

**UNIVERZITA PARDUBICE**

**DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2015**

**Bc. Tomáš Vymyslický**

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Testování dynamické pevnosti dvoufázových vysokopevných ocelí

Bc. Tomáš Vymyslický

Diplomová práce

2015

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Vymyslický**  
Osobní číslo: **D13649**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**  
Název tématu: **Testování dynamické pevnosti dvoufázových vysokopevných ocelí**  
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

- 1) Zkoušky crashové odolnosti konstrukce automobilu
- 2) Metody testování dynamické pevnosti materiálů
- 3) Sortiment vysokopevných ocelí pro bezpečnostní prvky karoserií
- 4) Návrh postupu testování dynamické pevnosti konkrétního materiálu
- 5) Vlastní dynamické zkoušky při rozdílné rychlosti zatěžování
- 6) Finální vyhodnocení tendence změny pevnosti se zatížením

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná  
Seznam odborné literatury:

PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2003, 516 s. ISBN 80-720-4283-1.

BREPTA, Rudolf. Šíření napěťových vln a rázy v tělesech. Praha: Československá akademie věd, 1972.

MEYERS, Marc A. Dynamic Behavior of Materials. New York: John Wiley, 1994, 668 s. ISBN 04-715-8262-X.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Hanus  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: 25. února 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 22. května 2015



doc. Ing. Ivo Drahošský, Ph.D.  
děkan

L.S.



doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2015

## PROHLÁŠENÍ

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., autorský zákon, 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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Břeclavi dne 18. 5. 2015

Tomáš Vymyslický

## PODĚKOVÁNÍ

V první řadě chci poděkovat své rodině a známým za jejich pochopení a podporu při studiu a zpracování diplomové práce.

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petrovi Hanusovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále chci poděkovat Doc. Ing. Pavlovi Švandovi, PhD. za pomoc při výrobě vzorků a jejich testování.

## ANOTACE

Práce se zabývá metodami zkoušení a samotným zkoumáním vysokopevných ocelí používaných v automobilovém průmyslu. Zkoumá dynamickou pevnost deformačních materiálů automobilů. Důležitou součástí je vyhodnocování zjištěných výsledků a jejich porovnávání. Věnuje se také zkoumání struktury oceli a crash testům vozidel, protože je spojena s nárazovými testy těchto vozidel.

## KLÍČOVÁ SLOVA

dynamická pevnost, dvoufázové vysokopevné oceli, metody, zkoušení

## TITLE

Testing dynamic strength of dual phase high-strength steels

## ANNOTATION

The work deals with methods of testing and actual testing of high-strength steels used in the automotive industry. It examines the dynamic strength of deformation materials cars. An important part is evaluation of collected datas and comparing them. He also examining the structure of the steel and vehicle crash tests because it is associated with crash tests of these vehicles.

## KEYWORDS

dynamic strength, dual phase high strength steels, methods, testing

# OBSAH

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam grafů	12
Úvod	1
1 Zkoušky crashové odolnosti konstrukce automobilu	2
1.1 Euro NCAP .....	2
1.1.1 Čelní náraz .....	3
1.1.2 Boční náraz .....	3
1.2 IIHS .....	4
2 Metody testování dynamické pevnosti materiálů	6
2.1 Charpyho metoda .....	6
2.2 Izodova metoda .....	8
2.3 Metoda Dynstat .....	8
2.4 Rázová zkouška tahem.....	9
3 Sortiment vysokopevných ocelí pro bezpečnostní prvky karoserií	12
3.1 Standardní vysokopevné oceli .....	13
3.1.1 IF – HS oceli .....	14
3.1.2 IF - BH oceli .....	14
3.1.3 IS oceli .....	14
3.1.4 CMn oceli.....	15
3.1.5 HSLA oceli .....	15



3.2	Pokročilé vysokopevné oceli .....	16
3.2.1	DP oceli.....	16
3.2.2	CP oceli .....	17
3.2.3	TRIP oceli .....	17
3.3	Ultra vysokopevné oceli.....	18
3.3.1	TWIP oceli .....	18
3.3.2	Martenzitické oceli.....	19
3.3.3	Borové oceli .....	19
4	Návrh postupu testování dynamické pevnosti konkrétního materiálu	21
4.1	Volba materiálu.....	21
4.2	Vlastnosti vzorku .....	23
4.3	Vyhotovení vzorku.....	24
4.4	Vytvoření tepelně ovlivněných oblastí vzorků .....	25
4.5	Testovací soustava .....	26
4.6	Postup měření.....	28
5	Vlastní dynamické zkoušky	31
5.1	Zkouška statické pevnosti.....	32
5.2	Testování dynamické pevnosti.....	33
5.3	Zkouška tvrdosti.....	38
6	Finální vyhodnocení tendence změny pevnosti se zatížením	41
	Použitá literatura	43
	Seznam příloh	45
	PŘÍLOHY	46

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Čelní náraz podle Euro NCAP [2] .....	3
Obr. 2 Čelní náraz podle IIHS [18] .....	4
Obr. 3 Charpyho kladivo .....	7
Obr. 4 Metoda Dynstat [5] .....	9
Obr. 5 Metoda ITT .....	10
Obr. 6 Oceli používané na vozidlech [8] .....	13
Obr. 7 ARA diagram dvoufázové oceli [11] .....	22
Obr. 8 Podélný nosník .....	23
Obr. 9 Rozměry testovacího vzorku .....	24
Obr. 10 Vyhotovený tvar vzorku .....	25
Obr. 11 Metalografický vzorek .....	25
Obr. 12 Měřicí program .....	27
Obr. 13 Uchycení a uložení zkušební vzorku [13] .....	29

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vlastnosti HS ocelí [9].....	14
Tab. 2 Vlastnosti BH ocelí [9] .....	14
Tab. 3 Vlastnosti IS ocelí [9],[10] .....	15
Tab. 4 Vlastnosti CMn ocelí .....	15
Tab. 5 Vlastnosti HSLA ocelí [9] .....	16
Tab. 6 Vlastnosti DP ocelí [9].....	16
Tab. 7 Vlastnosti CP oceli [9] .....	17
Tab. 8 Vlastnosti TRIP ocelí [9] .....	18
Tab. 9 Vlastnosti TWIP ocelí.....	18
Tab. 10 Vlastnosti martenzitických ocelí [9] .....	19
Tab. 11 Vlastnosti borových ocelí .....	20
Tab. 12 Hodnoty zráťových energií kladiva [13] .....	28
Tab. 13 Parametry kyvadla [13].....	29
Tab. 14 Hodnoty statické zkoušky .....	33
Tab. 15 Hodnoty dynamické zkoušky .....	35
Tab. 16 Hodnoty dynamické zkoušky .....	36
Tab. 17 Hodnoty dynamické zkoušky .....	37
Tab. 18 Tvrdosti tepelně neovlivněných vzorků.....	38
Tab. 19 Tvrdosti tepelně ovlivněných vzorků .....	39

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Oceli používané v automobilovém průmyslu [7] .....	12
Graf 2 Statická pevnost dvoufázové oceli.....	32
Graf 3 Tepelně ovlivněné vzorky (SKUPINA 1) .....	34
Graf 4 Tepelně ovlivněné vzorky (SKUPINA 2) .....	36
Graf 5 Tepelně neovlivněné vzorky.....	37
Graf 6 Zkouška mikrotvrdości bodového svaru .....	40

# ÚVOD

Cílem této práce je zjistit chování dvoufázové oceli v závislosti na deformační rychlosti. Výsledky vzorků s tepelným ovlivněním a bez tepelného ovlivnění zjištěné při testování se vzájemně porovnají pro přiblížení vlastností ocelí.

Materiálové inženýrství a automobilový průmysl jsou dva rozdílné obory, které jsou spolu pevně spjaté. Materiálové inženýrství vyvíjí ocelové materiály, které se používají pro výrobu karoserie vozidla.

Bezpečnost vozidel je dlouhodobě řešený problém v různých oborech. Pokud budeme řešit konkrétně jejich bezpečnost, je třeba vědět, že jsou prováděny nárazové zkoušky, tzv. crash testy. Jejich výsledkem je posouzení a výsledné hodnocení bezpečnosti celého vozidla pomocí udělených bodů dle předem stanovených specifikací hodnocení. Zaměříme-li se na specifickou část, na materiály tvořené vysokopevnostními ocelemi, které tvoří deformační zóny, je nutno přistoupit ke specifitějším zkouškám a hodnocení.

Úkolem deformačních zón karoserie je při nárazu absorbovat co nejvíce energie. Pohlit největší část energie má za úkol právě přední část vozidla. Deformační zóny se zvětšují např. volbou vhodného materiálu, který bude mít ideální soubor vlastností, který vyhoví náročným požadavkům, aniž by ovlivnil funkci (používání) automobilu.

Materiály používané v automobilovém průmyslu se neustále vyvíjejí. Jsou na ně kladeny stále vyšší nároky pro použití. Požadavkem je snižování hmotnosti oceli, která se odráží v celkové hodnotě automobilu. Neméně záleží na pevnosti oceli, která má významný vliv na bezpečnost vozidla.

# 1 ZKOUŠKY CRASHOVÉ ODOLNOSTI KONSTRUKCE AUTOMOBILU

Současná moderní doba se snaží zdokonalovat automobily po všech stránkách, jako např. komfort, ovládání, obsluha, bezpečnost a mnoho dalších. Jednou z těchto oblastí je bezpečnost, kterou se zabývají automobilky po celém světě.

Bezpečnost vozidel je dlouho řešený problém, který je stále více zdokonalován. Tato vlastnost je jednou z nejdůležitějších na celém vozidle. Je obecně známo, že bezpečnost se dělí na aktivní, která se snaží předcházet nehodám, a pasivní, která se snaží minimalizovat následky škod dopravní nehody. Dále se práce zabývá pasivní bezpečností vozidel. Cílem je nejen zmenšit škody při dopravních nehodách, ale především zmenšit nebo zcela předejít zraněním posádky vozidla či případně jejímu úmrtí.

Pasivní bezpečnost se zkouší bariérovými testy, nárazovými zkouškami, které bývají často označovány anglickým slovem „crash“ testy. Simulují se ty nejčastější dopravní nehody běžně vznikající na pozemních komunikacích. Vliv na hodnocení těchto zkoušek mají především zádržné systémy a to bezpečnostní pásy, airbagy ale i konstrukce automobilu s vytvořenými deformačními zónami, speciálně profilovanými nosníky a také použitý materiál.

Dnes působí spousta organizací nebo společností zabývajících se pasivní bezpečností, tedy nárazovými zkouškami. Ty hlavní a nejznámější působí v Evropě a Americe. Jsou to Euro NCAP a americká IIHS.

## 1.1 Euro NCAP

Společnost působící na evropském kontinentu, která posuzuje bezpečnost osobních vozidel přibližně 20 let. Název Euro NCAP je zkratkou European New Car Assessment Programme (evropský program posuzování nového vozu). Provádí nárazové zkoušky, které vznikají nejčastěji:

- Čelní náraz
- Boční náraz (na překážku nebo boční náraz druhého vozidla)

Samozřejmě provádí další řadu testů, např. whiplash, náraz chodce do vozidla určitou částí těla aj.

### 1.1.1 Čelní náraz

Podle statistik se 80 procent dopravních nehod odehraje v rychlosti do 60 km/h. Euro NCAP testuje čelní náraz při rychlosti 64 km/h, přičemž zkouška simuluje čelní střet vozu s dalším vozem podobné hmotnosti. Jelikož se většiny čelních srážek neúčastní celá přední část vozidla, nárazová plocha při testech činí pouze 40 procent přední části [1]. Bariéra, do které vozidlo naráží, představuje protijedoucí vozidlo. Snahou je docílit skutečný náraz dvou vozidel.

Při crash testech lze vidět pravítko, které je přilepené na boku vozidla. Pravítko má za úkol sledovat míru deformace přední části vozidla.



Obr. 1 Čelní náraz podle Euro NCAP [2]

### 1.1.2 Boční náraz

Představuje druhý nejčastější případ dopravní nehody. Zkoušky se provádí dvojitým způsobem a to simulací nárazu do boku vozidla jiným vozidlem nebo najetím testovaného vozidla na

sloup.

První druh zkoušky se simuluje pomocí tuhého podvozku, na který je připevněná tuhá bariéra. Říká se také pohyblivá bariéra. Podvozek s bariérou se pošle 50ti kilometrovou rychlostí na bok testovaného vozu do oblasti B-sloupku. Při tomto druhu havárie bývá nejčastěji zraněn právě řidič.

Případ druhý, tedy náraz do sloupu má simulovat náraz vozidla do pouličního osvětlení nebo třeba stromu. Při simulaci vozidlo naráží na pevný sloup rychlostí 29 km/h, přičemž průměr sloupu činí 254 mm. Ten proniká dle tuhosti částí karoserie do boční části karoserie vozidla i při zdánlivě malé rychlosti zkoušky. Pokud srovnáme oba druhy bočních nárazů, je náraz do sloupu z hlediska závažnosti nehody mnohem nebezpečnější, jelikož při něm dochází k výraznějšímu vniknutí testovací překážky do bezpečnostního prostoru osádky.

## 1.2 IIHS

Americká společnost působící od roku 1959 provádí velice podobné bariérové zkoušky osobních automobilů jako Euro NCAP. Celý název Insurance Institute for Highway Safety znamená pojišťovací institut pro dálniční bezpečnost.



Obr. 2 Čelní náraz podle IIHS [18]

Testy se dělají na běžných vozidlech stejně jako u Euro NCAP. Rozdíly jsou v překážce, která je pevná a nedeformovatelná, takže se simuluje náraz spíše na pevnou konstrukci než protijedoucí vozidlo. Rychlost zůstává stejná, tedy někde v rozmezí 60 až 65 km/h. Dalším



rozdílem je přesazení vozidla vůči překážce, které činí jen 19 %. Obr. 2 ukazuje normovaný náraz dle norem společnosti IIHS, který je v porovnání s nárazem vozidla na Obr. 1 značně rozdílný.

Euro NCAP posuzuje spíše různé pomocné systémy zasahující při havárii. Naproti tomu IIHS posuzuje vozidla více z hlediska místa pro přežití osádky a její bezpečnosti. Místo pro přežití osádky se odvíjí od konstrukčního řešení deformačních zón a samozřejmě také na použití vhodných materiálů.

## 2 METODY TESTOVÁNÍ DYNAMICKÉ PEVNOSTI MATERIÁLŮ

Pro použití materiálů na silničních vozidlech je důležité jejich zkoušení. Tyto zkoušky jsou chemické, mechanické, fyzikální. V praxi se často provádí mechanické zkoušky, které se dělí na statické a dynamické. Dále se budeme zabývat dynamickými zkouškami, při kterých zjišťujeme dynamickou pevnost. Ta závisí na struktuře materiálu, technologickém zpracování, obsahu legujících prvků a dalších. Zjištění dynamické pevnosti je důležité pro konstruktéry a vývoj vozidla, aby zajistili dostatečně dimenzovanou konstrukci pro provoz anebo právě bezpečnost při nehodě vozidla.

