnost měření. Klínovité upnutí zkoušeného vzorku dostatečně znemožňuje nežádoucí pohyb během testu, který by negativně ovlivnil konečný výsledek zkoušky a zároveň přesně vymezuje polohu v upínacích čelistech.

### **5.3 Velikost zkušebního vzorku**

Hlavním důvodem vývoje a výroby nové upínací kleštiny pro ploché vzorky je pokrytí širšího spektra deformačních rychlostí testovaných materiálů, drobnou úpravou stávajícího beranu kladiva umožnit testovat vzorky s větším průřezem s cílem, co nejvíce eliminovat nežádoucí vlivy způsobené rušivými signály z vícenásobných průchodů odražených elastických vln. Zamýšlená nová kleština pokryje deformační rychlosti od  $160\text{s}^{-1}$  do  $1200\text{s}^{-1}$ .

Tyto nežádoucí vlivy je možné eliminovat zvětšením zkoušeného vzorku dle již zjištěných technických zásad. K tomu existuje již vytvořená norma ISO 26203 [18]. Hlavní body této normy jsou:

- a) Aby došlo k rovnoměrné deformaci po celé zkoušené délce, je potřeba splnit rovnováhu sil na obou koncích zkoušeného tělesa. K tomu se doporučuje vyhovět následující nerovnosti.

$$\frac{L_c}{c} \leq \frac{e_s}{\dot{e}} \quad (5)$$

$L_c$  ... zkušební délka [m]

$c$  ... rychlost šíření elastické vlny  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$e_s$  ... požadovaná smluvní deformace před dosažením rovnováhy [m]

$\dot{e}$  ... zkušební rychlost  $\left[\frac{m}{s}\right]$

- b) Pro potřebné jednoosé napětí je nutnost stanovit taktéž činnou šířku vzorku. K tomu je vhodné použít toto pravidlo.

$$\frac{L_0}{b_0} \geq 2 \quad (6)$$

$$\frac{b_0}{a_0} \geq 2 \quad (7)$$

$a_0$  ... počáteční tloušťka zkoušeného materiálu [m]

$b_0$  ... počáteční šířka zkoušeného materiálu v místě zkoušené délky [m]

$L_0$  ... počáteční délka [m]

- c) S počáteční délkou přichází dva typy vzhledu vzorků. První Typ A, který má přechodový poloměr  $r$  natolik malý, aby se celková délka  $L_{celk}$  mohla považovat za počáteční délku  $L_0$ . Typ B disponuje naopak dostatečně velkým přechodovým poloměrem, že lze považovat  $L_0$  za celkovou délku  $L_{celk}$ . Tato problematika je složitější ale není předmětem této práce, tudíž postačí geometrický návrh vzorku.

- d) K dosažení zanedbatelné deformace v upínací části je zapotřebí definovat upínací průřez této části. Protože z praktického hlediska je zapotřebí mít neměnnou tloušťku plechu, musí být upínací průřez dosažený pomocí šířky. Definovat šířku lze takto.

$$\frac{b_0}{b_g} < \frac{R_t}{R_m} \quad (8)$$

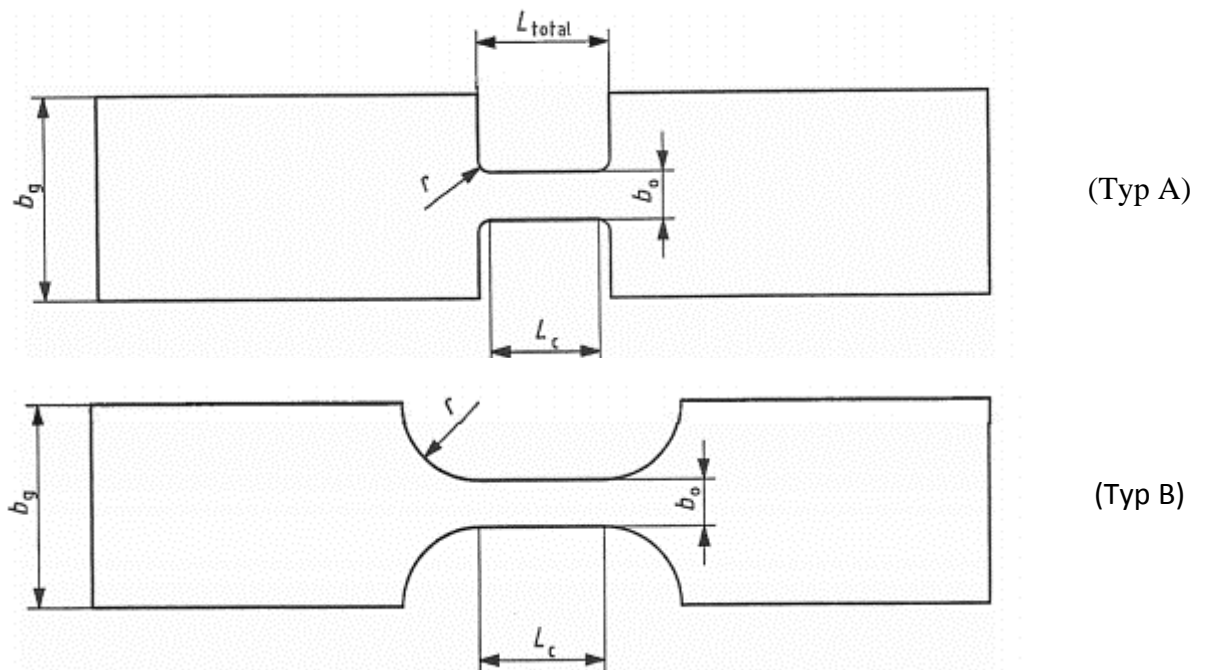
$b_g$  ... šířka upínací části [m]

$R_t$  ... smluvní mez kluzu [MPa]

$R_m$  ... mez pevnosti v tahu [MPa]

- e) Povrch tělesa nesmí obsahovat žádné nehomogenity, trhliny, stopy po tváření, obrábění nebo jakékoliv jiné povrchové vady, které by mohly způsobit koncentraci napětí.

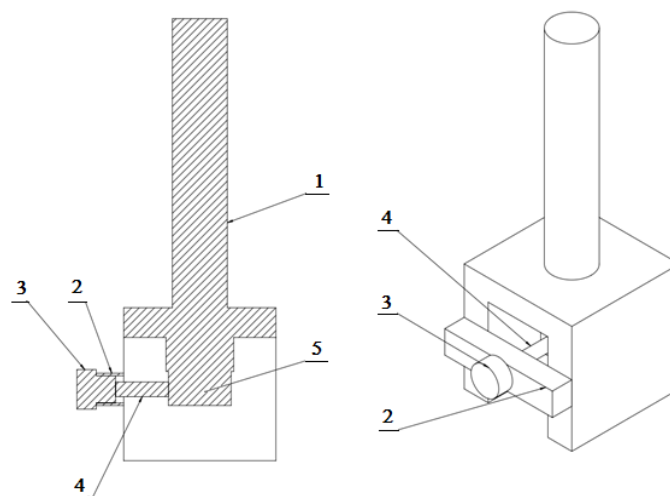
Návrh geometrie vzorku byl proveden dle pravidel  $a$ ,  $b$ , a  $d$  uváděných v normě. U bodu  $d$  využijeme z praktického hlediska typ vzorku A. Bod  $e$  je zaručen vizuální kontrolou a neopracováním označených ploch. Výrobní dokumentace vzorku je přiložena v příloze F.



Obrázek 15 – Typy zkušebních vzorků [18]

#### 5.4 Konstrukce upínacího zařízení

Jak už bylo řečeno, nová kleština je určena pro ploché vzorky většího průřezu. S malou úpravou bude využívat stávající upínací konstrukční sestavu beranu kladiva a zároveň měřící řetězec kladiva pro instrumentované tahové zkoušky. Popis sestavy je znázorněn na obr. 16.



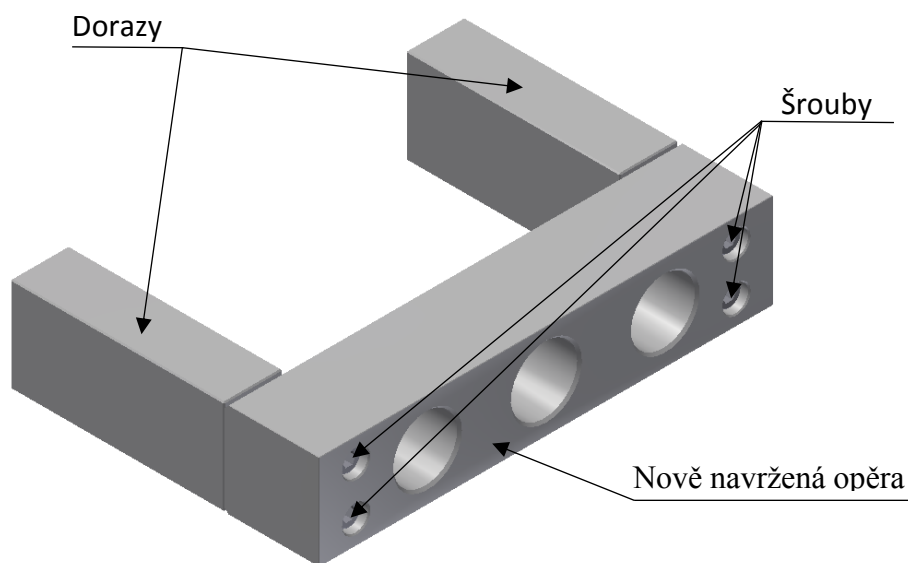
Obrázek 16 – Podsestava kyvadlového kladiva pro dynamické zkoušky [6]

Beran kladiva (pozice 1) je spojen s měřícím členem (pozice 5). Přímo do měřícího členu je upevněn jeden konec vzorku (pozice 4). Druhý konec vzorku je upevněn do matice (pozice 3), která přes opěru (pozice 2) předepíná vzorek (pozice 4). Tento způsob testování umožňuje získat instrumentovaný záznam, tj. záznam síly v závislosti na čase a zároveň deformace v čase.

S větším vzorkem přichází i nutnost zvětšení zástavbového prostoru. To úzce souvisí s celkovou velikostí kleštiny, která musí být konstrukčně vyhovující pro daný systém kladiva, tzn. kleštinu se vzorkem upnout pomocí matice (3) přes opěru (2) do měřícího členu (5).

Pro splnění výše popsaného je nutno upravit stávající konstrukci kladiva, to zahrnuje modifikaci nebo vytvoření dorazu a opěry.

Z tvaru a rozměru nové kleštiny plynou nutné úpravy konstrukčních součástí Charpyho kladiva. Při instalaci „pilotní“ kleštiny byla zjištěna mezera mezi opěrou a beranem, která by měla za následek znemožnění předepnutí vzorku k měřicímu systému. Tento drobný technický problém byl vyřešen vytvořením dorazů, které jsou pomocí šroubového spoje připevněny na opěru. 3D pohled na popsanou sestavu zobrazuje Obr. 17.



Obrázek 17 – 3D pohled na sestavu přípravku

#### 5.4.1 Kleština

Rozměrový návrh kleštiny byl získán měřením pomocí rozvinovacího metru a posuvného měřidla. Základní měřené rozměry byly šířka, délka, výška kleštiny a délka upínacího šroubu. Ke kontrole byl vytisknut tento „pilotní“ návrh na školní 3D tiskárně.

