

# Stroj pro sledování citlivosti na rychlost deformace

Bc. Tomáš Pačák

Vedoucí práce: Ing. František Tatíček

## **Abstrakt**

*Předmětem této práce je popis návrhu a realizace zkušebního zařízení, díky kterému bude možno sledovat vliv rychlosti deformace na tvařitelnost plechů. Úvodní část se zabývá stávající problematikou v oblasti plošného tváření a faktorů ovlivňující proces tváření. Ve zbývajících částech této práce je popsána stávající realizace stroje pro sledování citlivosti na rychlost deformace.*

## **Klíčová slova**

*Tvařitelnost, plošné tváření, rychlost deformace*

## **1. Úvod**

V každé oblasti lidského poznání je snahou člověka o co možná nejdokonalejší popsání problematiky a faktorů tuto problematiku ovlivňujících. Stejným způsobem je snaha řešit i problematiku při výrobě výlisků. Analýzy ověřující mechanické vlastnosti materiálu nejsou v současné době dostačující, je tendence hledat další parametry umožňující zvýšení stability výrobního procesu. V automobilovém průmyslu je krom hodnot meze kluzu, meze pevnosti, různých druhů tažnosti, exponentu deformačního zpevnění, parametrů anizotropie požadované sledování i povrchové drsnosti, počty výstupků nerovností na definované vzdálenosti, ale i morfologii povrchu, mikrostrukturu a chemické složení. Přesto tyto všechny parametry neumožňují nastavit výrobní proces tak, aby byl za všech okolností stabilní.

Na základě praktických zkušeností se jeví jako nutnost popsat i další parametry, mezi které již dnes patří citlivost materiálu na rychlost deformace. Tento parametr byl dříve zanedbáván. Jak ukazují některé výzkumy v této oblasti, jedná se o parametr, který může přinést další pokrok ve stabilitě výrobního procesu. Poslední dobou se problematice citlivosti na rychlost deformace věnuje větší a větší množství vědeckých týmů. Jedním z příkladů významnosti parametru citlivosti na rychlost deformace je vytvoření materiálového modelu Corus Vegter, který je používán v numerických simulacích, mezi které patří PAM-STAMP nebo PAM-CRASH. Tento materiálový model popisuje křivky zpevnění při různých rychlostech deformace.