V době nárazu vozidla na překážku vznikají deformační rychlosti až  $1000 \text{ s}^{-1}$  [13]. Při takových rychlostech bývá dynamická pevnost výrazně vyšší než kvazistatická. Testovaný vzorek musí být schopen pojmout co největší množství energie při minimálním porušení. Především takový je požadavek u deformačních zón automobilů.

Dynamické zkoušky se také nazývají rázové dynamické zkoušky. Většina zkoušek je založena na rázovém ohybu. Sledovanými veličinami jsou rázová a vrubová houževnatost. Zkouška rázové a vrubové houževnatosti materiálů spočívá v namáhání tělesa rázem, tedy silou koncentrovanou do velmi krátké doby. Tvarové vlastnosti materiálu souvisí s jejich deformačními vlastnostmi, schopností rychle absorbovat energii, tedy deformovat se určitou rychlostí. Zkouška rázem testuje zkušební vzorek při vyšší deformační rychlosti, což je podstatou následujících metodik. Na rozdíl od statického namáhání například v ohybu, kdy dojde k porušení tělesa až při extrémním průhybu anebo vůbec, tak s rostoucí rychlostí namáhání mají materiály rozdílnou únosnost. Změna namáhání se může projevit deformací či porušením zkušebního tělesa už při malém průhybu. Je to důsledek toho, že některé rovnovážné pochody v materiálu nemají dostatek času k tomu, aby proběhly. Lomy, které se při nízkých rychlostech namáhání jeví jako tažné, se mohou chovat zcela jinak [3].

### 2.1 Charpyho metoda

Rázová zkouška fyzikálního kyvadla je založená na energiích, resp. práci, kterou je třeba vynaložit na přeražení vzorku. Energie udělená Charpymu kladivu na začátku procesu a energie, dána polohou kladiva po destrukci vzorku, dají jejich rozdílem výslednou hodnotu deformační energie, která byla potřebná pro porušení testovaného vzorku. Tato deformační

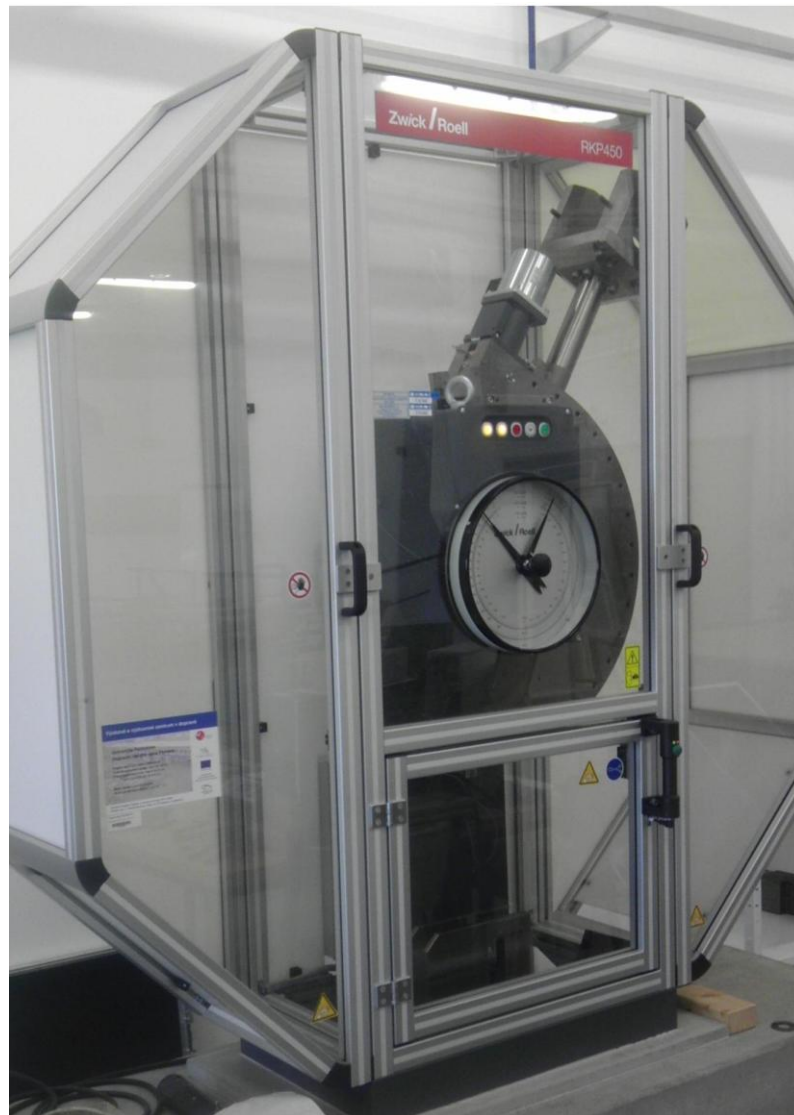
energie je zároveň maximem, které dokázal vzorek absorbovat do jeho destrukce. Popis pomocí vztahu je následující:

$$E_v = E_1 - E_2$$

$E_1$  - energie před porušením zkušební vzorku

$E_2$  - energie po přerušení zkušební vzorku

V praxi se tato metoda provádí pomocí kyvadlového kladiva, na jehož konci je připevněná tvarovaná hlavice, tzv. beran. Tato hlavice naráží na vzorek, volně umístěný v pravoúhlé podpoře. Namáhání si lze představit jako tříbodové ohýbání nosníku. Metodu lze najít v normách ISO nebo ASTM.



Obr. 3 Charpyho kladivo

Konstrukce kladiva jednoznačně určuje velikost počáteční hodnoty potenciální energie. Výsledná nárazová práce je tedy funkcí výšky „h“ překmitu beranu kladiva. Starší kladiva jsou vybavena vlastní stupnicí, na které vlečená ručička přímo zobrazuje velikost spotřebované práce.

Moderní způsoby určování nárazové práce využívají tzv. instrumentovaná kladiva. U této metody je ve velmi krátkých časových intervalech zaznamenávána závislost zatěžující síly na průhybu. Plocha pod křivkou následně určí velikost nárazové práce [4].

## 2.2 Izodova metoda

Jedna z metod testování rázové houževnatosti, která je velice podobná Charpyho metodice zkoušení. Tato metoda se liší v uložení vzorku v testovacím zařízení. Způsob upevnění zkoušeného materiálu je realizován pomocí kleštin. Spodní polovina tělesa je upnutá v rámu zkušebního zařízení a do horní části vzorku naráží beran. U Izodovi metody je tvar beranu jiný než u Charpyho metody a to z důvodu uspořádání celé testovací soustavy. Použitím Charpyho kladiva by totiž došlo k poruše kleštin nebo beranu kladiva.

Metoda podle Izoda, jak se také uvádí, je normovaná. Při zkouškách se používá norem ISO nebo ASTM.

## 2.3 Metoda Dynstat

Rázovou houževnatost materiálu lze zkoušet pomocí přístroje nazývaného Dynstat. Jedná se opět o kyvadlo s určitou počáteční energií. Následně po provedení zkoušky se zde neodečítá přímo energie, jako v předchozích případech, ale používá se stupnice s úhlovými jednotkami. Výpočet se provede pomocí maximálního ohybového momentu zjištěného v době přeražení zkoušeného vzorku. Tento moment je závislý na úhlu překmitu kyvadla podle níže uvedeného vztahu.

$$M_{max} = G * l * \sin \alpha$$

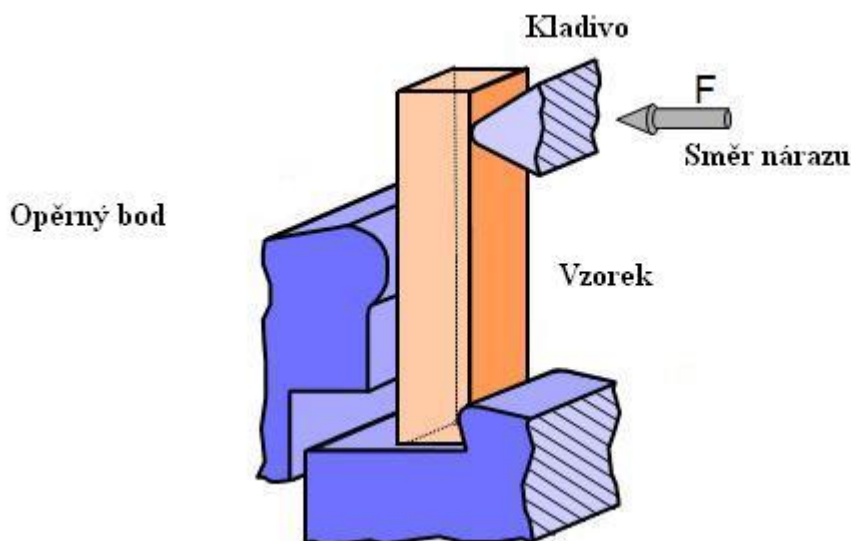
$M_{max}$  - maximální moment v době destrukce vzorku

G - hmotnost kyvadla

l - vzdálenost osy rotace kyvadla od těžiště kyvadla

$\alpha$  - úhel na točení

K měření se používají zkušební tělesa poměrně malých rozměrů. Ty se testují velice podobně, jako u Izodovy metody. Metoda Dynstat je popsána normou DIN. Kladiva jsou výměnné, z nichž každé má různou energii (0,49 Nm, 0,98 Nm, 1,96 Nm, 3,92 Nm) [3].



Obr. 4 Metoda Dynstat [5]

## 2.4 Rázová zkouška tahem

Zkušební zařízení je konstrukčně řešeno obdobně jako Charpyho kladivo. Odlišnost je pouze v beranu kyvadla a uchycení vzorku. Při pohledu v ose rotace kyvadla má beran tvar písmene U, jehož boční části naráží na příčnick. Uchycení vzorku se realizuje pomocí speciálně tvarovaných kleštin.

Rozlišují se 2 typy metod zkoušení vzorků:

### 1. Metoda A

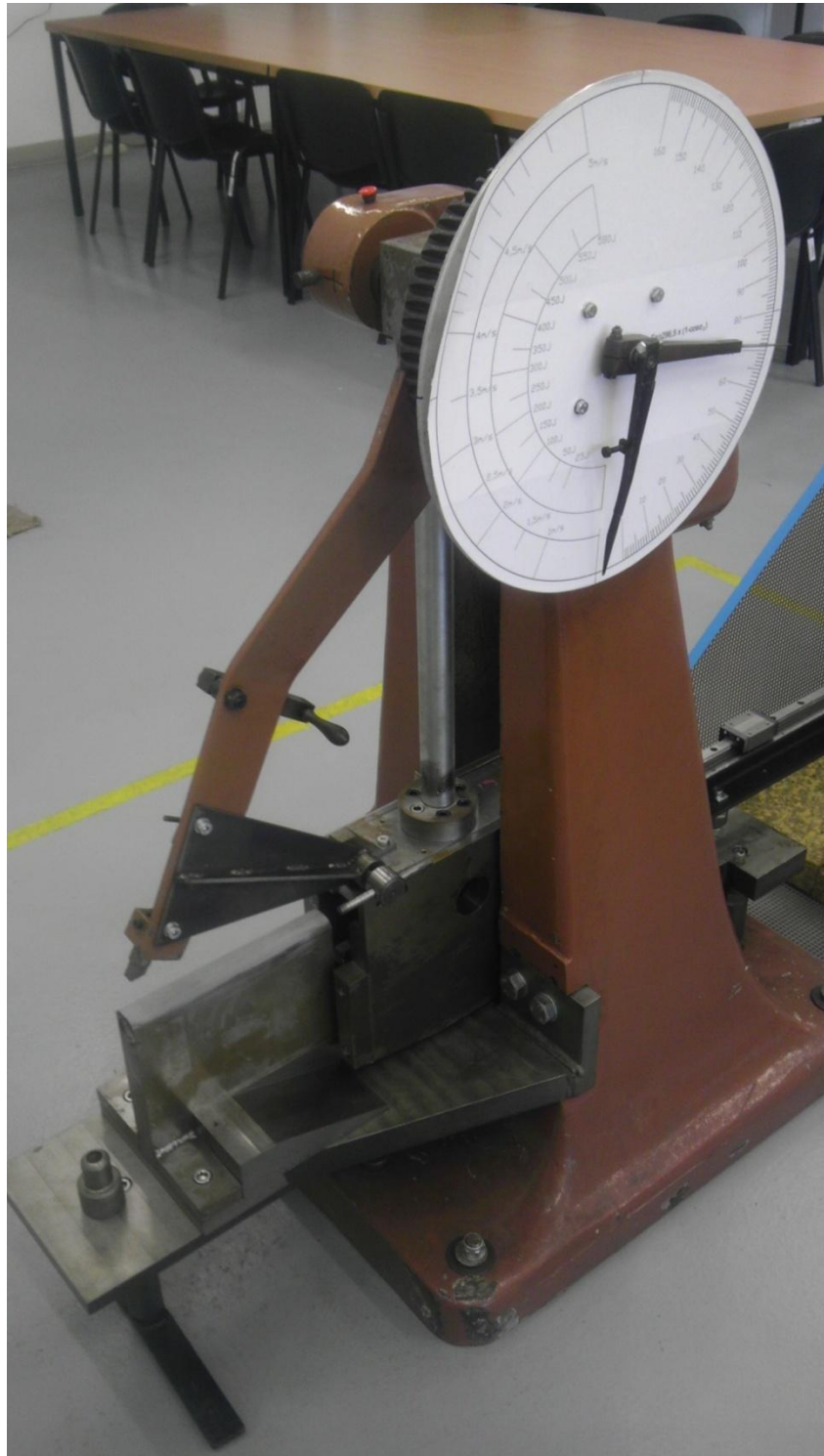
Vzorek s přesně stanovenými rozměry v podobě „mašličky“ se jedním koncem upevní do upínacího zařízení zkušebního stroje a druhý konec se upevní do příčného upínače (příčnick). Tento příčný upínač je pohyblivý a právě do něho naráží beran kyvadla [6].

### 2. Metoda B

Vzorek se upíná do příčnicku na beranu kyvadla. Ten naráží na kovadlinu stacionárně připevněnou k rámu zkušebního zařízení.

Zkouška se provádí podle norem ISO 8256 nebo ASTM D 1822. Často se tento typ

testování označuje zkratkou ITT (Impact Tensile Testing), což ve volném překladu znamená rázová tahová zkouška. Experimentální zkušební zařízení lze vidět na Obr. 5.