V prostorách Výukového a výzkumného centra v dopravě univerzity Pardubice se nachází 3D tiskárna „Prusa i3 MK3S 3D printer“, na které byl vytisknut zmiňovaný model sloužící jako validace měřených rozměrů přímo na stroji. Jako materiál byl použit jednobarevný plast.



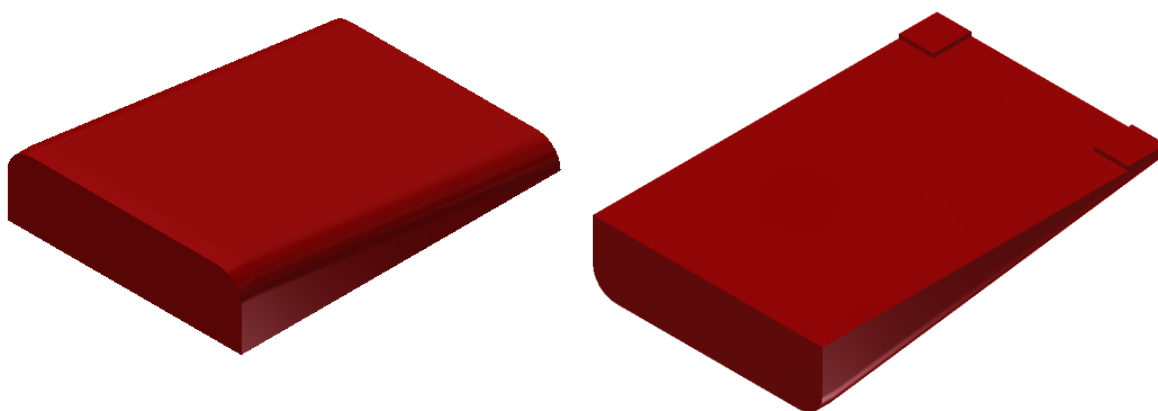
Obrázek 18 – 3D kleština z plastu

Po reálné kontrole se ukázalo, že rozměry kleštiny nejsou kompatibilní s rozměrovými možnostmi stroje. Potřebné rozměry ke změně geometrie byly odečteny z reálného měření na stroji pomocí posuvného měřítka. Pro finální verzi kleštiny byl ponechán tvar a myšlenka upnutí vzorku, pozměnily se pouze hlavní rozměry.

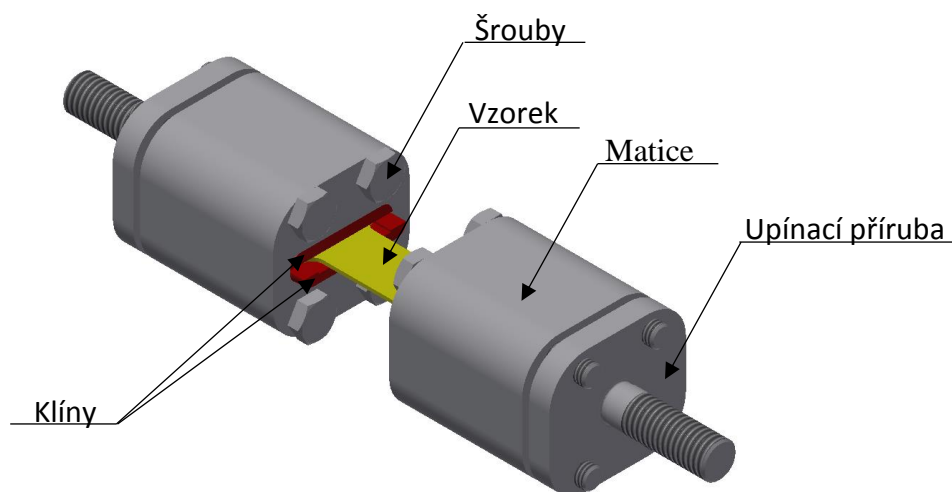
#### 5.4.2 Návrh upínacího mechanismu

Z předchozího testování byla známa maximální velikost kleštiny, která nyní bude sloužit jako obálka pro komponenty upínající vzorek. Celá sestava, tj. vzorek a kleština bude jako celek vložen do upínacího systému Charpyho kladiva, tzn. všechny díly tvoří spolu se vzorkem společnou hmotu, která by z důvodů popsaných v kapitole „2.2 Dynamické zkoušky“, měla být co nejnižší. I z těchto příčin byl za výrobní materiál kleštiny vybrán titan nejvyšší pevnostní třídy, který plní požadavky na nízkou hmotnost a dostačující pevnost.

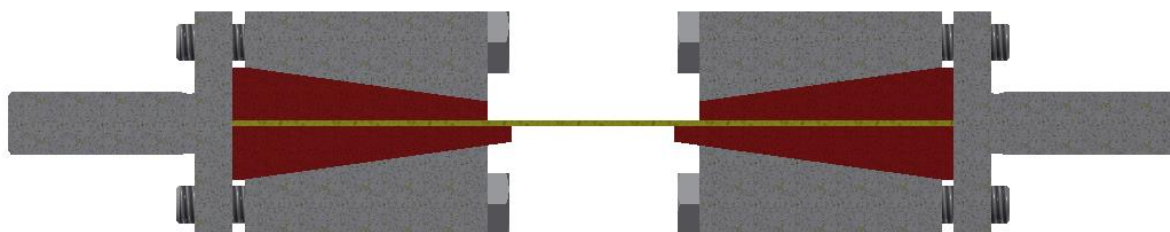
Upnutí je realizováno pomocí páru samostatných klínů, mezi které se umístí vzorek. Jeden klín je vybaven tvarovou drážkou pro přesné zapadnutí vzorku, druhý slouží pouze jako opěrný člen. Poté se konfigurace klínů a vzorku vloží do klínové drážky v tělese kleštiny a přitáhne pomocí šroubů.



Obrázek 19 – 3D pohled na oba typy klínů



Obrázek 20 – 3D pohled na sestavu



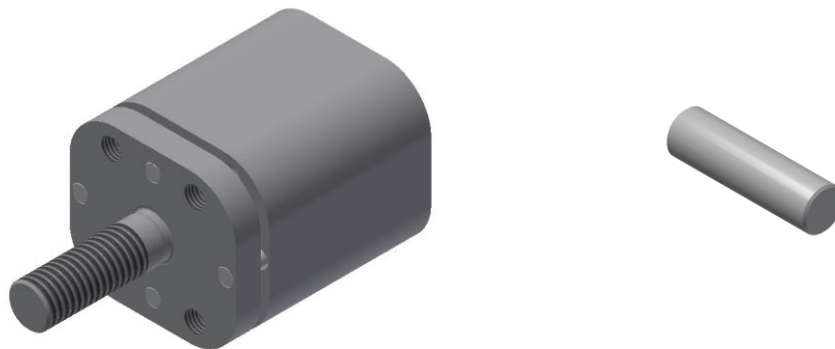
Obrázek 21 – 3D pohled na řez sestavy

## 5.5 Bezpečnostní a montážní součásti

V kapitole „2.2 Dynamické zkoušky“ bylo zmíněno, že nedokonalé upínací zařízení může v lepším případě při testování znehodnotit záznamy zkoušky, v horším případě může dojít k poškození stroje, avšak ani jedno není žádoucí a je potřeba se co nejvíce těchto situací vyvarovat. Z tohoto důvodu jsou k upínací sestavě přidány pomocné jistící komponenty, které omezí do určité míry znehodnocení záznamu.



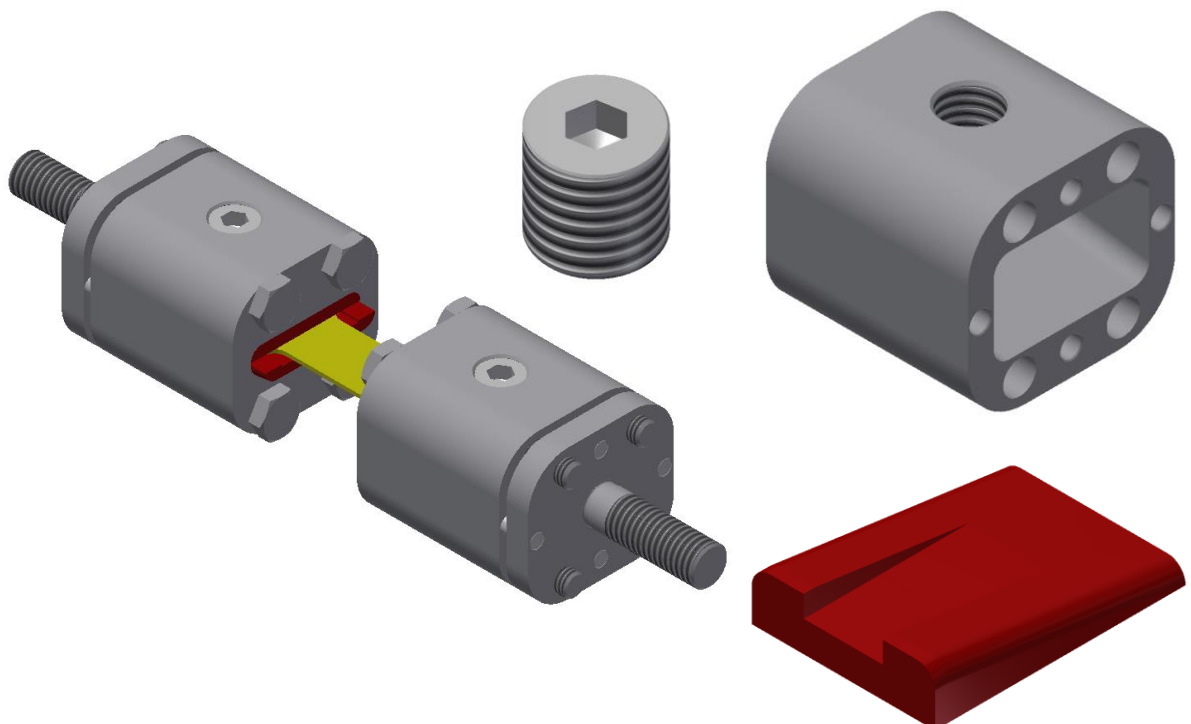
Pro montáž upínací příruby a matice byly navrženy vodící kolíky, které jednoznačně definují pohyb těles při jejich montáži. Tímto řešením se předejde vyosením osy vzorku a upínacího šroubu příruby.



Obrázek 22 – 3D pohled na uchycení, matici a vodící kolíky

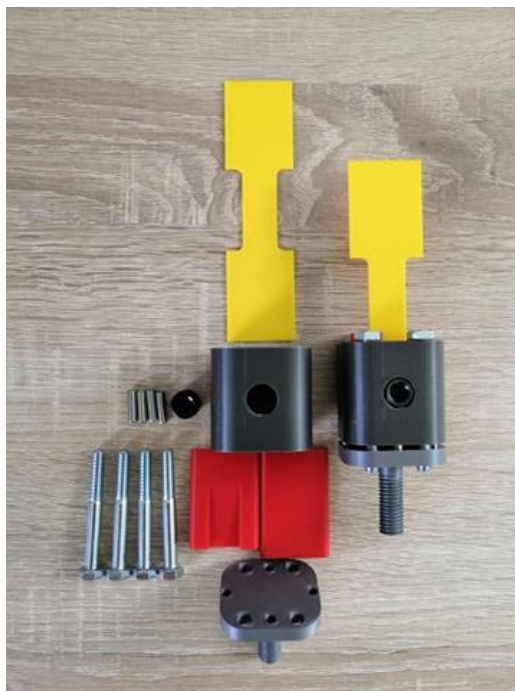
Druhou bezpečnostní součástí je stavěcí šroub v matici kleštiny. Ten má za úlohu podpořit svěrné klíny a tím zvýšit třecí sílu, která brání pohybu vzorku.