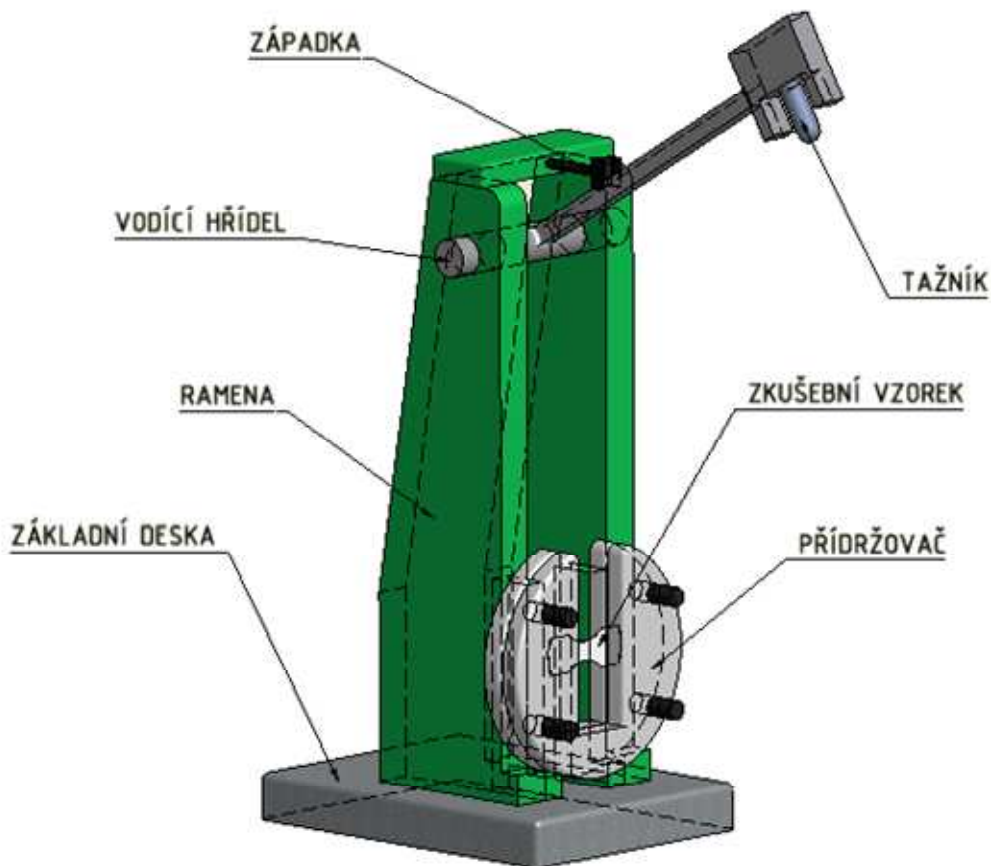
Citlivost materiálu na rychlost deformace je definována jako velikost deformace za jednotku času. Jedním z běžných zařízení, které umožňuje citlivost materiálu na rychlost deformace sledovat, je zkouška tahem. Rychlost deformace je možné měnit pomocí změny rychlosti posuvu příčnicku. Avšak napětí a deformace vyvozované ve zkoušeném vzorku neodpovídá napětí a deformaci při běžné tvorbě výlisku. Proto je cílem mé práce hledání způsobu deformace výlisku umožňující právě sledovat tuto citlivost při podmínkách tvorby výlisku. Takové zařízení je popsáno níže.

## 2. Návrh vhodného zařízení

Výrobci dnešních experimentálních strojů běžně umožňují navrhovat stroje na přání zákazníka. Jednou z možných cest by bylo si nechat takové zařízení vyrobit. Avšak dle požadovaných vlastností lze předpokládat, že by náklady na výrobu zařízení byly neúměrně vysoké. Proto jsme přistoupili k vlastnímu návrhu zkušebního zařízení. Pro uvažované koncepční řešení stroje pro sledování tvařitelnosti je možné využít principu padostroje nebo bucharu. Při návrhu bylo nutné analyzovat výhody a nevýhody, které byly konzultovány s řadou odborníků.

Prvním uvažovaným návrhem bylo zařízení s translačním pohybem. Základním nástrojem tohoto zařízení je polokulový nástroj zajišťující funkci tažníku, který vykonává přímočarý pohyb ve směru ke zkoušenému vzorku upnutému v přídržovači. Výhodou této varianty jsou menší rozměry a jednoduchost konstrukce, nevýhodou je způsob vyvození pohybu a změna rychlosti deformace během tvářecího procesu.