Obr. 5 Metoda ITT

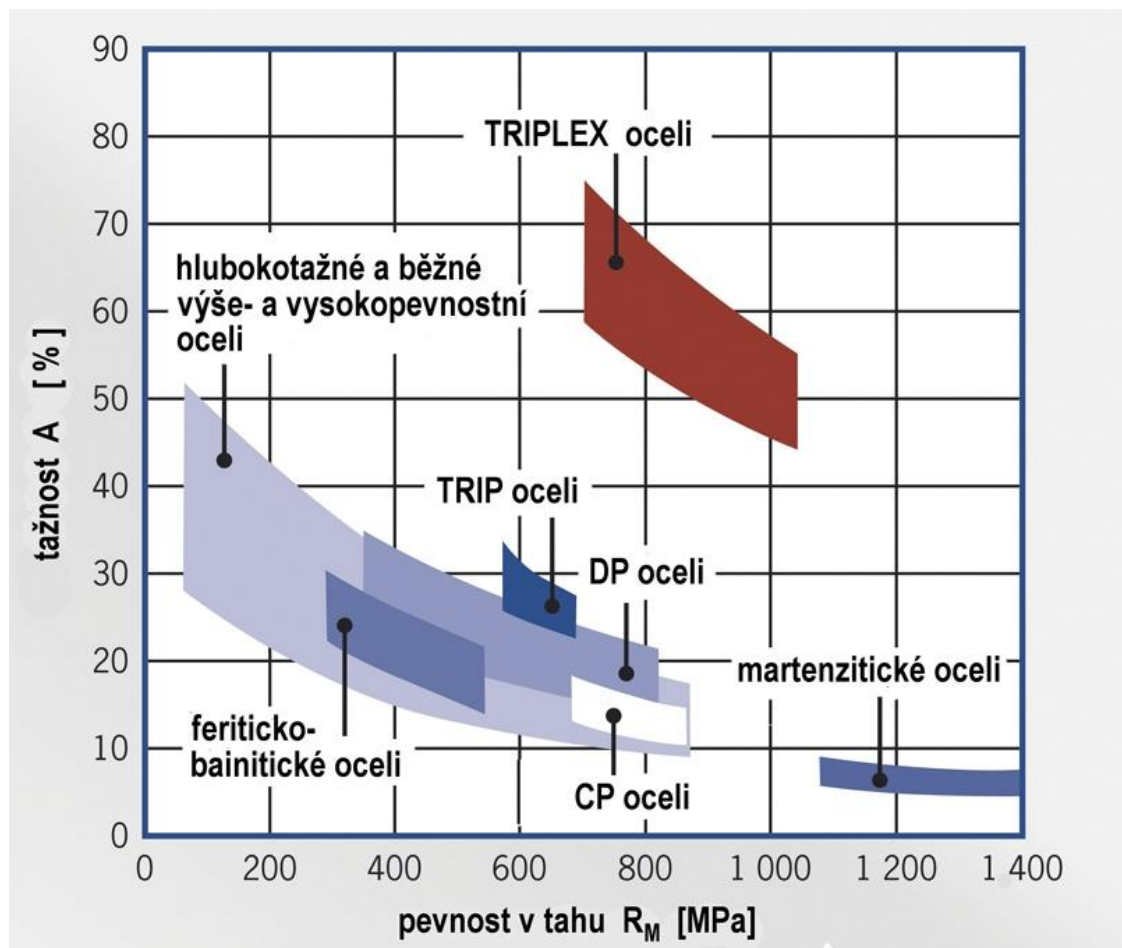
Energie kladiva se rozdělí na část, která je potřebná pro deformaci vzorku a další, kterou se uvede přičník do pohybu. Určitá část energie se také ztratí vlivem čepového tření.

Nejdůležitější je energie pro překmit kladiva za „bod nárazu“. Hodnotu energie překmitu spotřebované pro porušení vzorku získáme odečtením z budíku testovacího stroje. Výslednou hodnotu energie, kterou absorboval materiál, zjistíme jako rozdíl počáteční energie a energie zaznamenané po překmitu kyvadla.

### 3 SORTIMENT VYSOKOPEVNÝCH OCELÍ PRO BEZPEČNOSTNÍ PRVKY KAROSERIÍ

Karoserie vozidel jsou navrhovány jako nosné konstrukce montované z mnoha různých celků a ty jsou tvořené z početného souboru částí. Tyto jednotlivé části karoserie jsou plechové výlisky, které jsou různě tvarované z hlediska designu, ale především z hlediska funkčnosti celé karoserie. Tvar důležitých částí navrhuji konstruktéři pomocí počítačových technologií hlavně pro bezpečnost osádky.

Dnešní materiály používané pro výrobu karoserií jsou obvykle konstrukční oceli a vysokopevnostní oceli. Mají široké zastoupení na automobilovém trhu a ještě tomu tak nějakou dobu bude. Rozdělení ocelí zobrazuje Graf 1.



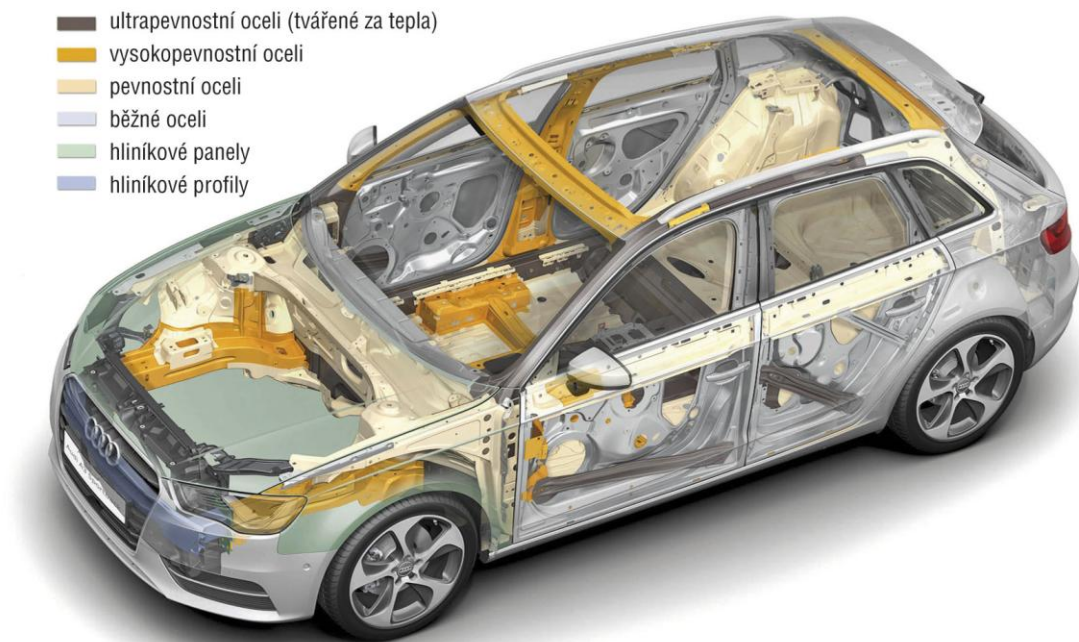
Graf 1 Oceli používané v automobilovém průmyslu [7]

Dříve se používaly vysokopevnostní oceli spíše na kokpity, což je oblast pro pasažéry, pro zachování minimálního prostoru pro přežití. V dnešní době se začínají uplatňovat už i v



konstrukci předních a zadních podélných nosníků, které tvoří deformační zóny vozidla. Tyto deformační oblasti musí zaručit, aby se deformační energie vozidla nepřenášela dále na část karoserie pro osádku nebo aby tato přenesená energie byla minimální. Ocel musí dostatečně pohltit velké množství energie a to je rozhodující vlastnost při bariérových zkouškách, materiálových zkouškách nebo pak přímo v silničním provozu při vzniku dopravní nehody.

Na Obr. 6 lze vidět použití různých materiálů, ale za povšimnutí především stojí oblasti, kde se nachází zmiňované vysokopevnostní oceli.



Obr. 6 Oceli používané na vozidlech [8]

### 3.1 Standardní vysokopevné oceli

Jedná se o jednořazové feritické oceli. Nejrozšířenější a nejčastěji používané oceli jsou feritické korozivzdorné oceli s obsahem chromu přibližně 15 – 30 %. Název této skupiny ocelí je překladem z anglického označení HSS (High Strength Steels). Dále jsou uvedeny běžně používané typy standardních vysokopevných ocelí. U každého z následujících typů se využívá technologických variant zpevnění ocelí, čímž se mění jejich vlastnosti. Výhodou je samozřejmě zvyšování meze pevnosti. Nevýhodou ovšem je snižování tažnosti oceli.

### 3.1.1 IF – HS oceli

Tento typ oceli se vyznačuje velmi nízkým obsahem uhlíku. Má nízkou mez kluzu, ale značné deformační zpevnění. Zkratka ovšem označuje ocel jako Interstitial free High Strength, což znamená, že pro zlepšení vlastností (zejména pevnosti) se přidávají intersticiály. Toto je dosahováno legováním oceli prvky titanu nebo niobem, které dávají vzniku precipitátů nitridů nebo karbidů. Jiný způsob zvýšení pevnosti je technologické zpracování pro zjemnění zrna. Některé oceli se z důvodu zvýšení tahové pevnosti obohacují například fosforem [10].

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	340	460	35	0.01

Tab. 1 Vlastnosti HS ocelí [9]

### 3.1.2 IF - BH oceli

Zvýšení pevnosti se uskutečňuje pomocí legujících prvků jako mangan, fosfor nebo křemík. Průběh technologického zpracování (Bake Hardening - vytvrzování) při výrobě probíhá udržováním uhlíku v roztoku a jeho následným vylučováním při jeho tuhnutí. Uhlík tak způsobuje precipitační zpevnění, tedy ocel dosahuje vyšší pevnosti. Další navýšení pevnosti pomocí deformačního zpevnění, např. lisováním může být ve výsledku vyšší až o 40 MPa. BH oceli mají vynikající tažnost, proto se používají i na vnější plechy karoserií. Také se dobře chovají při únavovém namáhání [10], [14].

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	360	480	34	0.1

Tab. 2 Vlastnosti BH ocelí [9]

### 3.1.3 IS oceli

Zkratka IS (Isotropic Steels) znamená, že ocel je izotropní, tedy její mechanické vlastnosti jsou ve všech směrech stejné. Jsou odolné vůči stárnutí, mají také dobrou tažnost, ale i

vrubovou houževnatost a jsou vhodné k nanášení povlaků. Součástí chemického složení jsou prvky jako hliník, dusík, měď aj. IS oceli se používají na výrobu karosářských plechů, nejčastěji na střechu [10].

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	300	400	34	0.06

Tab. 3 Vlastnosti IS ocelí [9],[10]

### 3.1.4 CMn oceli

Carbon – manganové oceli, jak uvádí zkratka, jsou legované oceli s vyšším obsahem uhlíku, manganu a jiných legur v porovnání s výše zmíněnými ocelemi. Vyznačují se feriticko-perlitickou strukturou, která po technologických procesech získá část bainitické nebo martenzitické struktury. Pokud by byly zrna příliš hrubé, přidává se malé množství hliníku na zjemnění. Takové oceli mají vyšší mez únavy, což je s výhodou využíváno pro přední zóny (nárazníky) [10].

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	460	610	35	0.5

Tab. 4 Vlastnosti CMn ocelí

### 3.1.5 HSLA oceli

Oceli, které se vyznačují výbornými vlastnostmi. Tyto oceli jsou dominantní mezi standardními vysokopevnostními ocelemi. Název HSLA (High Strength Low Alloy) se odvíjí od procentuálního obsahu legujících prvků. Používají se tyto vybrané legury: mangan, chrom, titan, vanad, molybden, nikl, niob a jiné příměsi. Prvky jako V, Nb, Ti zlepšují pevnost oceli precipitačním zpevněním přítomností uhlíku. Mikrostruktura HSLA ocelí je jemnozrnná a velice různorodá (perlitická, feriticko-perlitická, feriticko-martenzitická, aj.). Vzhledem k pevnosti oceli uvedené v Tab. 5 se často používají jako výtzuhy nosných částí karoserie,

nárazníků a dveří, ale i dynamicky namáhaných skupin podvozku. Výhodou těchto ocelí oproti jiným druhům je dobrá svařitelnost (nízký obsah uhlíku), tvařitelnost, úspora hmotnosti až 30 % v porovnání s obvyklými uhlíkovými oceli a bezesporu i jejich cena [10].

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	650	730	28	0.14

Tab. 5 Vlastnosti HSLA ocelí [9]

## 3.2 Pokročilé vysokopevné oceli

Ve volném překladu můžeme také mluvit o moderních vysokopevných ocelích (Advanced High Strength Steels). Oproti standardním vysokopevným ocelím se liší v počtu fází jejich mikrostruktury. Ta může být tvořena austenitickými, perlitickými, bainitickými nebo martenzitickými strukturami. Další odlišností jsou vysoké meze kluzu a meze pevnosti, řádově asi o desítky nebo stovky megapascal. Výjimkou je ocel HSLA, která může mít více fází.

### 3.2.1 DP oceli

Tyto oceli vznikly speciálně pro automobilový průmysl. Hojně se proto využívají pro deformační zóny karoserií (přední podélné nosníky, nárazníky, boční části karoserie), protože se vyznačují vysokým exponentem materiálového zpevnění při současném zachování tvařitelnosti a plasticity [10].

Blíže se zmíníme o tomto typu oceli v kapitole 4.1.

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	1100	1180	27	0.18

Tab. 6 Vlastnosti DP ocelí [9]

### 3.2.2 CP oceli

Typ oceli, který je svou strukturou velice podobný dvoufázovým ocelím. Přesněji se vícefázové oceli (Complex Phase Steels) skládají z jemnozrnného feritu a bainitu, a nízkého obsahu perlitu, martenzitu a zbytkového austenitu. Mají také nízký podíl uhlíku jako DP oceli. Zjemnění zrna je důležité pro zaručené vlastnosti (vysoká schopnost absorpce energie), čehož se dosahuje pomalou rekrystalizací nebo pomocí precipitátů mikrolegujících prvků jako titan nebo niob.

Tyto oceli se vyznačují vysokou pevností, tvrdostí a deformačním zpevněním. Vzhledem k takovým vlastnostem mají skvělou absorpci nárazové energie a používají se proto pro deformační zóny nebo ramena náprav [10].

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	950	1200	19	0.25

Tab. 7 Vlastnosti CP oceli [9]

### 3.2.3 TRIP oceli

Základem této skupiny ocelí je feritická matrice jako u DP a CP ocelí, kterou doplňuje austenit, bainit a martenzit. Průběh deformace oceli s transformačně indukovanou plasticitou (Transformation Induced Plasticity Steels) má za následek transformaci austenitu na martenzit ovšem do určité teploty. Od této teploty dále se už jen deformuje austenit. Tato přeměna se nazývá TRIP efekt, pro kterou je důležitý obsah zbytkového austenitu v rozmezí 5 % - 10 %. Obsah austenitu je závislý na zvýšeném podílu uhlíku a křemíku. Zároveň důsledkem tohoto efektu je zvýšení pevnosti oceli.