Z uvedených výpočtů v následující kapitole „5.6 Pevnostní kontrola“ šrouby vyvodí dostatečnou třecí sílu, tudíž se jedná „pouze“ o bezpečnostní součást, která má však své opodstatnění a vyskytuje se ve všech používaných (odzkoušených) kleštinách na naší univerzitě.



Obrázek 23 – 3D pohled na finální sestavu, vodící kolíky, upravený klín a stavěcí šroub

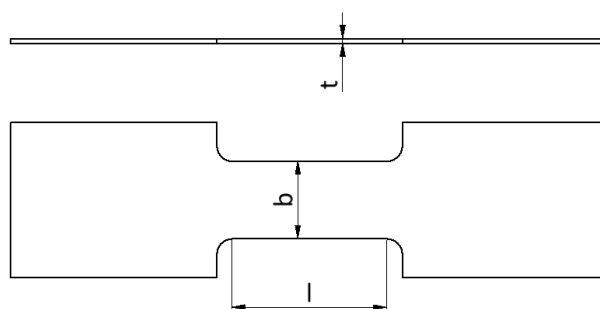
V této fázi rozpracování kleštiny je nutností před zajištěním výroby pro jistotu vyzkoušet skutečnou kompatibilitu kleštiny a stroje. K tomu bylo znovu využito 3D tisku. Dále je potřeba také provést pevnostní výpočet (kontrolu).



Obrázek 24 – Součásti finální sestavy, složené (vpravo), rozložené (vlevo)

## 5.6 Pevnostní kontrola

Při pevnostní kontrole bylo postupováno standardním způsobem od limitní situace. Za tento případ je považováno zastavení kladiva v dolní úvrati, tzn., že by kladivo nemělo dostatečně velkou sílu na přetržení vzorku. Ke stanovení zmíněné síly byl využit Hookův zákon, bude uvažována lineární část deformace, tudíž se jedná o konzervativní výpočet.



Obrázek 25 – Potřebné rozměry testovacího vzorku

Hookův zákon zní:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (9)$$

A z toho vyplývá výpočet tuhosti.

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{E \cdot S}$$

$$\frac{F}{\Delta l} = \frac{E \cdot S}{l} \quad (10)$$

Kde

$E$  ... modul pružnosti v tahu [Pa]

$\sigma$  ... napětí [Pa]

$\varepsilon$  ... poměrné délkové prodloužení [-]

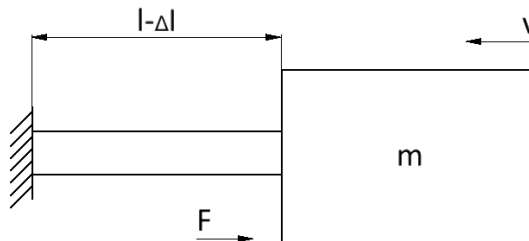
$\Delta l$  ... změna délky [m]

$F$  ... síla [N]

$S$  ... plocha průřezu vzorku [m<sup>2</sup>]

$\frac{F}{\Delta l}$  ... tuhost [kg · s<sup>-2</sup>]

Nyní už k výpočtu zmíněné maximální síly. Jedná se o pružný děj, tudíž při nárazu vypadá řešená problematika takto (stlačení = prodloužení).



Obrázek 26 – Schéma pružného děje

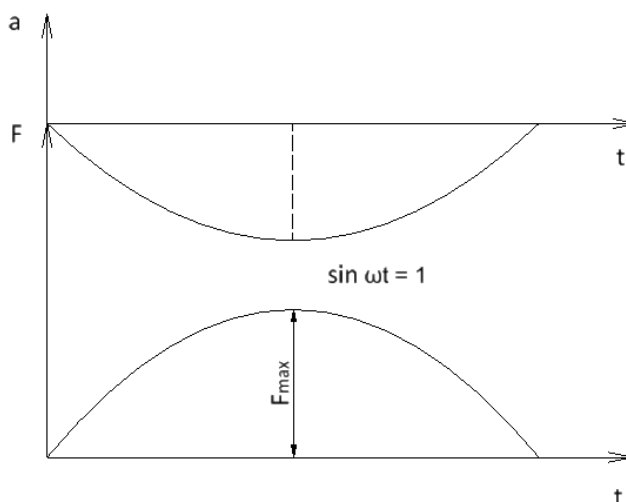
$$v = \frac{d\Delta l}{dt}$$

$$a = \Delta \ddot{l}$$

$$m \cdot a = -\frac{E \cdot S \cdot \Delta l}{l}$$

$$\frac{d^2(\Delta l)}{dt^2} = -\frac{E \cdot S \cdot \Delta l}{m \cdot l} \quad (11)$$

Dále bude uvažováno předpokládané řešení, pomocí kterého zjistíme maxima, které kladivo dosahuje.



Obrázek 27 – Schéma předpokládaného řešení

Z toho vyplývá:

$$\Delta l = B \cdot \sin \omega t$$

$$\frac{d\Delta l}{dt} = B \cdot \omega \cdot \cos \omega t$$

$$\frac{d^2\Delta l}{dt^2} = -B \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \tag{12}$$

Kde

$v$  ... rychlost kladiva [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$t$  ... čas [s]

$a$  ... zrychlení kladiva [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$m$  ... redukovaná hmotnost kladiva [kg]

$B$  ... amplituda [m]

$\omega$  ... úhlová frekvence [ $s^{-1}$ ]

Pro maximální zrychlení  $a_{max}$  platí, že v maximu (dolní úvrat' kladiva neboli  $\frac{\pi}{2}$ ) se rovná 1. Tedy:

$$a_{max} = 1$$

Po dosazení maxima a vypočtených konstant vyplyne výraz:

$$F_{max} = m \cdot a = -m \cdot B \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t = m \cdot v \cdot \omega \tag{13}$$

Ještě lze vzorec upravit tak, aby byl vyjádřený pomocí vstupních parametrů kladiva, kterými je v této situaci kinetická energie ( $E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ ) a geometrie vzorku.

$$F_{max} = \frac{2 \cdot E_K}{v^2} \cdot v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot S}{2 \cdot E_K \cdot l}} \cdot v$$

$$F_{max} = 2 \cdot E_K \cdot \sqrt{\frac{E \cdot S}{2 \cdot E_K \cdot l}} \quad (14)$$

Vstupními hodnotami kladiva a vzorku jsou:

$$E = 210 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$E_K = 450 \text{ J}$$

$$b = 0,015 \text{ m}$$

$$t = 0,001 \text{ m}$$

$$l = 0,03 \text{ m}$$

Poslední chybící neznámou k vypočtení síly je plocha průřezu vzorku, která se spočítá následovně.

$$S = b \cdot t = 0,015 \cdot 0,001 = 0,000015 \text{ m}^2 = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Pak finálním dosazením do vzorce (11) je zjištěna maximální síla.

$$F_{max} = 2 \cdot 450 \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 450 \cdot 0,03}} = 307408,523 \text{ N}$$

S vypočtenou maximální silou lze dále zkontrolovat kritické části kleštiny. Začátkem tedy bude závit M10, který se vyskytuje na části uchycení. Tato část bude namáhaná na tah. S ohledem na rychlý jev, který bude počítán z hlediska jevů pomalých, bude zvolen bezpečnostní koeficient  $k = 3$ .

$$\sigma_t = \frac{F_{tah}}{S} \leq \sigma_{Dt} \quad (15)$$

$F_{tah}$  ... tahová síla [N]

$S$  ... výpočtový průřez závitu [ $\text{mm}^2$ ]

$\sigma_t$  ... napětí v tahu [MPa]

$\sigma_{Dt}$  ... dovolené napětí v tahu [MPa]

$$\sigma_{Dt} = \frac{R_e}{K} \quad (16)$$

$R_e$  ... mez kluzu použitého materiálu [MPa]

$k$  ... bezpečnostní koeficient [-]

Potřebné hodnoty k výpočtu:

$$R_e = 825 \text{ MPa}$$

$$k = 3 [-]$$

$$S = 58 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{825}{3} = 275 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Dt} \geq \frac{F_{max}}{S} \geq \frac{307408,523}{58} = 5300 \text{ MPa} \rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

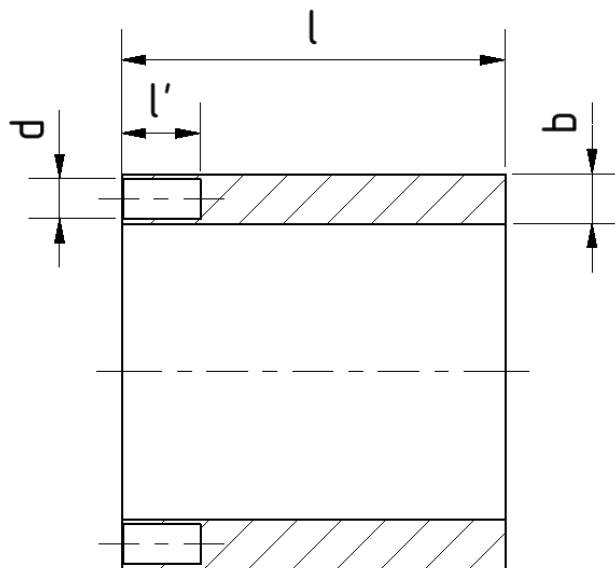
Dosažením se dokáže, že závit M10 nevydrží zastavení kladiva. Jediné možné řešení je vypočítání maximální možné síly, kterou tento závit vydrží a omezit tak kleštinu na možnost testování jenom na určité typy materiálu s určitou maximální mezí pevnosti.

$$F_{max} \leq \sigma_{Dt} \cdot S \quad (17)$$

$F_{max}$  ... maximální dovolená síla vůči dílčím součástem [N]

$$F_{max} \leq 275 \cdot 58 = 15950 \text{ N}$$

Dalším kritickým úsekem bude kontrola matice na tah. K tomu je jako první zapotřebí plocha průřezu matice.