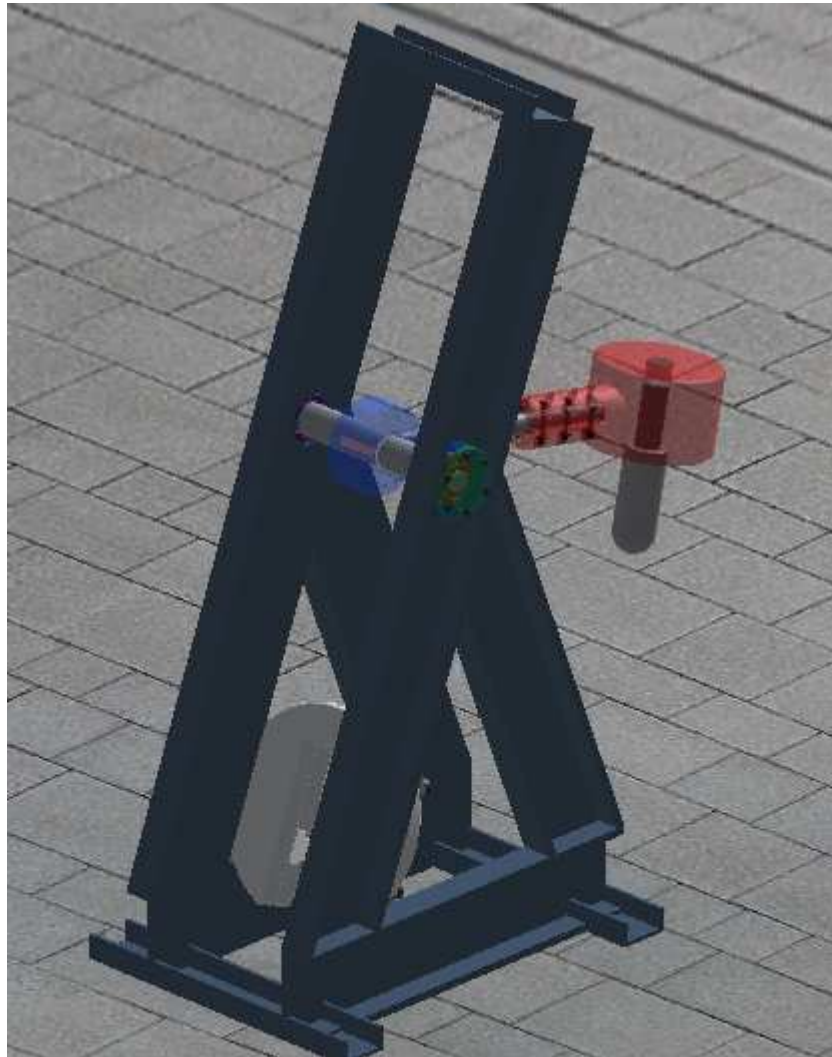
Pro druhou variantu z navrhovaných zařízení byla použita koncepce modifikovaného Charpyho kladiva, které se používá pro zkoušku rázem v ohybu. Na obr. 1 je zobrazen prvotní návrh tohoto modifikovaného zařízení. Místo kladiva pro přerážení vzorku je umístěna hlava s lisovacím nástrojem ve tvaru polokoule. Hlavní výhodou této varianty je možnost využití gravitace a tíhy kyvadla jako zdroj energie pro pohyb nástroje. K vytvoření pohybu nástroje není zapotřebí pohonu, jako u varianty s translačním pohybem. Tato varianta je mnohem jednodušší na realizaci a byla vybrána pro budoucí realizaci. Uvažované zařízení bude také jednoduché osadit vyhodnocovacím zařízením pro popis vlastního děje.



*Obr. 1. Prvotní návrh zařízení pro sledování citlivosti na rychlost deformace. [1]*

### 3. Popis stroje pro sledování citlivosti na rychlost deformace

V následujícím textu jsou podrobněji popsány stěžejní části stroje pro sledování citlivosti na rychlost deformace a související okruhy problematik, kterými bylo nutné se při návrhu zabývat. Předpokládaná výsledná podoba tohoto stroje je zobrazena na modelu (obr. 2).