Skvělá tažnost a vysoká pevnost jsou vynikající vlastnosti, které jsou důvodem použití TRIP ocelí. Dále je to vysoké deformační zpevnění nebo také schopnost pohlcovat deformační energii. Uplatňují se při tvorbě deformačních zón, např. B sloupků, výztuh nárazníků, prahů dveří.

Složení oceli je velmi důležité. Uhlík potřebný pro zbytkový austenit podporuje hliník, který ovšem snižuje efekt zpevňování oceli. Hliník a fosfor zároveň pomáhají při tvorbě feritu a bainitu [10].

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	550	900	25	0.25

Tab. 8 Vlastnosti TRIP ocelí [9]

### 3.3 Ultra vysokopevné oceli

UHSS oceli (Ultra High Strength Steels) patří mezi ty nejpevnější oceli na celosvětovém trhu. Svým složením patří do skupiny víceřazových ocelí.

#### 3.3.1 TWIP oceli

Jedná se o typ ultra pevné oceli, která má za pokojových teplot austenitickou mikrostrukturu. Vysokou pevnost zajišťuje vysoký obsah manganu.

V porovnání s TRIP oceli nedochází k deformaci austenitu, ale tzv. dvojčatění (změna orientace krystalické mřížky). Přesněji dvojčatění s indukovanou plasticitou (Twinning Induced Plasticity Steels). TWIP efekt, kterým se vyznačuje tato ocel, je možný při obsahu manganu větším jak 20 %. Jestliže se mangan vyskytuje v mikrostruktuře s méně než 15 %, dochází pouze k TRIP efektu.

Zajímavá je schopnost tvařitelnosti oceli. Materiál se chová jako hlubokotažné oceli. Tažnost dosahuje velmi vysokých hodnot (Tab. 9) a to i při zachování extrémní pevnosti. Výborně pohlcuje deformační energii právě díky TWIP efektu.

Používají se především u bočních deformačních zón, pro výrobu B sloupků nebo pro boční výtuhy karoserie [10].

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	1350	1470	125	0.6

Tab. 9 Vlastnosti TWIP ocelí

### 3.3.2 Martenzitické oceli

Vysokopevnostní ocele, ve kterých je žádoucí vyšší obsah martenzitu. Udává se minimální hranice přibližně 30 %. Martenzit vzniká kalením přeměnou z austenitické fáze. Výsledná struktura oceli se zpracovává válcováním za tepla, čímž výrazně naroste její pevnost. Dodatečné zpracování popouštěním pomůže zvýšit houževnatost tohoto typu oceli, současně s tím se ale sníží pevnost. Struktura martenzitu je deskovitá a samozřejmě obsahuje zbytky po technologickém zpracování jako ferit a bainit. Pro zlepšení prokalitelnosti se přidávají legující prvky (uhlík, molybden, vanad, nikl, chróm, mangan, křemík).

Vzhledem ke své vysoké pevnosti je možné produkty těchto ocelí vyrábět s menší tloušťkou, což má za následek úsporu hmotnosti. I při takové úpravě si ocel stále udržuje vysokou pevnost. MART oceli, jak se také ve zkratce označují, se používají pro zesílení prahů, dveří, nárazníků nebo i pro výrobu pružin [10].

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	1520	1820	6	0.25

Tab. 10 Vlastnosti martenzitických ocelí [9]

### 3.3.3 Borové oceli

Zvláštní skupina ocelí, jejichž základem jsou martenzitické oceli se zbytkovým austenitem a vysokým podílem boru. Jako známé označení se používá UHSS – B (Ultra High Strength – Boron Steels). Má přídomek nejpevnější z třídy UHSS ocelí.

Schopností dobrého tepelného zpracování ji lze zařadit také mezi tepelně tvárné oceli. Zpracování probíhá za vysokých teplot dvěma způsoby:

- 1) Ohřevem na stanovenou teplotu kalení, výdrž na této teplotě, lisování do požadovaného tvaru a následné ochlazení, které je velice rychlé.
- 2) Proveďte se lisování oceli za studena, poté následuje kalení na požadovanou teplotu s určitou výdrží a rychlé ochlazení do vodní nebo olejové lázně.

Takto zpracovaná ocel má pak velmi vysokou pevnost a tvrdost. Tyto vlastnosti však doprovází i křehkost, což není ideální, protože můžou vznikat nežádoucí trhliny. Její

zvláštností je interval meze kluzu 430 – 1770 MPa.

Obsah boru v porovnání s jinými legujícími prvky není vůbec vysoký, avšak má podstatný vliv na prokalitelnost a tím i na výslednou pevnost oceli. Proto i minimální hodnota 0,0005 % je brána jako vysoká. Bor má za úkol potlačovat nukleaci (rozvoj) feritu na hranicích austenitického zrna a zároveň podpořit přeměnu na martenzit.

Rozsah použití je s ohledem na pevnost velmi široký. Nízká tažnost nedovoluje použití v deformačních zónách, protože tam je zapotřebí houževnatých materiálů. Především se výlisky borových ocelí používají pro A a B sloupky, jako výztuhy střechy, dveří, prahů nebo i pro příčnou výztuhu [10].

<i>Vlastnosti</i>	<i>Mez kluzu [MPa]</i>	<i>Mez pevnosti [MPa]</i>	<i>Tažnost [%]</i>	<i>Obsah uhlíku [%]</i>
<b>Maximální hodnoty</b>	1770	>2000	6	0.25

Tab. 11 Vlastnosti borových ocelí



## 4 NÁVRH POSTUPU TESTOVÁNÍ DYNAMICKÉ PEVNOSTI KONKRÉTNÍHO MATERIÁLU

Před provedením testování dynamické pevnosti, je zapotřebí udělat přípravné operace, které zajistí proveditelnost této zkoušky. Je nezbytné zjistit, zda je možné provést zkoušku podle určité normy.

Právě norma ISO 8256 uvádí, že metoda ITT, kterou použijeme pro náš experiment, je aplikovatelná na vzorky připravené z extrudovaných tabulí ocelí s úpravou lisováním. Uvádí se, že tato metoda se používá kvůli nevyhovujícím vlastnostem v porovnání s jinými druhy rázových zkoušek. Jsou to především tyto nevýhody:

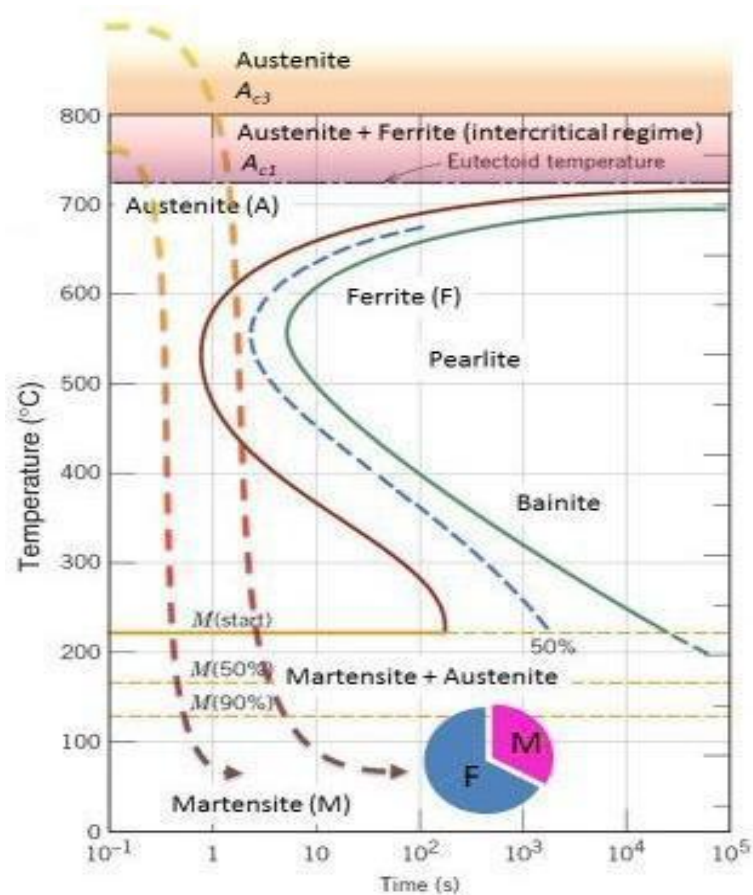
- Materiál vzorku je příliš pružný
- Vzorek je příliš tenký

Spousta dynamických rázových zkoušek se zabývá zkoušením vzorků s předepsaným vrubem. Úkolem je zjistit dynamickou pevnost materiálu bez jakýchkoliv vad ovlivňujících výsledky. Výstupem takovéto zkoušky je energie potřebná pro porušení vzorku.

### 4.1 Volba materiálu

Pro testování byl volen materiál dvoufázové oceli dodaný společností Škoda Auto a. s. Materiál byl ve formě lisovaných a svařených částí (přední podélné nosníky), které byly ve finálním stavu určené pro výrobu karoserie.

Dvoufázové oceli (Dual Phase Steels) jsou oceli s jemnozrnnou feritickou strukturou, kterou doplňuje tvrdá martenzitická fáze. Dvě fáze vznikají řízeným ochlazováním feritické a austenitické fáze z teploty kolem  $A_{c3}$ , kdy se určitá část austenitu přeměňuje na ferit a ta zbylá část v martenzit (Obr. 7). Pevnost oceli je na martenzitu závislá, a proto záleží, jaký bude jeho podíl v celkové struktuře. Vzhledem k požadovanému obsahu martenzitu se můžou vyskytovat zbytky perlitu nebo bainitu. Výsledný procentuální obsah záleží na přesném technologickém zpracování.



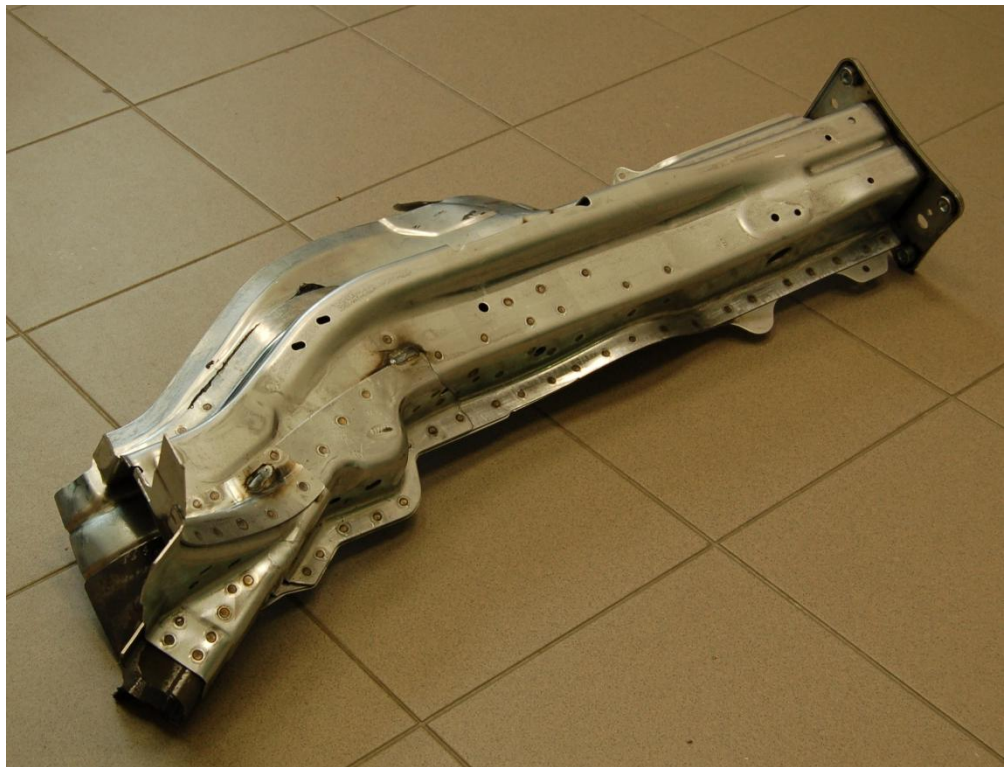
Obr. 7 ARA diagram dvoufázové oceli [11]

Pro dosažení požadovaných mechanických vlastností vyžadují dvoufázové oceli následné technologické zpracování, jež v praxi bývají realizovány dvěma následujícími způsoby. První možností je válcování za studena, kdy oceli získají vysokou odolnost při únavovém namáhání a vyznačují se vysokou schopností energetické absorpce. Druhou možností je válcování oceli za tepla. Po ochlazení získá struktura oceli vysokou pevnost, a proto lze používat plechy s menší tloušťkou při současném snížení hmotnosti. V obou případech se používají jako konstrukční a bezpečnostní části karoserií [12].

Kombinace feritu a martenzitu dává skvělé vlastnosti. Ferit zaručuje houževnatost a tím i dobrou tvařitelnost, martenzit zase tvrdost. Mají také dobrou odolnost proti únavě. Rozdělení jednotlivých fází struktury oceli je 70 % - 90 % feritu a 10 % - 30 % martenzitu. Díky malému obsahu uhlíku řadíme dvoufázové oceli mezi nízkouhlíkové, díky nízkému obsahu uhlíku jsou pak následně dobře svařitelné. Pro zvýšení prokalitelnosti a pevnosti se přidávají prvky manganu, chrómu, vanadu, niklu a molybdenu.