Obrázek 28 – Průřez matice

Z uvedené náčrtu je zřejmé, že polovina plochy se spočítá:

$$\frac{1}{2} \cdot S = l \cdot b - l' \cdot d \quad (18)$$

Kde

$l$  ... délka matice kleštiny [mm]

$b$  ... šířka stěny matice [mm]

$l'$  ... hloubka díry pro kolíky [mm]

$d$  ... průměr díry pro kolíky [mm]

Odměřené hodnoty matice:

$$l = 39 \text{ mm}$$

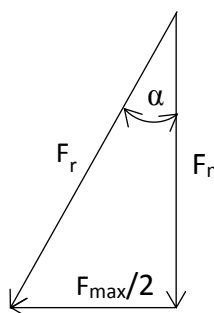
$$b = 5 \text{ mm}$$

$$l' = 8 \text{ mm}$$

$$d = 4 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{2} \cdot S = 39 \cdot 5 - 8 \cdot 4 = 163 \text{ mm}^2$$

Dále je potřeba síla, která natahuje matici. Tu lze získat ze silového trojúhelníku, který se vytváří na šikmé ploše kleštiny a vypadá takto:



Obrázek 29 – Silový obrazec A

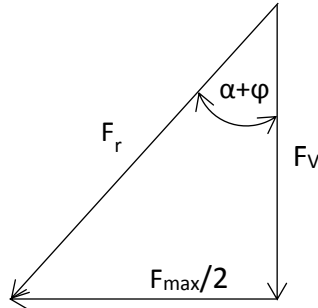
$$\tan \alpha = \frac{\frac{F_{max}'}{2}}{F_n} \rightarrow F_n = F_{tah} = \frac{F_{max}'}{2 \cdot \tan \alpha} \quad (19)$$

$\alpha$  ... úhel vybrání (klínu) [°]

A podle již známého vzorce na napětí v tahu bude spočítáno napětí vyvíjené na matici. Dovolené napětí zůstává stejné – to je zapříčiněno stejným materiálem.

$$\sigma_t = \frac{F}{S} = \frac{F_{max}'}{2 \cdot \tan \alpha \cdot S} = \frac{15950}{2 \cdot \tan(8) \cdot 2 \cdot 163} = 174 \text{ MPa} \leq \sigma_{Dt} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Nyní je zapotřebí zkontrolovat, jestli je vyvinuta dostatečná třecí síla. Dle tabulek je pro šrouby M6, tedy šrouby, které přitahují uchycení k matici (jsou čtyři), typický doporučený utahovací moment  $M_{od} = 9,7 \text{ Nm}$  a osová síla  $F_{od} = 8302 \text{ N}$ . Pak tedy již vzniklý silový trojúhelník bude rozšířen o třecí úhel pro výpočet třecí síly. Součinitel tření mezi klínem a vzorkem uvažují  $f=0,1$ .



Obrázek 30 – Silový obrazec B

Analogicky pak:

$$F_v = \frac{\frac{F_{max}t}{2}}{\tan(\alpha + \varphi)} = \frac{F_{max}t}{2 \cdot \tan(\alpha + \varphi)} \quad (20)$$

$$\rightarrow F_o = \frac{F_{max}t}{8 \cdot \tan(\alpha + \varphi)} = \frac{15950}{8 \cdot \tan(8 + \arctan(0,1))} = 8172 \text{ N} \leq F_{od} \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (21)$$

$F_v$  ... výsledná síla [N]

$F_o$  ... osová síla [N]

$F_r$  ... reakční síla [N]

$\varphi$  ... třecí úhel [°]

Nakonec zbývá spočítat maximální pevnost vzorku, který může být testován.

$$\sigma = \frac{F}{S} \rightarrow R_{m \text{ mat}} = \frac{F_{max}t}{b \cdot t} = \frac{15950}{1 \cdot 15} = 1063,33 \text{ MPa}$$

$R_{m \text{ mat}}$  ... mez pevnosti materiálu [MPa]

Z analytického řešení pevnosti vytvořené kleštiny vyplývá, že zkoušet se může maximálně materiál s mezí pevnosti  $R_m = 1063,33 \text{ MPa}$ .



## 6 VLASTNÍ ZKOUŠKY

Vlastní zkoušky byly provedeny dle druhé části normy ISO 26203, tedy přesněji dle ISO 16203-2:2011. [19]

Zkoušený vzorek je vyroben z materiálu zvaného Domex, jehož mechanické vlastnosti, zjištěné ze statických zkoušek, jsou uvedeny v tabulce 2. Geometrie vzorku je daná podle předem určených pravidel normy. Tato norma také doporučuje uvést ve zkušebním protokolu základní informace o zkouškách, ty jsou uvedeny níže.

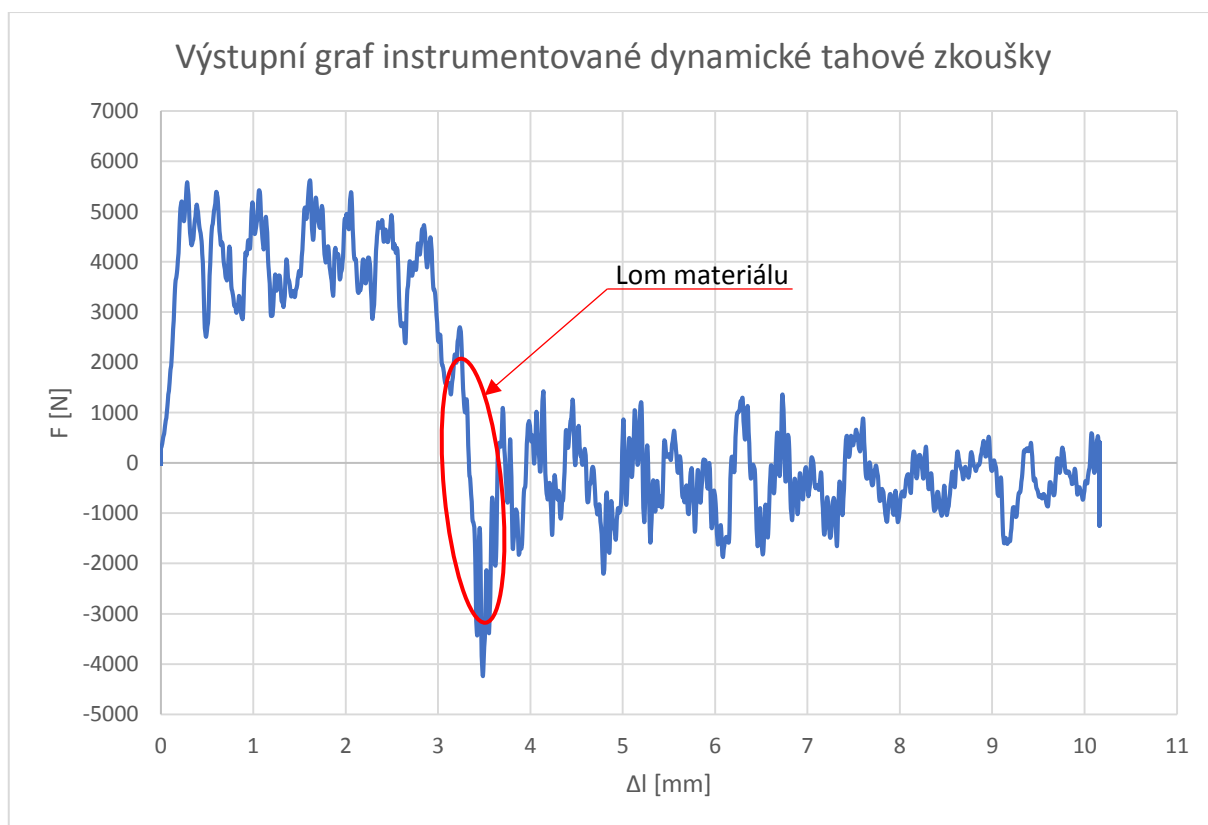
Zkušebním zařízením k provedení zkoušky bylo instrumentované Charpyho kladivo firmy Zwick/Roell. Bližší specifikace stroje: „Zwick/Roell RKP 450 hammer for impact test“.

Testy byly vykonávány za podmínek pokojových teplot v prostorách Výukového a výzkumného centra v dopravě. Rychlost kladiva v dolní úvratí dosahuje 5 m/s, pak předpokládaná rychlost deformace s navrženým vzorkem je  $\sim 170 \text{ s}^{-1}$ .

Vzorek nebyl povrchově nebo jinak upravován.

Pro vlastní zkoušky bylo vyrobeno pět zkušebních vzorků, navržených v podkapitole „5.3 Velikost zkušebního vzorku“.

Obrázek 31 je příkladem testování vzorku číslo 1 v tabulce 2.



Obrázek 31 – Příklad výsledného grafu

		Mechanické vlastnosti				
		Statické		Dynamické		
Vzorek	Rm [MPa]	$\Delta l$ [mm]	Rm [MPa]	$\Delta l$ [mm]	Ec [MPa]	
			1	750-950		~10
2	1112	7,4				
3	1150	8,3				
4	1193	7,1				
5	1129	7,9				

Tabulka 2 – Výstupní hodnoty z grafů s porovnáním se statickými vlastnostmi [20]

Mez pevnosti  $R_m$  je vypočtena podle vzorce (21),  $F$  je odečtena jako efektivní hodnota amplitud (obrázek 29).

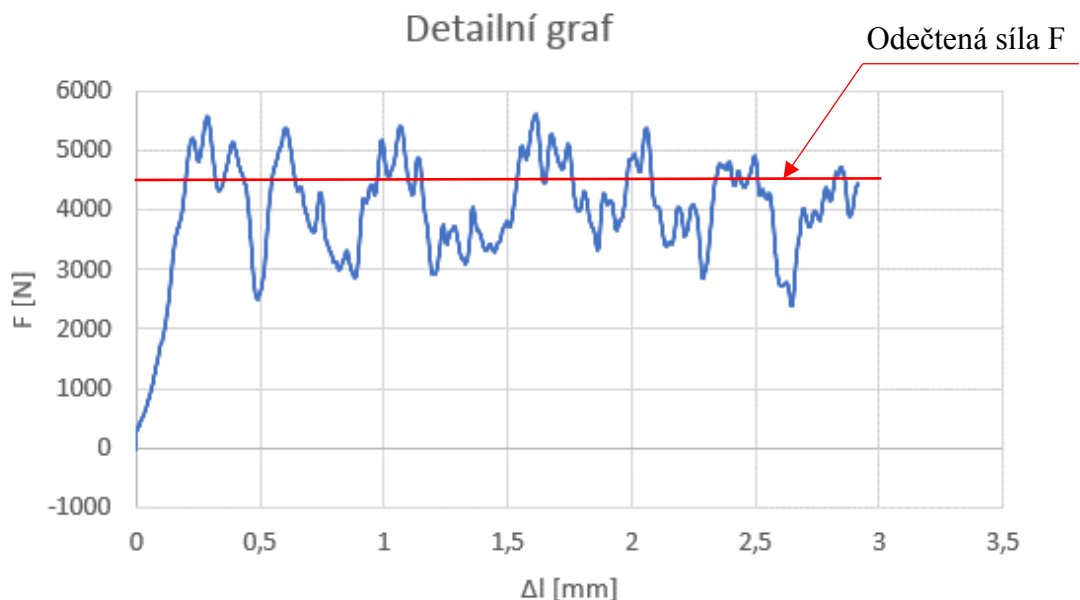
Při porovnání statických a dynamických hodnot z tabulky lze říci, že i tento materiál se dynamicky zpevňuje, a to až o cca 58% původní statické hodnoty. Také je zde vidět odlišnost chování v tažnosti. Hodnota pro statické prodloužení je vyšší než pro dynamické. V tabulce je uvedena i spotřebovaná energie do lomu materiálu  $E_c$ . K přerušení dojde v oblasti vyznačené v grafu 3.

$$R_m = \frac{F}{S} \quad (22)$$

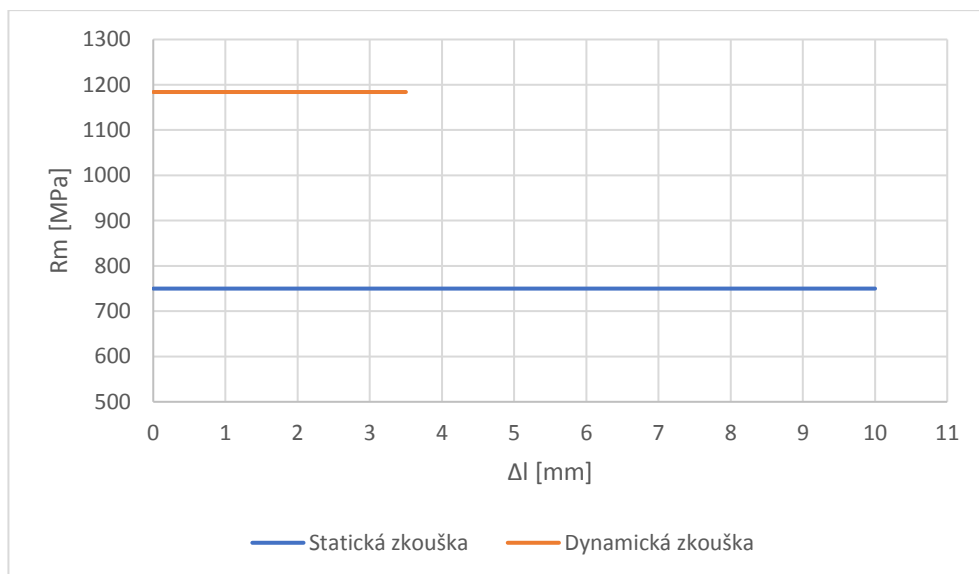
$F$  ... zatěžující síla [N]

$S$  ... plocha průřetu [ $mm^2$ ]

$R_m$  ... mez pevnosti [MPa]



Obrázek 32 – Detail grafu 3



Obrázek 33 – Porovnání intervalů statických a dynamických zkoušek

Grafické vyobrazení odlišnosti statické a dynamické zkoušky znázorňuje graf 4. Interval statického prodloužení je výrazně delší než při rychlém zatěžování. Rozdílná délka poukazuje na změnu tažnosti, zatímco posuv intervalů po ose y změnu meze pevnosti (dynamické zpevnění).

## ZÁVĚR

V teoretické části je krátce popsáno použití nejčastějších materiálů při výrobě karoserií aut. U nejpoužívanějších materiálů jsou uvedeny mechanické vlastnosti jako mez kluzu, mez pevnosti atd. Dalším tématem teoretické části jsou statické a dynamické zkoušky potřebné pro zjišťování mechanických vlastností materiálů. Důraz je však kladen na detailnější popis dynamických zkoušek, zejména tahových dynamických zkoušek. Jsou zde analyzovány hlavní činitele ovlivňující průběh nebo výsledky zkoušky. Jedním z nejdůležitějších aspektů je deformační rychlost, ale také i upnutí vzorku. Dostatečná deformační rychlost a tuhé upnutí jsou elementárními požadavky pro autentický výstup, který je pak využíván k analýze chování materiálů za vysokých rychlostí.

Praktická část řeší návrh upínací kleštiny pro tahové dynamické zkoušky na Charpyho rázovém kladivě. Konstrukční návrh také musel splnit požadavek, aby kleština dokázala upnout rozměrnější vzorek. Důvodem bylo širší pokrytí spektra deformačních rychlostí a eliminace nežádoucích rušivých signálů z průchodů elastických vln. Limitem rozměrů kleštiny byly technické parametry zkušebního stroje. Empirickým měřením byl zjištěn první rozměrový návrh kleštiny, který po 3D vytisknutí a vyzkoušení kompatibility však nevyhovoval. Úpravami hlavních rozměrů byl navržen finální tvar kleštiny, který plně korespondoval s možnostmi zkušebního stroje. Po zjištění vnějších rozměrů následoval návrh mechanismu upínání, který je realizován pomocí dvou klínů a klínové drážky v matici kleštiny a následném přitažení pomocí šroubů a upínací příruby.

Jelikož při reálných testech nejsme schopni idealizovat každý člen měřicího mechanismu a samotné provedení, byly do konstrukce kleštiny zaneseny i komponenty vylučující nedostatky vzniklé lidským činitelem nebo nedokonalostí měřicího systému. Bezpečnostními a montážními členy jsou stavěcí šroub a vodící kolíky. Funkce stavěcího šroubu je zvětšit třecí sílu, která brání pohybu vzorku, funkce vodícího kolíku je zvýšit tuhost kleštiny společně se zlepšením montáže, což zapříčiní konstantnější upnutí upínací příruby k matici.

Posledním krokem návrhu je pevnostní kontrola. Výpočet započal od nejhorší možné situace, která znamená zastavení kladiva v dolní úvratí. Ke zjištění tahové síly působící na kleštinu byla využita lineární část Hookova zákona. Vypočtená síla pak sloužila ke kontrole kritických částí kleštiny. Bylo zjištěno, že pro upínací kleštinu musí být stanoveny maximální hodnoty zkoušeného materiálu. Závěr pevnostních výpočtů stanovil mez pevnosti zkoušeného materiálu na 1063,33 MPa.

Finální návrh umožnil reálné ověření kompatibility nově navržené kleštiny se strojem. Verifikace finálního návrhu proběhla úspěšně. Dynamické zkoušky probíhaly testováním materiálu Domex. Při požadované deformační rychlosti byly naměřené hodnoty meze pevnosti okolo 1150 MPa, které byly očekávány. Zkušební test lze vyhodnotit jako úspěšný se závěrem, že naměřené hodnoty nejsou zkrácené.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠKODA KAMIQ – Infografika [online]. Mladá Boleslav: © ŠKODA AUTO, 2019 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: [https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-kamiq-tiskova-mapa/infografiky/attachment/kamiq\\_cz\\_materialova\\_struktura/](https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-kamiq-tiskova-mapa/infografiky/attachment/kamiq_cz_materialova_struktura/)
- [2] ABUŠINOV, Alexandr. 2010. Konstrukce. Ostrava: Konstrukce media. ISSN 1803-8433.
- [3] *Testování dynamické pevnosti dvoufázových vysokopevných ocelí* [online]. Pardubice, 2015 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/61490/VymyslickyT\\_Testovani%20dynamicke\\_PH\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/61490/VymyslickyT_Testovani%20dynamicke_PH_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [4] Krivanec, C. N.; An experimental method for testing materials at the intermediate strain rate with closed loop control (Thesis), Mississippi State University, USA, 2018.
- [5] *ANALÝZA A ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT Z NÁRAZOVÝCH ZKOUŠEK* [online]. Brno, 2016 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=127107](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=127107). Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [6] *HODNOCENÍ VLIVU STRUKTURNÍ HETEROGENITY NA PEVNOST SVAROVÝCH SPOJŮ VYSOKOPEVNOSTNÍCH OCELÍ* [online]. Pardubice, 2016 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/63957/HanusP\\_HodnoceniVlivu\\_ES\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/63957/HanusP_HodnoceniVlivu_ES_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Disertační práce. Univerzita Pardubice.
- [7] *Static Materials Testing Machines* [online]. Ulm, Německo: Zwick/Roell, 2018 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.zwickroell.com/en/products>
- [8] *Zkouška tahem* [online]. Olomouc: ELUC, 2014 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1566>
- [9] *Dynamic and Fatigue Testing Systems* [online]. Ulm, Německo: Zwick/Roell, 2019 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: [https://www.zwickroell.com/-/media/files/sharepoint/vertriebsdoku\\_br/99\\_765\\_dynamic\\_and\\_fatigue\\_testing\\_systems\\_en.pdf](https://www.zwickroell.com/-/media/files/sharepoint/vertriebsdoku_br/99_765_dynamic_and_fatigue_testing_systems_en.pdf)
- [10] *Návrh přípravku pro padostroj* [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/12499/1/2014\\_BP\\_Martin\\_Masek\\_S11B0177P.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/12499/1/2014_BP_Martin_Masek_S11B0177P.pdf). Bakalářská práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI.
- [11] *DYNAMICKÉ A ÚNAVOVÉ ZKUŠEBNÍ STROJE* [online]. Opava: LABORTECH, 2017 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <http://www.labortech.cz/produkty/zkusebni-systemy/dynamicke-a-unavove-stroje/>
- [12] *DYNAMICKÉ A ÚNAVOVÉ ZKUŠEBNÍ STROJE* [online]. Praha: JD Dvořák, 2018 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.testsysteme.cz/servo hydraulicke>
- [13] *HB Series From 50 to 2500 kN* [online]. Ulm, Německo: Zwick/Roell, 2019 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.zwickroell.com/en/servo hydraulic-testing-machines/hb-dynamic-testing-machine>

- [14] *DYNAMICKÉ MECHANICKÉ VLASTNOSTI OCELÍ ZÍSKANÉ METODOU HOPKINSONOVA TESTU* [online]. Hradec nad Moravicí: Vysoké učení technické v Brně, 2005 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: [http://metal2014.tanger.cz/files/proceedings/metal\\_05/papers/194.pdf](http://metal2014.tanger.cz/files/proceedings/metal_05/papers/194.pdf)
- [15] *Split Hopkinson Pressure Bar / Kolský bar* [online]. Michigan: REL, 2019 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.relinc.com/gtranslate/gtranslate.php?glang=cs&gurl=split-hopkinson-bar-kolsky-bars/split-hopkinson-bar/>
- [16] *RÁZOVÁ KLADIVA A PADOSTROJE* [online]. Opava: LABORTECH, 2017 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <http://www.labortech.cz/produkty/zkusebni-systemy/razova-kladiva/>
- [17] *Zkouška rázem v ohybu – zkouška vrubové houževnatosti* [online]. Ostrava: SPŠ Zengrova, 2012 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: [https://www.spszengrova.cz/texty/texty/KOM/KOM\\_3\\_9\\_SPU-zkouska\\_vrubove\\_houzenvatosti.pdf](https://www.spszengrova.cz/texty/texty/KOM/KOM_3_9_SPU-zkouska_vrubove_houzenvatosti.pdf)
- [18] ČSN EN ISO 26203-1. Kovové materiály – Metoda zkoušení tahem při vysokých rychlostech deformace – Část 1: Systémy typu pružné tyče. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [19] ČSN EN ISO 26203-2. Kovové materiály – Metoda zkoušení tahem při vysokých rychlostech deformace – Část 2: Servohydraulické a další zkušební systémy. Část 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [20] Domex Steel Plates Sheets, High tensile Steel Plates Sheets, Domex 110XF Steel Plates Sheets, Strenx Steel Plates Sheets and Domex Structural Steel Plates Sheets [online]. Mumbai: LEOMET ALLOYS, 2016 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <http://www.abrexplates.com/domex-high-tensile-steel-plates.html>