Testovaný materiál byl získán z podélných nosníků, které jsou základem přední

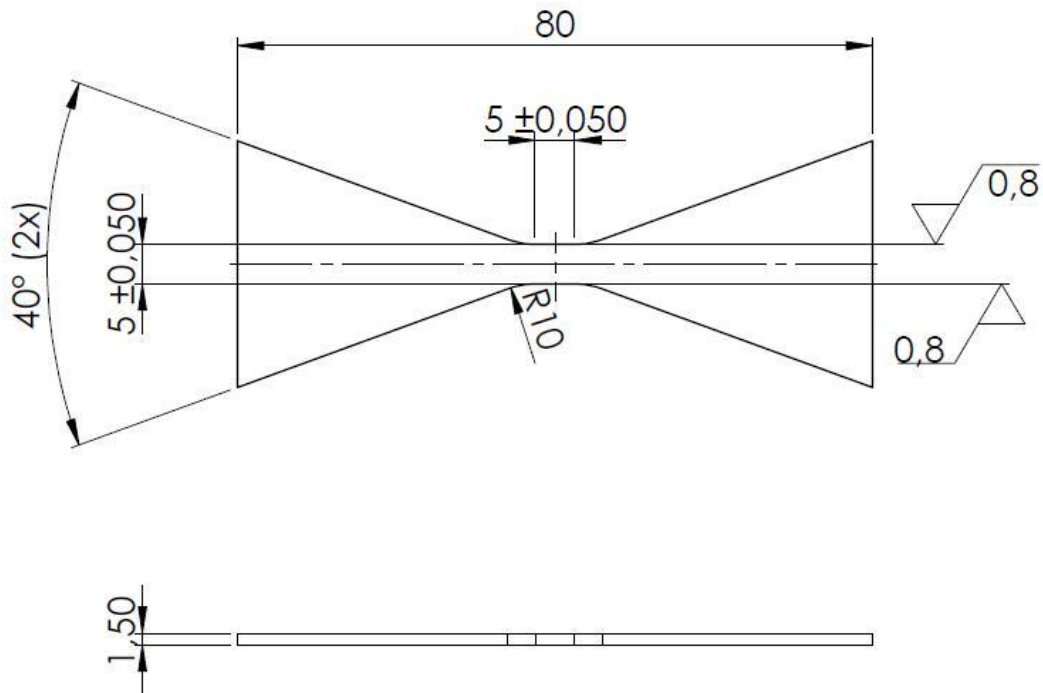
deformační zóny vozidla. Podle rozměrů vzorků byly voleny odřezky s určitým přídavkem pro následné opracování. Protože je celý podélník výrazně profilovaný, bylo nutno pečlivě vybírat, který kus bude z podélníku odejmut. Při zpracování tabulí ocelí, které se provádí lisováním profilů, může dojít k jejímu dalšímu ovlivnění. To ve výsledku znamená, že můžeme mít materiál rozdílný v porovnání s tím, před technologickým zpracováním. Je důležité testovat takový materiál, který se nachází přímo na vozidle po jeho kompletaci. Další obtíž může způsobit značné množství bodových svarů, různých děr, raznic atd. Tyto nehomogenity jsou z hlediska testování nežádoucí. Společnost, která dodala tyto nosníky, je Škoda auto a. s.



Obr. 8 Podélný nosník

## 4.2 Vlastnosti vzorku

Aby bylo možné uskutečnit testování dynamické pevnosti, je nutné vytvořit zkušební vzorky s předepsanými rozměry. Jednotnou úpravou vzorků docílíme možnosti porovnávat jednotlivé data získané při zkouškách. Rozměry testovaných vzorků jsou zobrazeny na Obr. 9.



Obr. 9 Rozměry testovacího vzorku

Daší podmínkou pro exaktní výsledky testů je rovinnost a zachování geometrie testovaných vzorků. Při nedodržení geometrických podmínek dochází ke zkreslení výsledků náhodnou či systematickou chybou. Důležitým rozměrem testovaného vzorku je činná délka krčku  $\pm 5$  mm.

### 4.3 Vyhotovení vzorku

Finální tvar vzorku v podobě „mašličky“ (Obr. 10) byl vyroben pomocí CNC frézky Mikronex FCM 19 CNC. Zde je nutné, aby opracované plochy vzorků (zejména nejužší části) byly pokud možno s velmi malou drsností ( $R_a = 0,8$ ). To záleží na typu použité frézy, posuvech a nastavení celého obráběcího procesu. Rýhy nebo jiné povrchové nedostatky mohou působit jako vrub, což je u zjišťování dynamické nebo i statické pevnosti nežádoucí. Je také důležité, aby vzorky nebyly tepelně ovlivněny. Tím by se změnila jejich vlastnosti (pevnost). Z hlediska testování se budeme zabývat tepelně neovlivněnými i ovlivněnými vzorky. Protože vzorky byly připraveny pomocí jednoho způsobu (strojního) a žádného jiného, můžeme předpokládat, že všechny vzorky budou stejné nebo s minimální odchylkou rozměrů.



Obr. 10 Vyhotovený tvar vzorku

#### 4.4 Vytvoření tepelně ovlivněných oblastí vzorků

Jedním z úkolů bylo zjistit vlastnosti materiálu, který má v úzkém pásmu tepelně ovlivněné oblasti po technologickém zpracování, kterým je nejčastěji bodové svařování. Je třeba zajistit jednoosé namáhání vzorku. Svařování se proto napodobuje na jednodušších vzorcích, jaký je na Obr. 10.



Obr. 11 Metalografický vzorek

Je nutné znát teploty, které vznikají při svařování a to v oblastech v okolí svaru. Tyto oblasti jsou velice úzké, v řádech mikrometrů. Obr. 11 zobrazuje svarovou čočku, kterou ohraničují tepelně ovlivněné oblasti o velikosti  $0,21 \mu\text{m}$ . Při výrobě svarů je výhodné zjistit průměrnou teplotu okolí, ze které se vycházelo při tepelném zpracování. Tato zjištěná teplota

zajistí změnu struktury, která probíhá u reálného svaru. Již dříve byla stanovena průměrná teplota na 707°C [13], těsně pod hranicí eutektoidní teploty  $A_{c1}$ , kterou lze vidět na Obr. 7. Podle níže uvedeného vztahu lze získat přepočtem také hodnotu teploty  $A_{c1}$ .

$$A_{c1} = 721 - 14\% Mn + 22\% Si - 14,4\% Ni + 23,3\% Cr \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Pro vytvoření tepelně ovlivněné oblasti bylo využito odporové svářecí soustavy a zařízení měřící teplotu (např. pyrometr). Také bylo nutno zajistit, aby nastal přestup proudu na testovaný vzorek. Protože oceli mají povrchovou úpravu, tvořené různými vrstvami, museli být tyto vrstvy odstraněny.

Pro řešení úkol je třeba ovlivnit pouze oblast krčku vzorku, bylo nutno zajistit, aby teplo nevstupovalo do okolního prostředí. To bylo realizováno dvěma kusy oceli, mezi kterými byl vzorek sevřen u jednoho konce krčku. Tento sevřený konec tvořil jednu část elektrody a druhou elektrodu tvořil druhý konec vzorku. Po zahřátí na přibližnou teplotu 707 °C bylo vypnuto svářecí zařízení a vzorek se nechal pozvolna ochlazovat vlivem okolní atmosféry. Tímto byla dle ([13]) vytvořena dostačující simulace svařování a tepelného ovlivnění vzorku.

Postupným zahříváním vzorku dochází ke změnám mikrostruktury, což se reálně děje při vytváření bodových svarů. Při vzniku nové mikrostruktury není jasné, jaké fáze bude přesně obsahovat. Není vyloučené, že se v mikrostruktuře budou vyskytovat i jiné fáze, než jsou u dvoufázových ocelí. Reálně se tomuto druhu úpravy říká popouštění, sloužící pro snížení pnutí v materiálu. Při bodovém svařování se tento podobný vliv projevuje nežádoucím snížením pevnosti oceli.

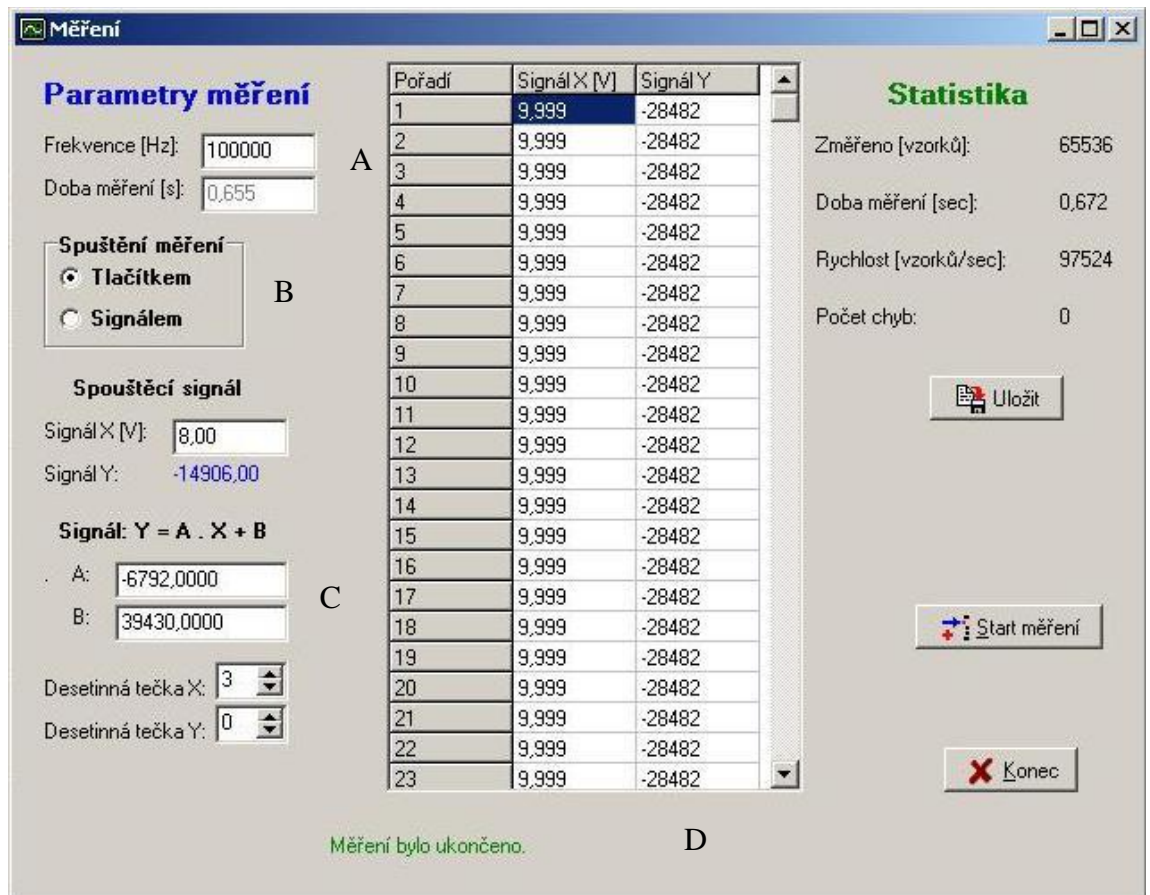
## 4.5 Testovací soustava

Celý experiment zajišťovalo více podsystému pracujících společně. Jedním z nich bylo Charpyho kladivo se speciálně tvarovaným beranem. Součástí byl sofistikovaný upínací systém. Dále bylo nutno použít výpočetní techniku k zaznamenávání a vyhodnocování výsledků, spolu s tenzometrickým snímačem, zesilovačem signálu z tenzometru a převodníkem tohoto signálu.

Princip činnosti a popis jednotlivých částí je uveden v kapitole 2.4. U daného konstrukčního řešení testovacího zařízení je tenzometrický snímač umístěn na tyči připevněné ke kleštině, i když je toto umístění nevýhodné z pohledu přesnosti snímání. V praxi mohou být tenzometry umístěny přímo na testované vzorky. U takových testů je příprava ke zkoušení



časově náročná, pracná a ekonomicky nevýhodná, protože se musí zajistit tenzometr pro každý testovaný vzorek. Pro tyto důvody je tedy výhodné tenzometr umístit na upínací systém. Upínač musí zvládat přenášet stejné zatížení, jako vzorek, dokud nedojde k porušení tohoto vzorku. Zkoušení bude ovlivněno nepřesnostmi, protože nikdy nedocílíme dokonale tuhého uchycení vzorku a proto v každé součásti upínacího systému vznikne elastické prodloužení. Takové prodloužení jsou v našem případě zanedbatelné, protože je nedokážeme zjistit a jsou velice malé. Tenzometry spolupracují s programem zobrazeným níže.



Obr. 12 Měřicí program

- A – frekvence měření
- B – možnost spuštění měření
- C – konstanty tenzometru
- D – zaznamenávané hodnoty

Zkušební stroj i upínací systém spolupracují a podílejí se na celkových nepřesnostech zkoušení. Při uvážení odporů soustavy je třeba přepočítávat výslednou energii, kterou vzorek potřeboval pro porušení. Samotné kyvadlo rotuje kolem čepu, čímž tedy dochází k čepovému

tření. Tento odpor můžeme jednoduše zjistit spuštěním kyvadla z požadované počáteční polohy bez použití zkoušeného vzorku. Hodnoty ztrátové energie jsou v Tab. 12.

$v [ms^{-1}]$	<i>Vstupní energie [J]</i>	<i>Energie po kmitu [J]</i>	<i>Ztráta [J]</i>	<i>Ztráta [%]</i>
5	578,8	550,65	28,15	4,86
4,5	468,8	449,21	19,59	4,18
3,5	283,6	270,66	12,94	4,56
2,5	144,7	139,38	5,32	3,68

Tab. 12 Hodnoty ztrátových energií kladiva [13]

Lineární vedení také způsobuje ztrátu energie, která je obsažena ve výsledcích uvedených v Tab. 12. „Jezdec“ umístěný na této lineární dráze spotřebuje část energie, aby byl uveden do pohybu. Je to další ztrátová energie, kterou musí kyvadlo vynaložit mimo přerušeni vzorku. Při experimentu tyto ztrátové energie způsobí nižší výsledný dokmit kyvadla. Vzhledem ke ztrátovým hodnotám energií celého testovacího zařízení, které se pohybují do 5-ti %, lze usuzovat, že zařízení vyhovuje testování dynamické pevnosti.

## 4.6 Postup měření

Dle požadavku rychlostí smluvní deformace odpovídající crash testování byla stanovena počáteční energie testovacího zařízení na hodnotu 284 J. V první fázi experimentu bylo provedeno dynamické testování vzorků se simulovaným reálným svarem a následně byly testovány vzorky bez tepelného ovlivnění.

Při testované délce  $\pm 5$  mm odpovídá stanovené hodnotě energie obvodová rychlost narážení beranu  $\pm 3,5 \text{ ms}^{-1}$  a tedy deformační rychlost  $700 \text{ s}^{-1}$ . Hodnoty zjištěné testováním byly následně srovnány s výsledky kvazistatické zkoušky.