## **PŘÍLOHY**

Příloha A – Výkresová dokumentace: Sestava

Příloha B – Výkresová dokumentace: Matice

Příloha C – Výkresová dokumentace: Klín bez drážky

Příloha D – Výkresová dokumentace: Klín s drážkou

Příloha E – Výkresová dokumentace: Uchycení

Příloha F – Výkresová dokumentace: Vzorek

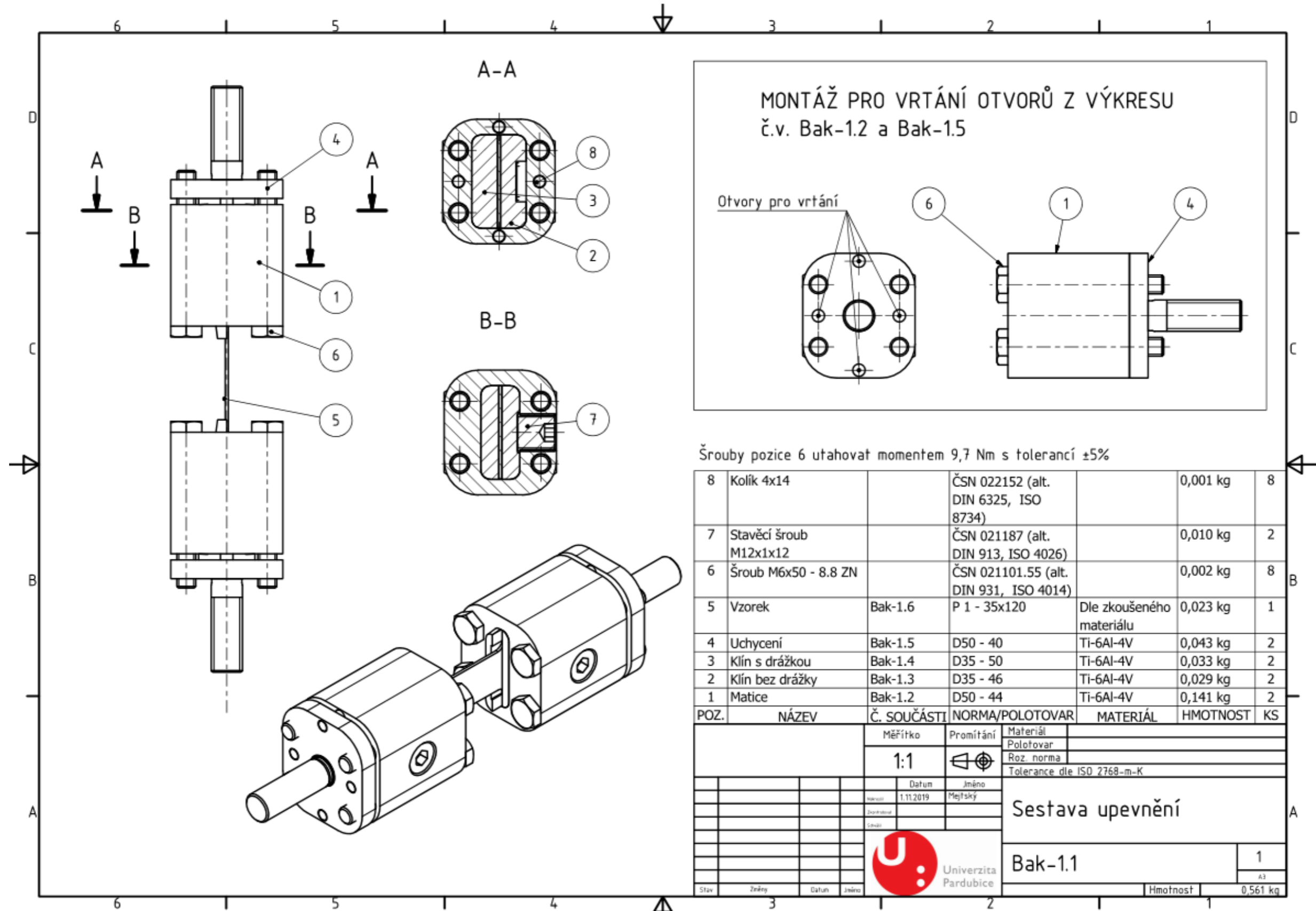
Příloha G – Výkresová dokumentace: Sestava přípravek s dorazy

Příloha H – Výkresová dokumentace: Doraz

Příloha CH – Výkresová dokumentace: Přípravek

# PŘÍLOHA A – Výkresová dokumentace: Sestava upevnění

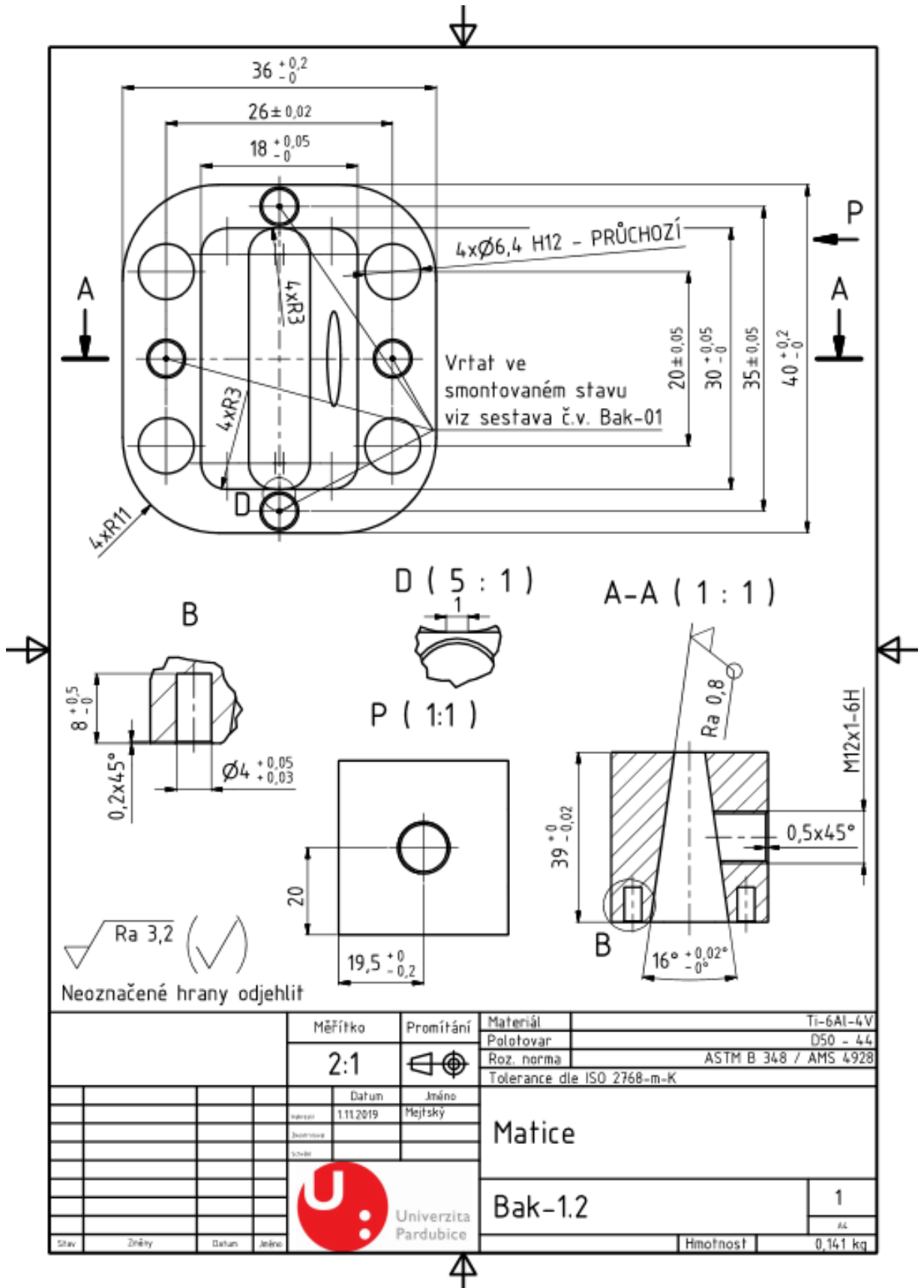
Sestavný výkres „Sestava upevnění“.





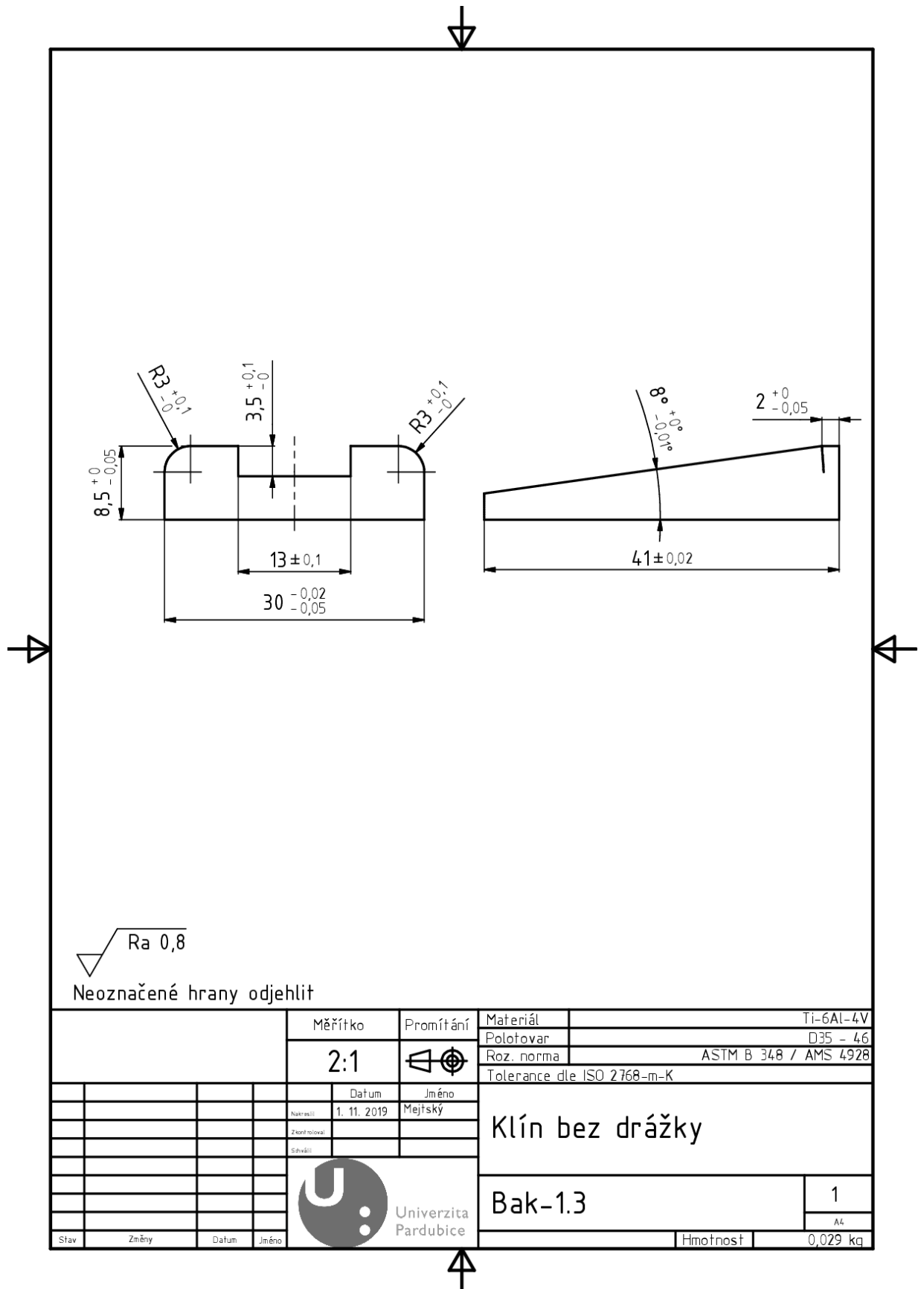
# PŘÍLOHA B – Výkresová dokumentace: Matice

Výkresová dokumentace součásti „Matice“.



# PŘÍLOHA C – Výkresová dokumentace: Klín bez drážky

Výrobní výkres „Klín bez drážky“.



$\sqrt{\text{Ra } 0,8}$

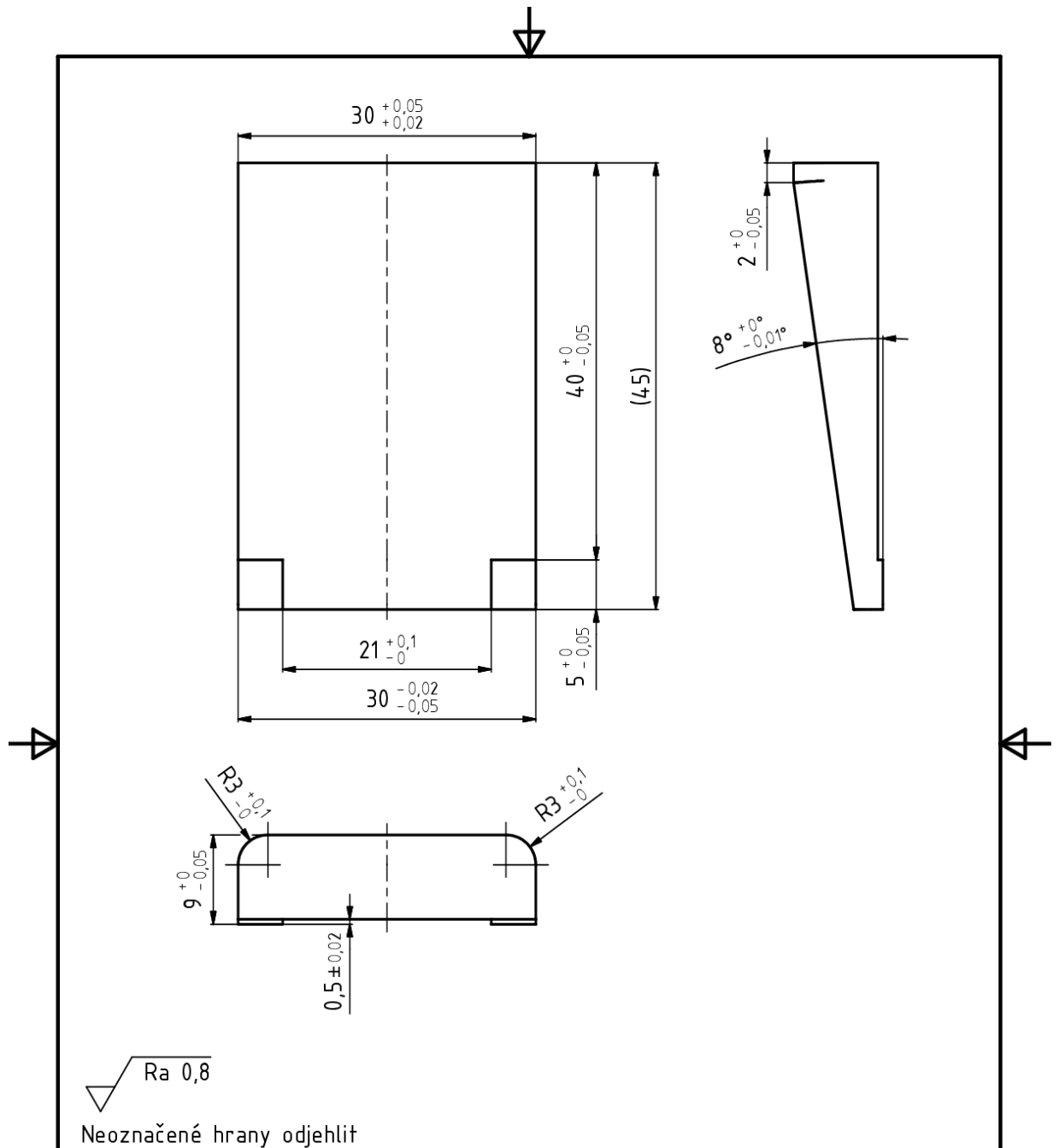
Neoznačené hrany odjehlit

		Měřítko	Promítání	Materiál	Ti-6Al-4V	
		2:1		Polotovar	D35 - 46	
				Roz. norma	ASTM B 348 / AMS 4928	
				Tolerance dle ISO 2768-m-K		
		Datum	Jméno	Klín bez drážky		
		Nakreslil	1. 11. 2019			Mejstský
		Zkontroloval				
		Schválil				
				Bak-1.3	1	
					A4	
Stav	Změny	Datum	Jméno	Hmotnost	0,029 kg	



# PŘÍLOHA D – Výkresová dokumentace: Klín s drážkou

Výrobní výkres součásti „Klín s drážkou“.



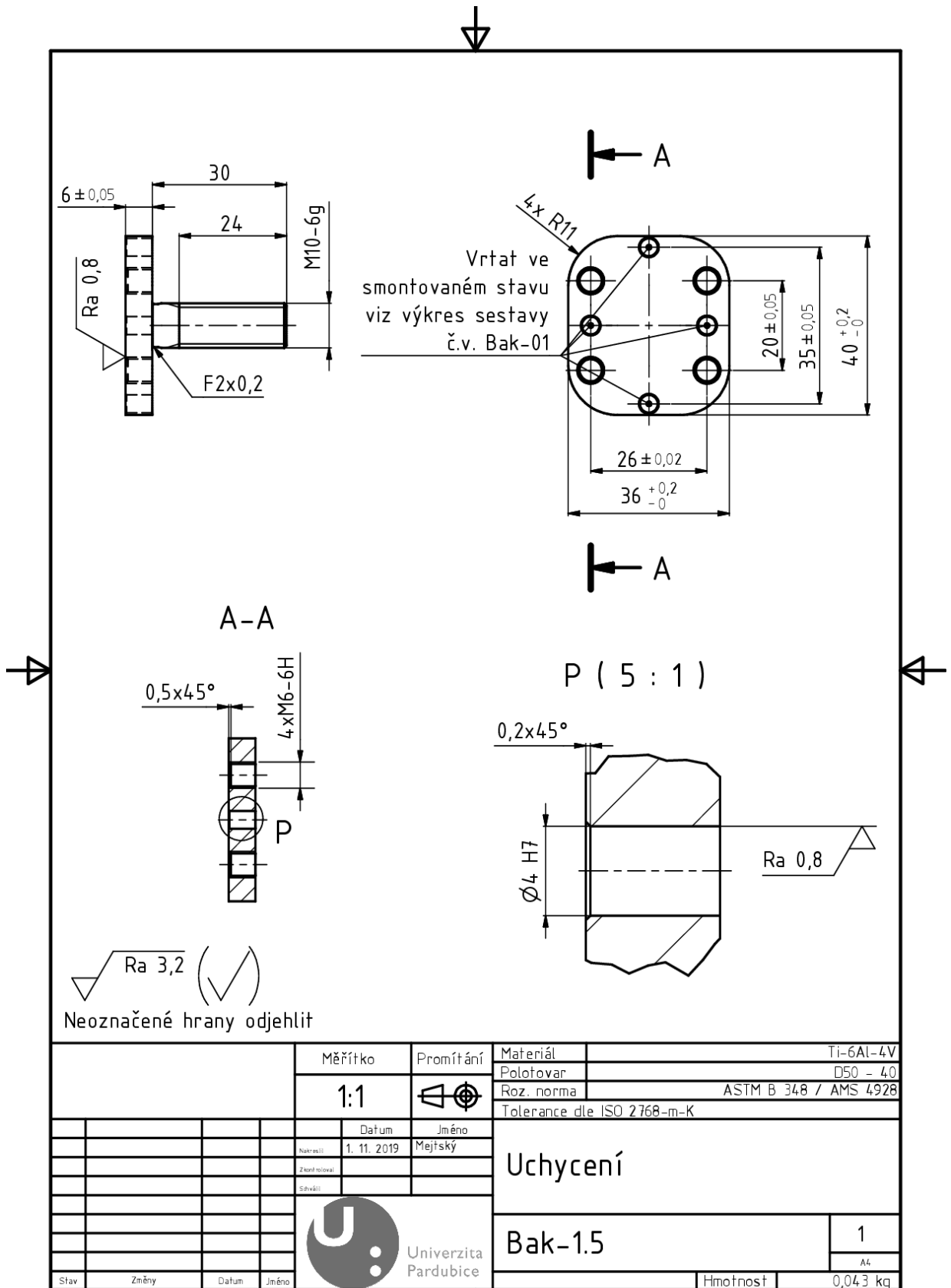
$Ra\ 0,8$

Neoznačené hrany odjehlit

		Měřítko	Promítání	Materiál	Ti-6Al-4V
		2:1		Polotovar	D35 - 50
				Roz. norma	ASTM B 348 / AMS 4928
				Tolerance dle ISO 2768-m-K	
		Datum	Jméno	Klín s drážkou	
		Nakreslil	Mejstský		
		Zkontroloval			
		Schválil			
				Bak-1.4	1
		Univerzita Pardubice			A4
Stav	Změny	Datum	Jméno	Hmotnost	0,033 kg

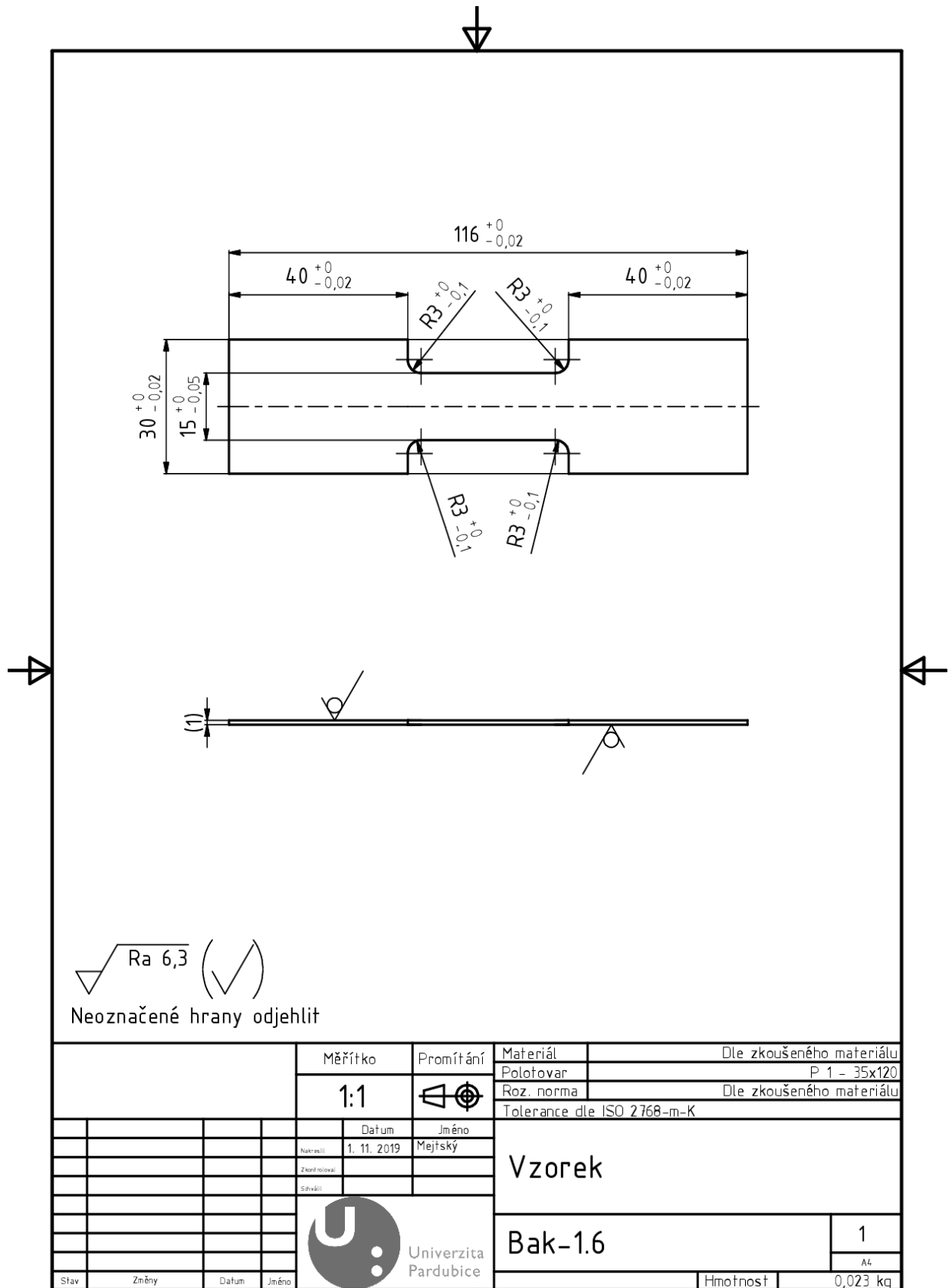
# PŘÍLOHA E – Výkresová dokumentace: Uchytení