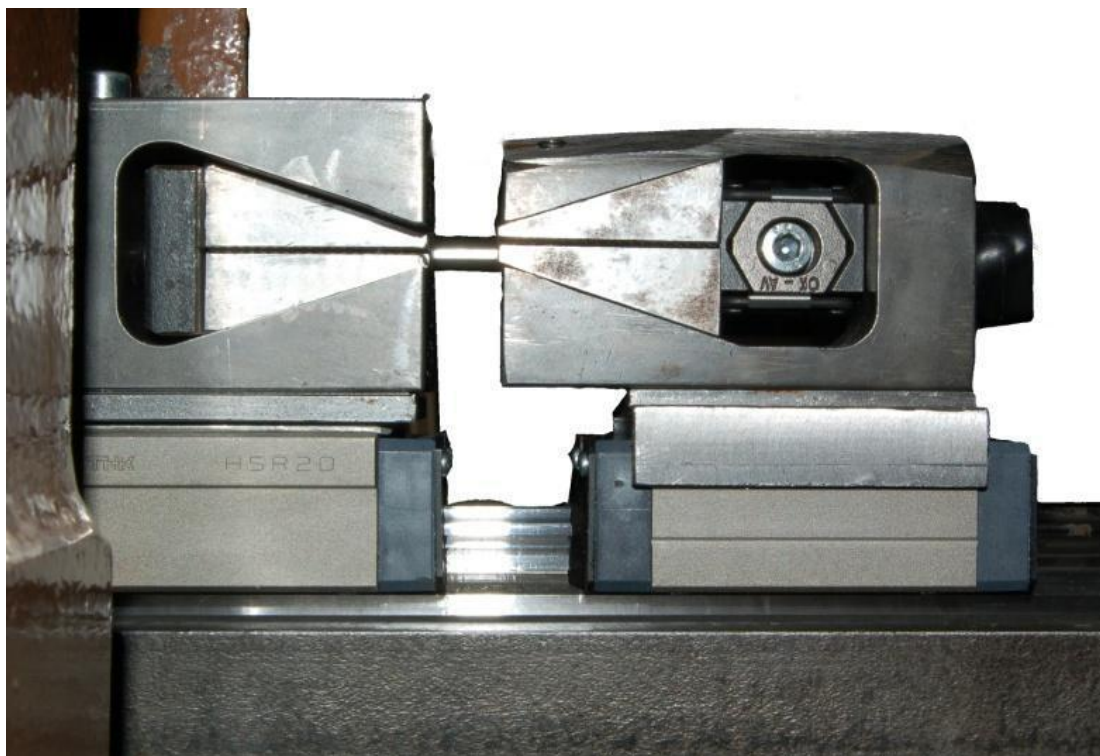
Nastavení kyvadla ulehčuje cejchování na ukazateli zkušebního stroje. V Tab. 13 jsou uvedeny konstrukční parametry a vypočtené hodnoty kyvadla pro dynamické testování při deformačních rychlostech až  $1000 \text{ s}^{-1}$ .



<i>Název parametru</i>	<i>Hodnoty</i>
<b>Délka ramene [m]</b>	0,653
<b>Hmotnost rotujících částí [kg]</b>	46,3
<b>Úhlová rychlost [rad s<sup>-1</sup>]</b>	7,75
<b>Obvodová rychlost [ms<sup>-1</sup>]</b>	5,06
<b>Kinetická energie [J]</b>	593

Tab. 13 Parametry kyvadla [13]

Před provedením samotného testu je nutno ověřit správnost celého měřicího systému, tj. zapojení měřicího řetězce. Následně je provedeno kontrolní měření na zkušebním (nepotřebném) vzorku. Dále je potřeba zjistit pevnost a správnost uchycení vzorku ve svěrném spoji, aby nedošlo k náhlému uvolnění uložení na lineárním vedení stroje. Tenzometr umístěný v těsné blízkosti za druhou kleštinou by měl vykazovat správné hodnoty odporů, které je potřeba otestovat před dynamickými zkouškami. Detail uchycení a uložení vzorku lze vidět na Obr. 13.



Obr. 13 Uchycení a uložení zkušebního vzorku [13]

Posuvnou část upínacího zařízení připevníme přes ocelové lanko k pružince, která zajistí vymezení případných vůlí v systému.

Je nutné provést statickou zkoušku pevnosti materiálu, kterou budeme následně srovnávat s dynamickou pevností. Proto bylo vybráno několik vzorků a byla zjištěna jejich statická mez pevnosti, což lze provést nezávisle na rázové zkoušce.

Přibližný postup testování dynamické pevnosti na zkušebních vzorcích:

- Spuštění výpočetní techniky (vedení měřícího řetězce do pohotovosti)
- Kontrola vzorků a jejich označení
- Upnutí vzorku do kleštin
- Umístění kleštin na lineární vedení zkušebního stroje
- Pevné zajištění jednoho konce kleštiny maticí s jemným stoupáním závitu
- Zajištění druhého konce kleštiny pomocí ocelového lanka a pružiny pro dostatečné vymezení vůlí
- Zapojení konektoru tenzometrického snímače
- Kontrola zapojení všech konektorů a pevného uchycení vzorku
- Určení nulové polohy (místa rázu) přesně do osy
- Ustavení kyvadla do předem stanovené polohy
- Pomocí pojišťovacího kolíku se uvolní kyvadlo, které následně přerazí vzorek
- Zaznamenání a uložení dat do PC
- Opakování celého procesu pro vzorky tepelně neovlivněné i ovlivněné (kromě prvního bodu)
- Zpracování dat

Důležitou součástí zkoušení je nastavení vzorku tak, aby beran kladiva narážel na příčnick kleštiny ve spodní úvrati. V ten moment má kladivo největší pohybovou energii, která je potřebná pro odečtení deformační energie spotřebované vzorkem.

## 5 VLASTNÍ DYNAMICKÉ ZKOUŠKY

Výše uvedená problematika se bude vždy vyskytovat při zkouškách dynamické, ale i statické pevnosti. Zjištěné výsledky jsou ovlivněné všemi operacemi provedenými před zkoušením. To se samozřejmě projeví i na vyhodnocování výsledků, při přepočítávání veličiny jako je síla na napětí.

Problémem bylo zajistit dostatečný počet vzorků se stejnou tloušťkou plechu. Protože se vzorky získávali z vylisovaných profilů, nemohli jsme tak ovlivnit tento problém.

Testování pevnosti tepelně ovlivněných svarů ocelových materiálů není vypovídající, protože ovlivněné pásmo nemá homogenní strukturu. Jednotlivé pásma tak mají jiné vlastnosti a jejich chování při zatěžování je zajisté také rozdílné. Takto ovlivněné okolí bodového svaru dvoufázové oceli pak má nerovnoměrně rozdělenou plasticitu. Při první deformaci materiálu se odlišnosti projeví už v mikroplasticitě. Zde nevíme, která oblast je z hlediska zatěžování nejkritičtější a jaká tedy může být únosnost takového materiálu. Rozdíly v mikrostruktuře podstatně ovlivní získané data dynamické pevnosti.

Proto byl navržen přístup použitím simulovaného tepelného zatížení, kdy cílem bylo vytvořit v laboratorních podmínkách v materiálu potřebné testované délky homogenní struktury odpovídající pásmu kritického poklesu pevnosti dvoufázové oceli vlivem svařování. Dynamické zkoušky takto připravených vzorků umožní studium tendence dynamického zpevnění i okolností plastického kolapsu na mezi pevnosti v podmínkách, odpovídajících testování okolního neovlivněného materiálu. A to jak z hlediska charakteru zatěžování, tak z hlediska podmínek rozvoje deformace v testované délce, které v podstatě určuje deformační rychlost [13].

Více informací o tepelně ovlivněných oblastech lze zjistit zkoumáním mikrostruktury okolí svaru. Tento problém není předmětem této práce. Účelem bylo zjištění chování materiálu pomocí vhodných zkoušek. Zajímá nás ovšem, jaká je přibližná struktura dvoufázové oceli, což můžeme zjistit zkouškami tvrdosti nebo mikrotvrdosti.

## 5.1 Zkouška statické pevnosti

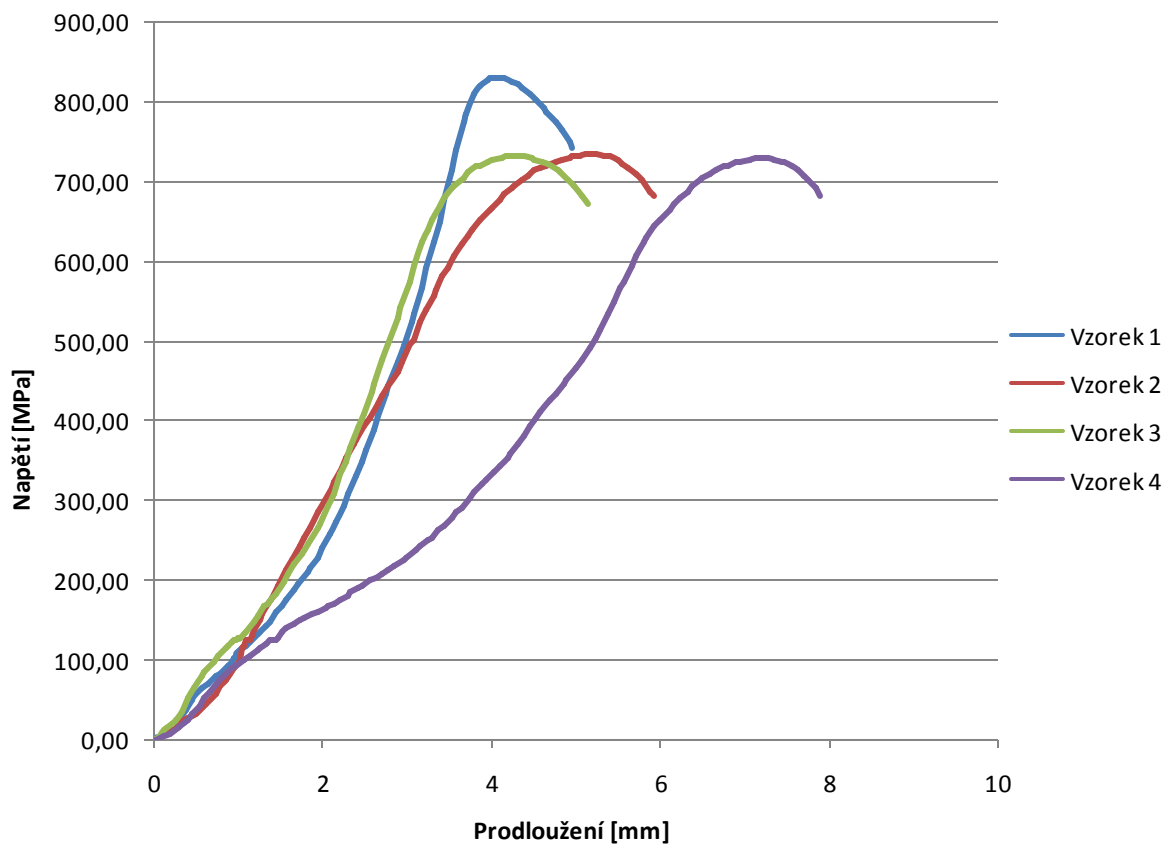
Jako zkušební stroj pro statickou pevnost oceli posloužil trhací stroj ZD 10/90. Rychlost posuvu byla přibližně nastavena na 5 mm/min. Pro porovnání deformačních rychlostí dynamických testů činí deformační rychlost kvazistatického zkoušení  $0,003 \text{ s}^{-1}$  (přepočet je uveden na další straně). Protože dochází k velmi malé změně zatížení v čase, budeme hovořit o kvazistatické pevnosti.

Při statické zkoušce byly registrovány hodnoty síly a dráhy. Pro účel této práce je výhodnější použít závislost napětí a dráhy pro větší vypovídací hodnotu. Výsledný diagram má skutečný průběh napětí, kde napětí bylo přepočítáno pomocí uvedeného vztahu.

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

F – síla zatěžující vzorek [Pa]

S – plocha průřezu vzorku [ $\text{m}^2$ ]



Graf 2 Statická pevnost dvoufázové oceli

Výsledky poslouží jen pro porovnání statické pevnosti s dynamickou. Na první pohled lze vidět, že vzorek 1 má mez pevnosti v řádech desítek MPa vyšší. Vyšší pevnost oceli může být způsobena technologickým zpracováním, např. tepelnou úpravou. Pro porovnání se vzorky 2, 3 a 4 je rozdíl tloušťky 0,3 mm. Vzniká zde chyba testování, která zaniká při přepočtu síly na napětí. Ostatní vzorky se vyznačovaly stejnými rozměry, a proto byly zjištěny i velice podobné výsledky zatěžující síly, meze kluzu a meze pevnosti, jak lze vidět v Tab. 14. Vzorek 4 má pomalejší náběh k vrcholu meze pevnosti, což může být způsobeno uchycením v čelistech zkušebního stroje.

Je třeba podotknout, že vzorky určené pro statickou pevnost nebyly tepelně ovlivněné (bez simulace bodového svaru) a také nebyly bodově svařené s jiným kusem oceli. Bylo potřeba zjistit mez pevnosti pouze základního materiálu, jaký se nachází na automobilech.

<i>Číslo vzorku</i>	<i>Tloušťka</i> <i>[mm]</i>	<i>Zatěžující síla</i> <i>[N]</i>	<i>Mez kluzu</i> <i>[MPa]</i>	<i>Mez pevnosti</i> <i>[MPa]</i>
<b>1</b>	1,8	7630	756	806
<b>2</b>	1,5	5617	658	734
<b>3</b>	1,5	5605	646	733
<b>4</b>	1,5	5577	648	729

Tab. 14 Hodnoty statické zkoušky

Mez kluzu dosahuje relativně vysokých hodnot, což znamená, že materiál má velice dobrou elasticitu. Zaručuje tak tvarovou a rozměrovou stálost i po provozním namáhání. Mez pevnosti se svou hodnotou příliš neliší, což vypovídá o celkově homogenním složení testované oceli.

## **5.2 Testování dynamické pevnosti**

Při testování dynamické pevnosti se v praxi používá smluvní deformační rychlost, která vychází z rychlostí testovacího stroje. Dynamická zkouška proběhla při rychlostech  $3,5 \text{ ms}^{-1}$ . Mluvíme o maximální obvodové rychlosti kyvadla v době (dolní úvratí), kdy naráží na kleštinu s upnutým zkušebním vzorkem. Činná délka krčku zkušebního vzorku je v našem případě 5 mm. Výpočet deformační rychlosti pak udává jednoduchý vztah [17].

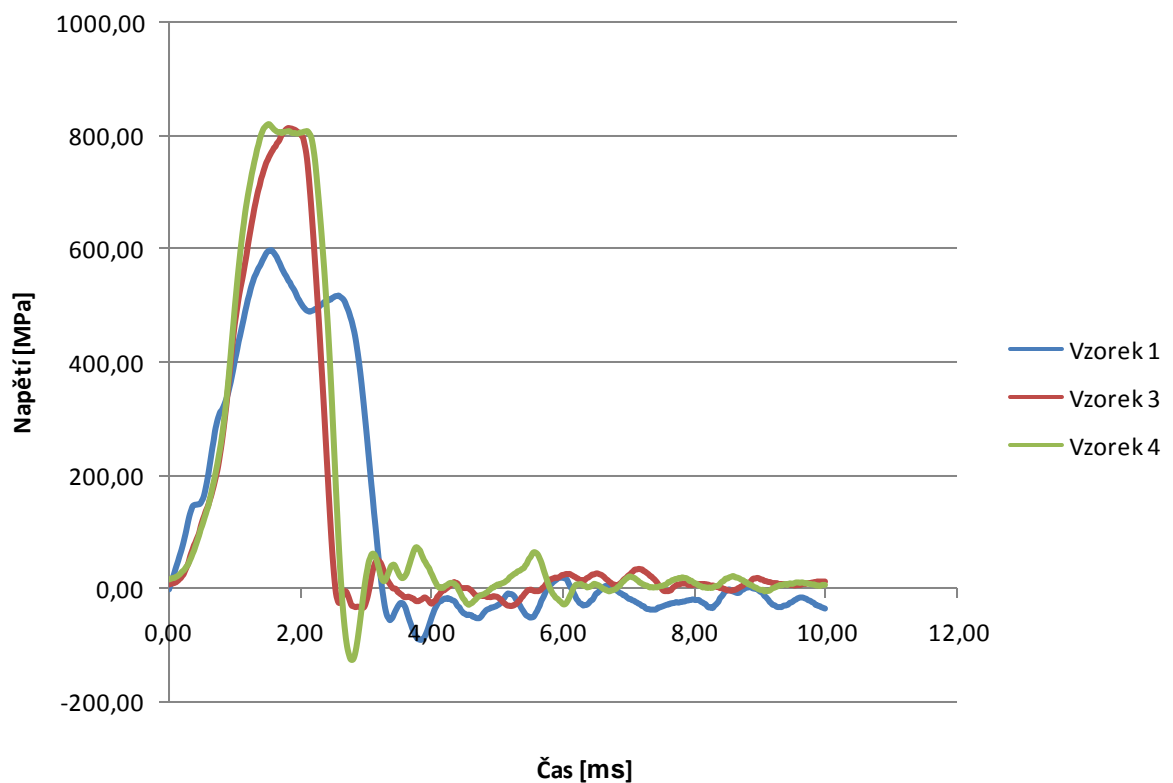
$$v_D = \frac{v_o}{x} = \frac{3500 [mms^{-1}]}{5 [mm]} = 700 s^{-1}$$

Tepelně ovlivněné vzorky byly rozděleny do dvou skupin, z nichž každá odpovídá určité tloušťce zkoušené oceli. Srovnávali se tak vzorky, které se vyznačují téměř stejnými vlastnostmi.

Pro zjištění ideálního průběhu napětí byla zvolena frekvence měření 100 Hz. Ta posloužila k určení časové periody záznamu, kterou lze vypočítat pomocí následujícího vztahu:

$$T = \frac{1}{f} [s]$$

Pod každým grafem je vždy uvedena tabulka s hodnotami dynamické pevnosti a energie, kterou materiál dokázal absorbovat, než nastalo jeho přerušení. Protože v hodnotách energií jsou minimální rozdíly, je výhodnější se zaměřit na grafy se závislostí napětí na čase. Zde jsou patrnější rozdíly pro určení případné chyby v průběhu testování nebo materiálové vady.



Graf 3 Tepelně ovlivněné vzorky (SKUPINA 1)

Graf zobrazuje výsledky tepelně ovlivněných vzorků SKUPINY 1. Ačkoliv vzorky mají teoreticky stejné průřezové vlastnosti (tloušťka přibližně 1,7 mm), vzorek 1 se viditelně odlišuje svým průběhem. Určit příčinu, která vede k viditelně nechtěnému výsledku, je složitější. Možným vysvětlením je vada v mikrostruktúře oceli v podobě vměstků.

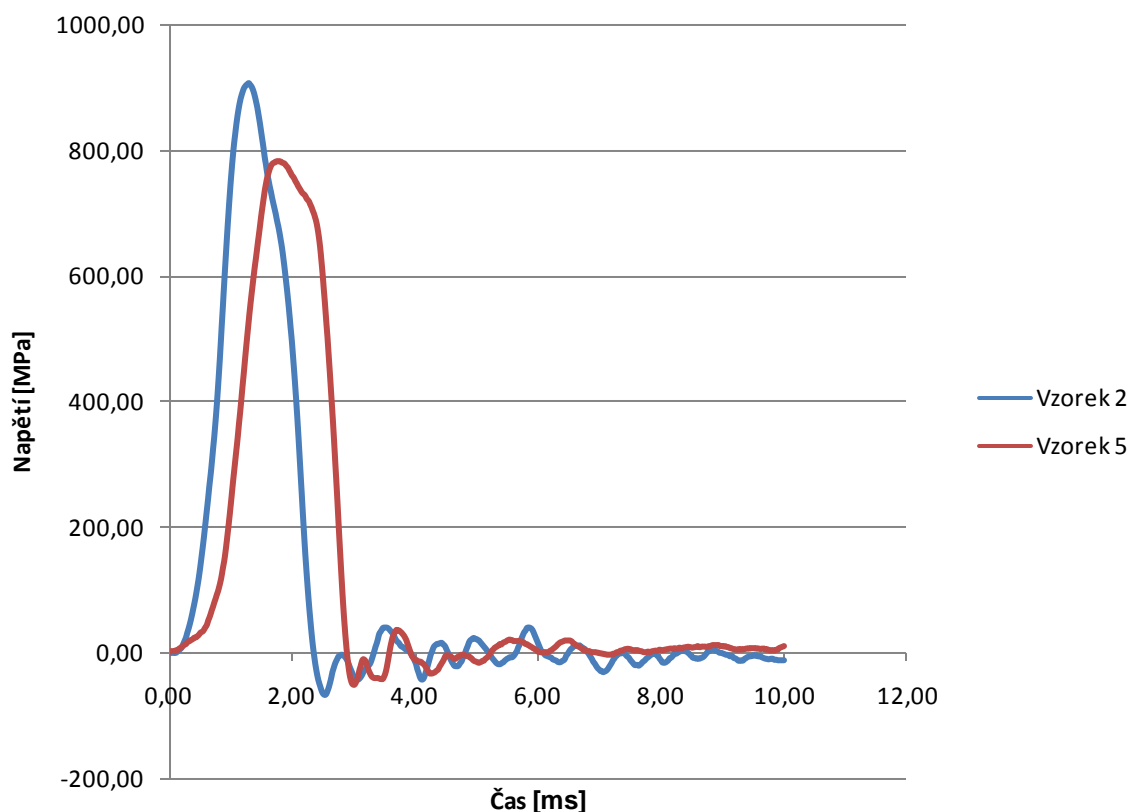
Testované vzorky 3 a 4 se vyznačovaly dynamickou pevností vyšší než 800 MPa. V porovnání se statickou pevností ocelových vzorků o stejných rozměrech (vzorek 1) je nepatrně větší v řádech jednotek MPa.

Nastává jev, kdy ocel s rostoucí rychlostí deformace zvyšuje svou pevnost. Tento jev se nazývá zpevňování a je pro tyto typy ocelí typický. V oblasti odpevněného pásma tepelně ovlivněné oblasti je však tento jev nevýrazný. Porovnání výsledků statické a dynamické pevnosti není přesvědčivé pro viditelný jev zpevňování. Problémem takto malého zpevňování oceli je tepelně ovlivnění těchto vzorků. V našem případě si zachovávají jev zpevňování, ovšem výsledná pevnost může být i mnohem menší než statická. V reálném provozu vozidla bude odpevnění v okolí svarů značně omezující, hlavně při nárazu vozidla na překážku. Konstrukce nedokáže pojmout tolik energie a zhroutí se.

<i><b>Číslo vzorku</b></i>	<i><b>Tloušťka [mm]</b></i>	<i><b>Pevnost [MPa]</b></i>	<i><b>Energie do lomu [J]</b></i>
<b>1</b>	1,8	598	204
<b>3</b>	1,8	813	204
<b>4</b>	1,8	820	204,5

Tab. 15 Hodnoty dynamické zkoušky

Vlivem svařování dochází k odpevnění materiálu a tedy k poklesu statické i dynamické pevnosti. Tento fakt nám blíže pomohou určit zkoušky tvrdosti vzorků.



Graf 4 Tepelně ovlivněné vzorky (SKUPINA 2)

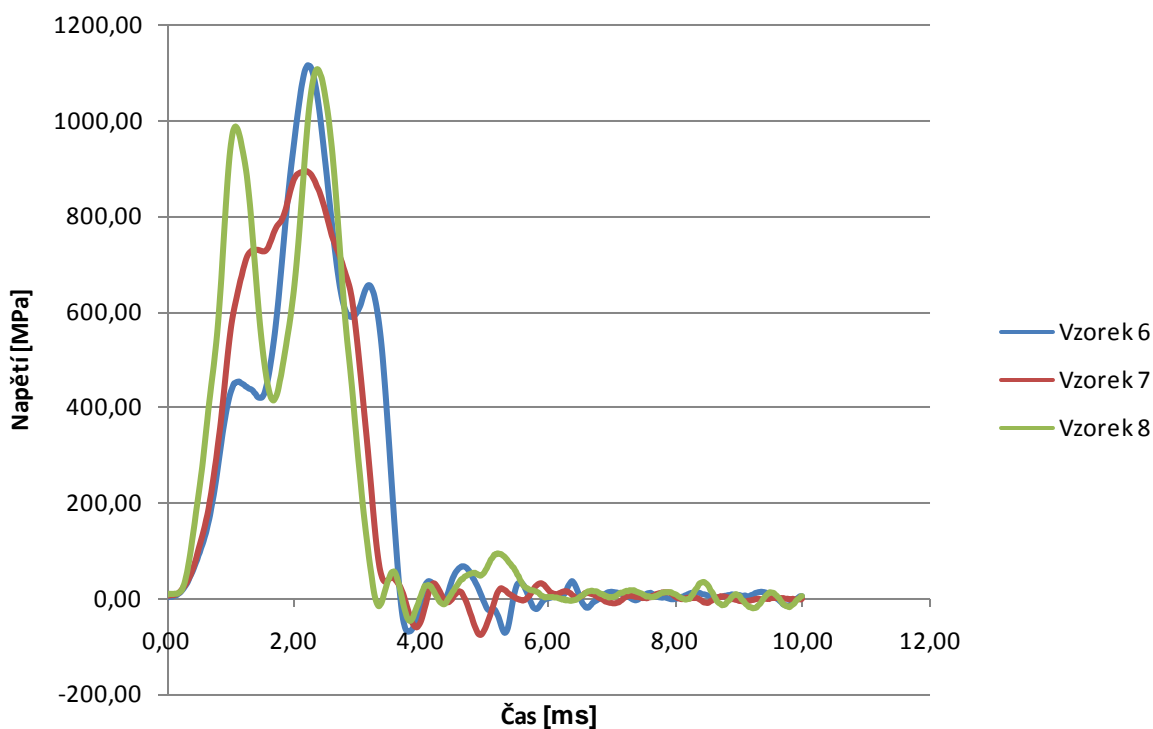
<i>Číslo vzorku</i>	<i>Tloušťka [mm]</i>	<i>Pevnost [MPa]</i>	<i>Energie do lomu [J]</i>
<b>2</b>	2,0	909	204
<b>5</b>	2,0	783	204

Tab. 16 Hodnoty dynamické zkoušky

Druhá skupina vzorků se v porovnání se SKUPINOU 1 vyznačuje ideálním průběhem křivky. Lze usuzovat, že průběh křivky vzorku 2 se chová reálně oproti vzorkům 1, 3 a 4. Vzorky po tepelném ovlivnění se však mohou vyznačovat značnou strukturní nehomogenitou. To se projeví na výsledné pevnosti a průběhu zatížení oceli, což je i případ průběhu křivky vzorku 5.

Vzorek 2 je důkazem, že tato vysokopevnostní ocel si dokáže zachovat určitou dynamickou pevnost i po tepelném ovlivnění.





Graf 5 Tepelně neovlivněné vzorky

<i>Číslo vzorku</i>	<i>Tloušťka [mm]</i>	<i>Pevnost [MPa]</i>	<i>Energie do lomu [J]</i>
<b>6</b>	2,0	1111	206
<b>7</b>	2,0	895	206
<b>8</b>	1,5	1105	205

Tab. 17 Hodnoty dynamické zkoušky

Graf 5 zobrazuje výsledky vzorků bez simulovaného tepelného ovlivnění. Výsledky zaznamenané u vzorků 6 a 8 mají srovnatelné hodnoty. Ačkoliv byla tloušťka plechu vzorku 8 o 0,3 mm menší v porovnání se vzorky 6 a 7, dosáhla pevnost stejného výsledku, jako u vzorku 6.

Zaznamenaný průběh napětí na čase způsobilo chybné uchycení vzorku do kleštín. Zdá se, že spoj držel vzorek pouze svěrnou silou čelistí. Během nárazu kyvadla pak dosedly šikmé plochy vzorku do přesně vyfrézované části kleštiny, proto nastal takový opětovný nárůst napětí. Vliv upnutí se projevil i u vzorku 6, což zapříčinilo pokles zjišťované pevnosti materiálu.

Vzorek 7 jeví také známky nedokonalého uchycení, ovšem větším problémem je jeho zaznamenaná pevnost. Nedosahuje takových hodnot, jako ostatní vzorky. Příčinou je mikrostrukturní vada materiálu, kdy se při technologickém zpracování vytváří vodíkové kapsy. Taková kapsa působí podobně jako vrub, tím se pak zeslabuje celkový průřez vzorku a tím následně dochází k náhlému porušení.

Porovnáním výsledků statické pevnosti a dynamické pevnosti tepelně neovlivněných vzorků zjistíme, že ocel zpevňuje až téměř 300 MPa.

Porovnáním energií spotřebovaných do lomu pro tepelně ovlivněné a tepelně neovlivněné vzorky, zjistíme, že vzorky bez tepelného ovlivnění pojmu více energie. Dynamické pevnosti ocelí jsou na tom velice podobně. Předpoklad, že vzorky s tepelným ovlivněním budou mít menší pevnost při současném zvýšení tažnosti, zde neplatí. Materiál dvoufázové oceli bez jakéhokoliv technologického zpracování prokázal lepší mechanické vlastnosti, protože jeho mikrostruktura nebude nijak mechanicky nebo tepelně ovlivněna.

### 5.3 Zkouška tvrdosti

Doplněním celého testování jsou zkoušky tvrdosti. Získané výsledky pomůžou přiblížit chování nebo vlastnosti materiálu s tepelným ovlivněním a bez ovlivnění. Tvrdost dvoufázové oceli byla zjišťována za pomoci tvrdoměru INNOVATEST 4300. V daném případě se jedná o mikrotvrdost měřenou pomocí indentoru HV30. Použilo se tedy zkoušky podle Vickerse.

<i>Číslo vzorku</i>	<i>Tvrdost [HV30]</i>
<b>1</b>	227,4
<b>2</b>	188,5
<b>3</b>	199,8
<b>4</b>	197,9

Tab. 18 Tvrdosti tepelně neovlivněných vzorků

Tepelně neovlivněné vzorky 2, 3 a 4 mají srovnatelné hodnoty tvrdostí s malou odchylkou. Vzorek 1 už se liší o více než 20 HV. To poukazuje na materiálovou heterogenitu v celém objemu. Takový problém nelze při testování tvrdosti a dynamické pevnosti ovlivnit. Vysvětlením je nehomogenní uspořádání mikrostruktury při zpracování nebo nevhodné

technologické zpracování materiálu při jeho výrobě.