Výrobní výkres součásti „Uchytení“.



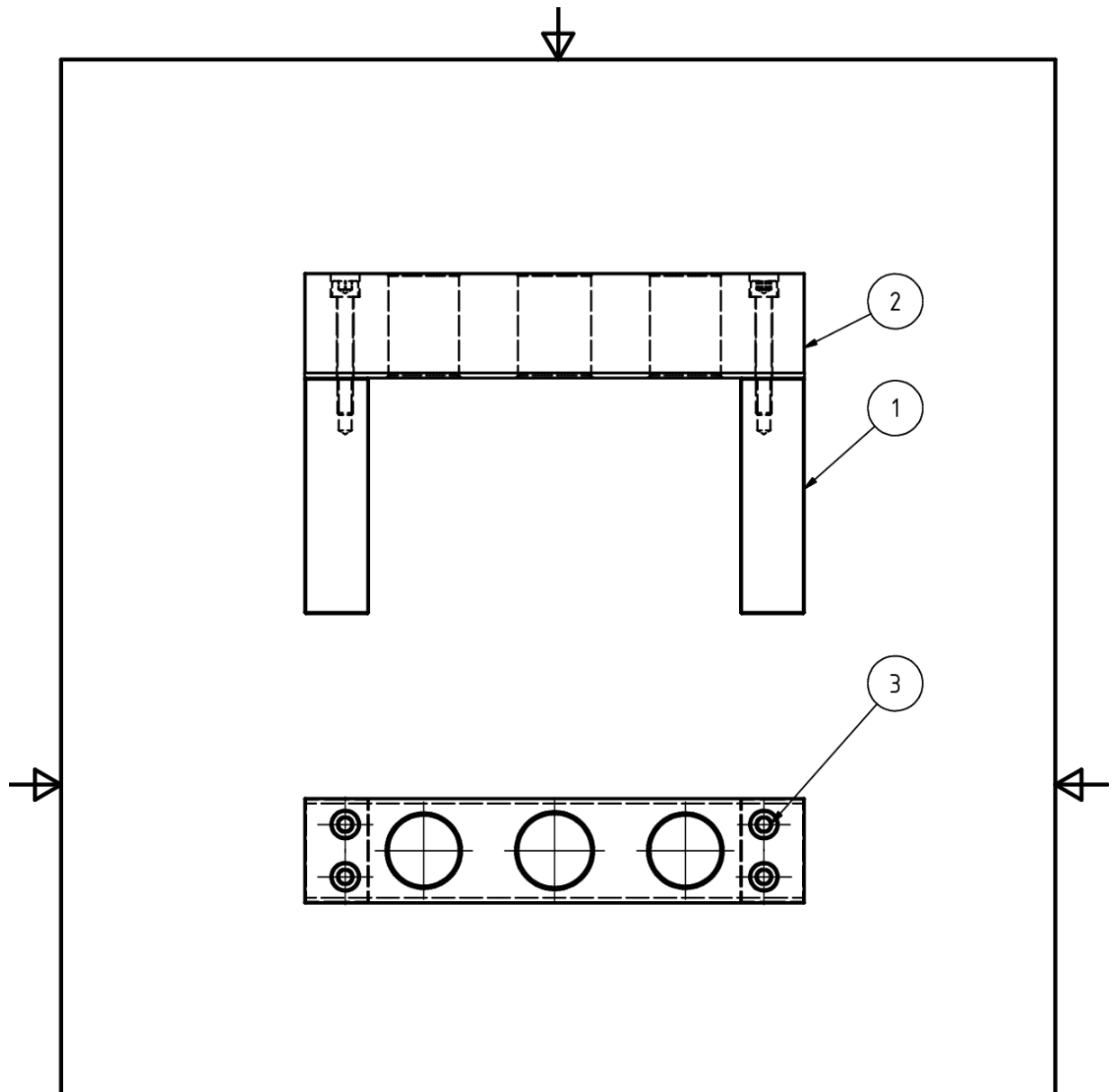
# PŘÍLOHA F – Výkresová dokumentace: Vzorek

Výrobní výkres součásti „Vzorek“.



# PŘÍLOHA G – Výkresová dokumentace: Přípravek s dorazy

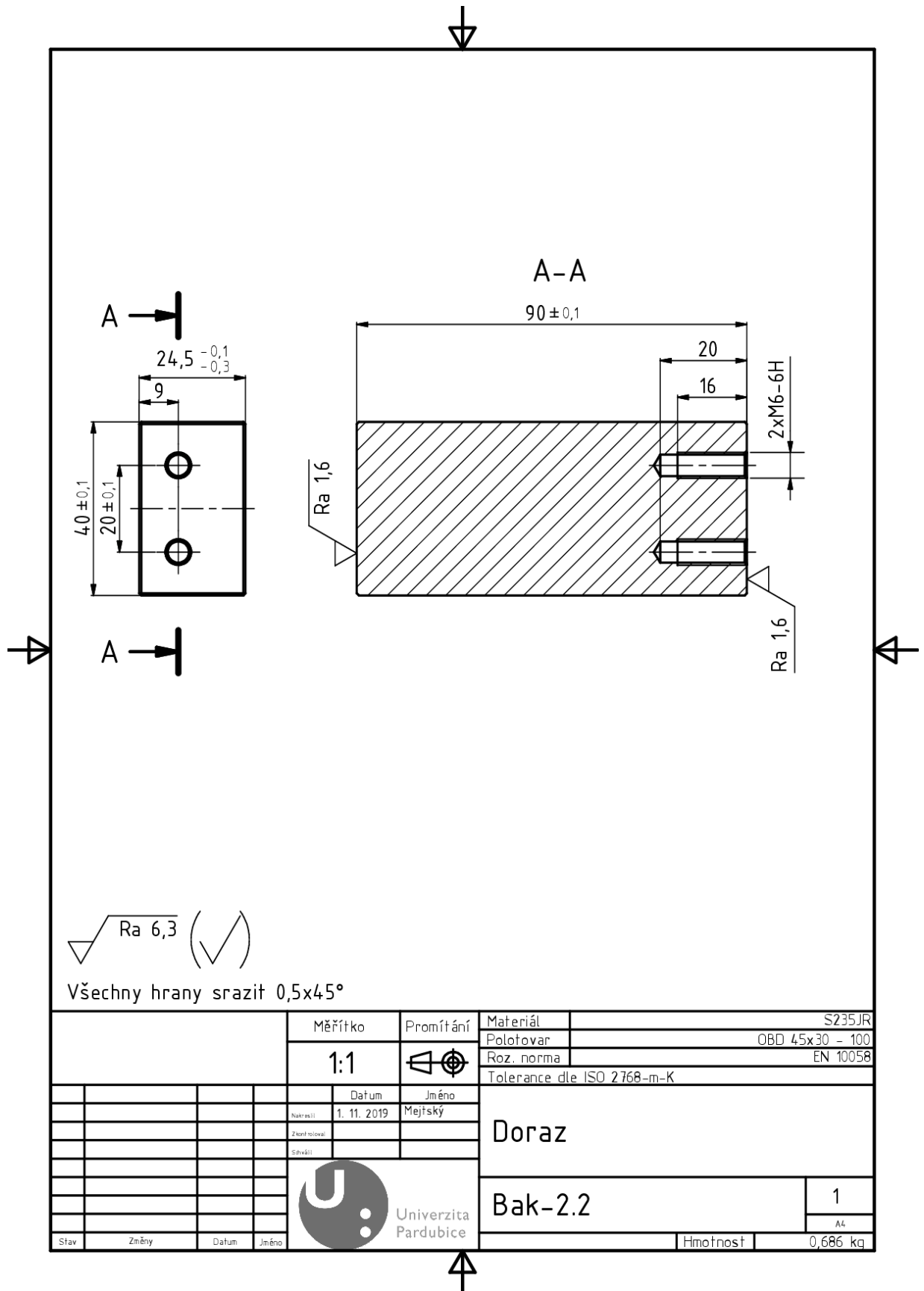
Sestavný výkres „Přípravek s dorazy“.



3	ŠROUB M12x45		ČSN 02 1143.57		0,013 kg	4
2	Přípravek	Bak_2.3	4HR 45 - 195	S235JR	1,780 kg	1
1	Doraz	Bak-2.2	OBD 45x30 - 100	S235JR	0,686 kg	2
POZ.	NÁZEV	Č. SOUČÁSTI	NORMA/POLOTOVAR	MATERIÁL	HMOTNOST	KS
		Měřítko	Promítání	Materiál		
		1:2		Polotovár		
				Roz. norma		
				Tolerance dle ISO 2768-m-K		
			Datum	Jméno		
		Nakreslil	1. 11. 2019	Mejstský		
		Zkontroloval				
		Světlil				
					Přípravek s dorazy	
				Univerzita Pardubice	Bak-2.1	
					1	
Stav	Změny	Datum	Jméno		Hmotnost	3,203 kg

# PŘÍLOHA H – Výkresová dokumentace: Doraz

Výrobní výkres součásti „Doraz“.



$Ra 6,3$  (✓)

Všechny hrany srazit  $0,5 \times 45^\circ$

		Měřítko	Promítání	Materiál	S235JR
		1:1		Polotovar	OBD 45x30 - 100
				Roz. norma	EN 10058
				Tolerance dle ISO 2768-m-K	
			Datum	Jméno	
			Nakreslil	1. 11. 2019	Mejstský
			Zkontroloval		
			Schválil		
			Univerzita Pardubice		Doraz
					Bak-2.2
Stav	Změny	Datum	Jméno		Hmotnost
					0,686 kg

# PŘÍLOHA CH – Výkresová dokumentace: Přípravek

Výrobní výkres součásti „přípravek“.