Konečnou tvrdost ocelového plechu může do jisté míry ovlivňovat povrchová úprava. Použitím indentoru s malými rozměry by byla zjištěna tvrdost pouze ochranné vrstvy oceli a nenastalo by přímo zkoušení struktury oceli. Ochrannou vrstvu tvoří různé prvky, sloučeniny, které se vyznačují rozdílnou tvrdostí. Proto je dobré použít jako indentor jehlan, který dokáže proniknout přes zmiňovanou povrchovou vrstvu. To může být jedním z problémů rozptylu hodnot zjištěných pevností. Rozptyl mezi tvrdostmi jednotlivých vzorků může být  $\pm 20$  HV.

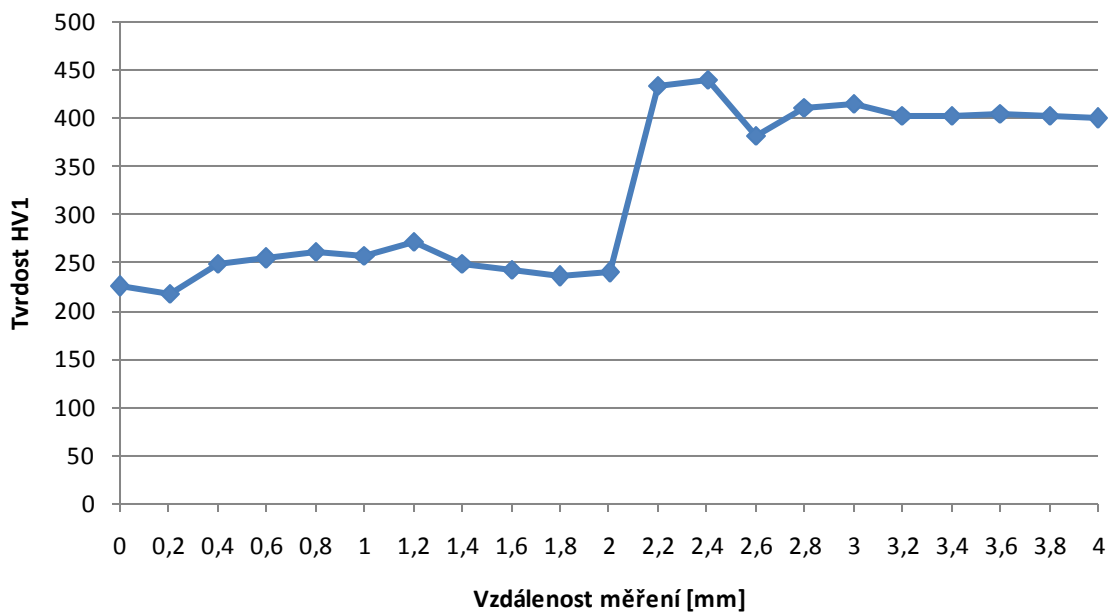
Pro srovnání je výhodné uvést také tvrdosti vybraných vzorků s tepelným ovlivněním. Protože se u tohoto souboru ocelí provádělo tepelné ovlivnění, tak je třeba uvažovat správný průběh tohoto zpracování.

<i>Číslo vzorku</i>	<i>Tvrdost [HV30]</i>
<b>2</b>	371,7
<b>3</b>	334,8
<b>4</b>	348,1
<b>5</b>	386,9

Tab. 19 Tvrdosti tepelně ovlivněných vzorků

Dvoufázová ocel je tvořena maximálně 30% martenzitu a zbytek obsahu doplňuje ferit. Právě martenzit způsobuje vysokou pevnost oceli. Při zkoušení tvrdosti je pak možné, že se indentor vtiskne do části mikrostruktury s martenzitem, čímž by byly obdrženy výsledky s odchylkou větší než 20 HV.

Předpokladem je, že vlivem teploty a pozvolným ochlazováním se bude martenzit měnit v jinou mikrostrukturu (např. perlitickou, bainitickou, aj.). Tím by mělo dojít k odpevnění oceli v tepelně ovlivněné oblasti. Porovnáním výsledků tvrdosti před tepelným zpracováním a po něm je patrné, že ocel v blízkém okolí simulovaného svaru zvýšila svou tvrdost. Na základě tohoto zjištění lze usuzovat, že ocel měla vyšší pevnost. Nastala situace, kdy ochlazování vzorků nebylo postupné, ale spíše náhlé. Vzorky se po simulaci svaru ochlazovaly z teploty blízké  $A_{c1}$  na vzduchu příliš rychle, takže se mikrostruktura nezvládla změnit a její pevnost se tak důsledkem zakalené martenzitické struktury zvýšila.



Graf 6 Zkouška mikrotvrdości bodového svaru

Měření tvrdości se provádělo z důvodu ověření předchozích výsledků mikrotvrdości. Testovaným vzorkem byl reálný bodový svar, na kterém indentor zanechal celkem 21 stop přes tepelně neovlivněnou i tepelně ovlivněnou oblast svaru. Výsledky mikrotvrdości byly zjištěny pomocí poloautomatického zařízení ZWICK/ROELL Z 2.5 s indentorem HV1.

Výsledkem je potvrzení skutečnosti, že materiál po tepelném zpracování opravdu zpevňuje. To lze vidět v grafu výrazným zvýšením tvrdości, která se pohybuje na hladině okolo 400 HV.

## 6 FINÁLNÍ VYHODNOCENÍ TENDENCE ZMĚNY PEVNOSTI SE ZATÍŽENÍM

Problémem testování byla tloušťka plechu, kterou při experimentu neovlivníme. Vzhledem k tomu, že jsme použili ocel přímo ze zpracovaného materiálu s konečnou úpravou, dokážeme ovlivnit tloušťku plechu při výrobě vzorků. Technologickým zpracováním získá plech rozdílné tloušťky v každém z tvářených míst. Frézování plechu na určité rozměry řeší rozptyl v tloušťkách. Chybu rozptylu tlouštěk lze eliminovat přepočtem síly na napětí. Výsledky testů dále ovlivňuje heterogenita a to materiálová i svarová.

Testování proběhlo za podmínek jednoosého tahového namáhání. Zkušebním zařízením bylo modifikované Charpyho kladivo odpovídající metodice zkoušek ITT (rázová zkouška tahem). Počáteční testovací hodnoty byly zvoleny tak, aby se podobaly reálnému deformačnímu procesu. Simulovala se deformační rychlost, která se reálně pohybuje v okolí  $700 \text{ s}^{-1}$ .

Dvoufázová ocel během testovacího procesu skutečně prokázala zpevnění v oblasti testované deformační rychlosti. Dynamická pevnost tepelně ovlivněných vzorků vykazuje zvýšení pevnosti přibližně o 13 % ve srovnání s kvazistatickou pevností. Vzorky skupiny 2 se vyznačovaly mnohem výraznějším zpevněním. Protože nebyly tepelně ovlivněné, dosahoval rozdíl dynamické a kvazistatické pevnosti přes 30 %. Výsledky energií tak nedosahují rozdílných hodnot, ale lze usuzovat, že tepelně neovlivněné vzorky dokážou absorbovat více energie.

Materiál si zachovává tendenci změny pevnosti i po tepelném ovlivnění. Tím si stále udržuje svou únosnost a bezpečnost při vysokém namáhání. Protože se stále zvyšují provozní rychlosti silničních vozidel, budou se zvyšovat i požadavky na materiály. Dalším trendem bude zvyšování pevnosti deformační zóny se současným zvyšováním deformačních rychlostí.

Zkouškami tvrdosti bylo potvrzeno, že simulované svary mají vliv na výslednou pevnost svařovaných vysokopevnostních ocelí. Vzorky se simulací tepelného ovlivnění byly porovnány s reálným svarem. Tepelně ovlivněná oblast u simulovaných vzorků se vyznačuje vysokou tvrdostí stejně jako samotná reálná svarová čočka. Byl vyvrácen předpoklad, že v okolí svaru dochází k odpevnění materiálu.

Ze zkoušek mikrotvrdosti vyplývá, že simulované svary a tím i reálné svary nesnižují bezpečnost deformačních zón podélných nosníků. Svary zvyšují celkovou bezpečnost při

nárazu vozidla. Znamená to, že bezpečnost z velké části obstarává základní neovlivněný materiál. Svary ovšem mohou být problémem. Při reálném nárazu vozidla nedokážeme zajistit experimentální podmínky zatěžování oceli. Namáhání nemusí být jednoosé, jako při zkouškách a zatížený bodový svar bude namáhán ohybem, takže může dojít ke zhroucení konstrukce v oblasti již při nízkých hodnotách.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Bezpečnost automobilů: Nárazové zkoušky zblízka. In: *DTest* [online]. 2015 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-4070/bezpecnost-automobilu-narazove-zkousky-zblizka>
- [2] MOSS, Darren. *Tesla, BMW, Skoda and Nissan score big in Euro NCAP tests* [online]. Haymarket Media Group, 2014 [cit. 2015]. Dostupné také z: <http://www.autocar.co.uk/car-news/industry/tesla-bmw-skoda-and-nissan-score-big-euro-ncap-tests>
- [3] vlad. 2011. *Dynamické zkoušky*. Zlín. Učební text. UTB ve Zlíně.
- [4] MAREČEK, Jiří. 2011. *Energetické porovnání dynamického a statického porušení materiálu*. Brno. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Burša, PhD.
- [5] Schlagbiegeversuch. In: *Schlagbiegeversuch* [online]. 2014 [cit. 2015-03-11]. Dostupné z: <http://wiki.polymerservice-merseburg.de/index.php/Schlagbiegeversuch>
- [6] Rázová zkouška tahem. *Zwick/Roell* [online]. Ulm, 2015 [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.zwick.cz/cs/oblasti-pouziti/plasty/folie/razova-zkouska-tahem.html>
- [7] ABUŠINOV, Alexandr. 2010. *Konstrukce*. Ostrava: Konstrukce media. ISSN 1803-8433.
- [8] Automobile revue. *Automobile revue* [online]. 2013 [cit. 2015-03-11]. Dostupné z: [http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/audi-a3-sportback-stoji-za-pozornost\\_42040.html](http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/audi-a3-sportback-stoji-za-pozornost_42040.html)
- [9] Europe Product Catalogue. *ArcelorMittal* [online]. 2015 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://corporate.arcelormittal.com/>
- [10] GIRMAN, Vladimír. 2012. Kovové materiály automobilových konstrukcí. In: *Materials engineer* [online]. [cit. 2015-05-15]. ISSN 1337-8953. Dostupné z: [http://www.materialing.com/materialy\\_auto\\_konstrukcii](http://www.materialing.com/materialy_auto_konstrukcii)
- [11] Dual Phase Steels. 2011. *Dierk Raabe* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.dierk-raabe.com/dual-phase-steels/>
- [12] WOJCIK, Rudolf. 2011. *Porovnání ocelí a technologií při výrobě automobilové karoserie*. Brno. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=40077](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40077). Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce ING. Ivo Dohnal.
- [13] KONEČNÝ, Michal. *Dynamická pevnost svarů martenzitických ocelí bezpečnostních prvků automobilů*. Pardubice, 2015. Disertační práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce prof. Ing. Eva Schmidová, PhD.

- [14] PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2003, 516 s. ISBN 80-720-4283-1.
- [15] BREPTA, Rudolf. Šíření napětových vln a rázy v tělesech. Praha: Československá akademie věd, 1972.
- [16] MEYERS, Marc A. Dynamic Behavior of Materials. New York: John Wiley, 1994, 668 s. ISBN 04-715-8262-X.
- [17] SCHINDLER, CSC., prof. Ing. Ivo a Ing. Petr KAWULOK, PHD. 2013. *Deformační chování materiálů*. Ostrava. Učební text. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [18] GANZ, Andrew. *LeftLane* [online]. MNM Media, 2012 [cit. 2015]. Dostupné také z: <http://www.leftlanenews.com/ihs-new-more-stringent-crash-test-8-of-11-luxury-cars-perform-poorly.html>

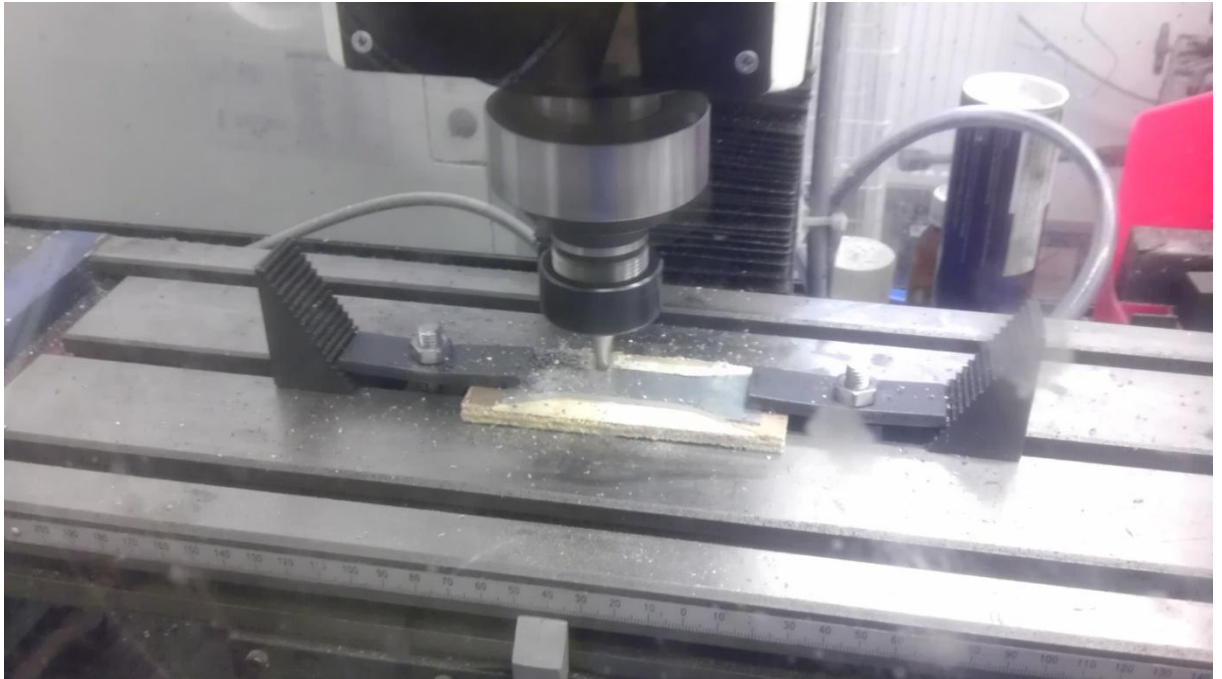


## SEZNAM PŘÍLOH

Obrázek 1 Výroba vzorku.....	46
Obrázek 2 Jednotlivé díly tvořící kleštiny a vzorek.....	46

# PŘÍLOHY

## Příloha č. 1



Obrázek 1 Výroba vzorku

## Příloha č. 2



Obrázek 2 Jednotlivé díly tvořící kleštiny a vzorek