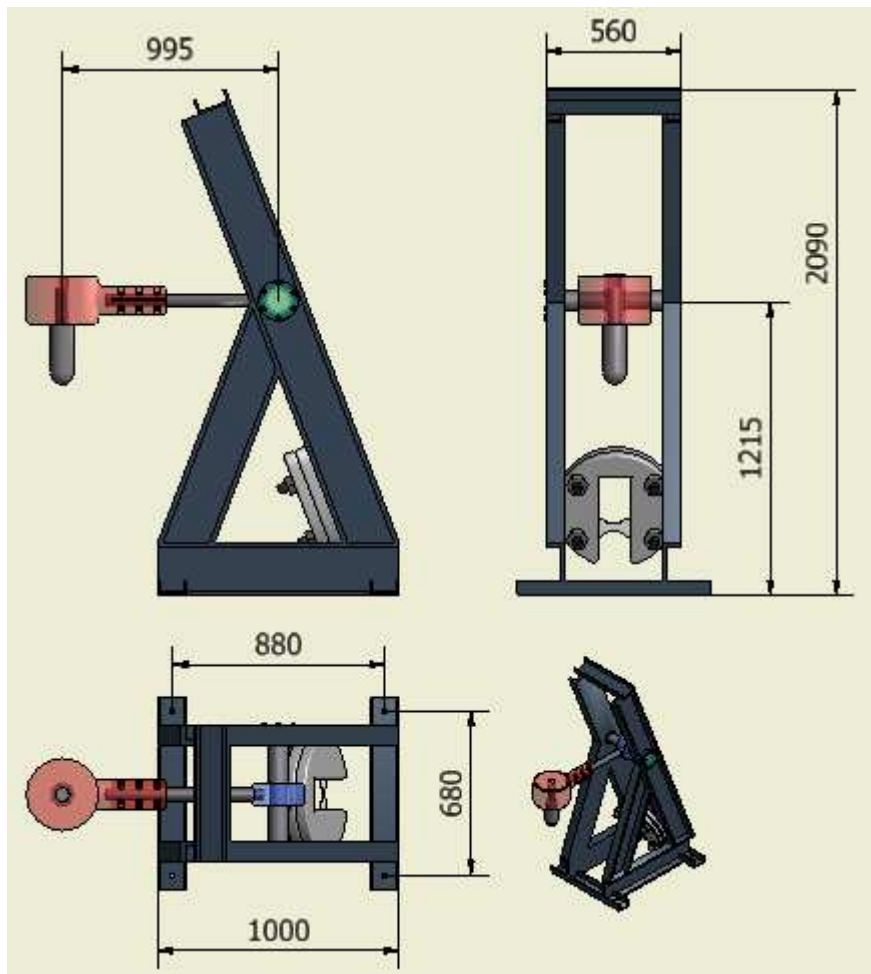


*Obr. 2. Výsledná podoba stroje pro sledování citlivosti na rychlost deformace.*

#### 3.1 Konstrukce zařízení

Zařízení (obr. 3) je sestaveno z mohutných vodících ráků, otáčející se hřídele s ramenem a hlavou, ve které je upevněný tažník, dále pak sestavy lisovacího nástroje s přidržovačem a snímacích systémů. Vodící ráky tvoří hlavní kostru zařízení a jedná se o svařované profily ve tvaru U. Konstrukce zařízení je řešena tak, aby při deformaci zkušební vzorku nebyla překročena rychlost zvuku v kovech. Dělená hlava umístěná na otáčejícím se rameni zajišťuje hlavní zdroj rychlosti pohybu nástroje a velikosti energie potřebné pro vyvození požadované rychlosti deformace. V dělené hlavě je upnutý výměnný nástroj.

Pro prvotní zkoušky se předpokládá polokulový tažník o průměru 50 mm. Zařízení je však koncepčně řešeno tak, že je možné na rameno instalovat jakékoliv reálné lisovací nástroje, u kterých bude možné na základě zákona podobnosti simulovat různé stavy deformace.



*Obr. 3. Základní rozměry konstrukce stroje.*

### 3.2 Snímací systémy

Snímací systémy zastupují hlavní vyhodnocovací prvky zařízení a slouží k popisu průběhu prováděné zkoušky. Na zkušebním stroji jsou použity snímací systémy pro měření polohy ramene (měření úhlu) a dále snímač pro měření vyvozené síly. Úhlový snímač má za úkol sledovat přesnou úhlovou změnu otáčející se hřídele s upnutým tažníkem. Snímač je umístěn na otáčejícím se hřídeli, jeho poloha je vztahována vůči rámu stroje. Silový snímač analyzuje velikost působících sil v průběhu experimentu. Snímač pracuje na principu analýzy ohybového napětí. Pro jeho kalibraci jsme využili kalibrační snímač. Snímací systémy jsou zajištěny ve spolupráci s firmou Kistler, s.r.o.

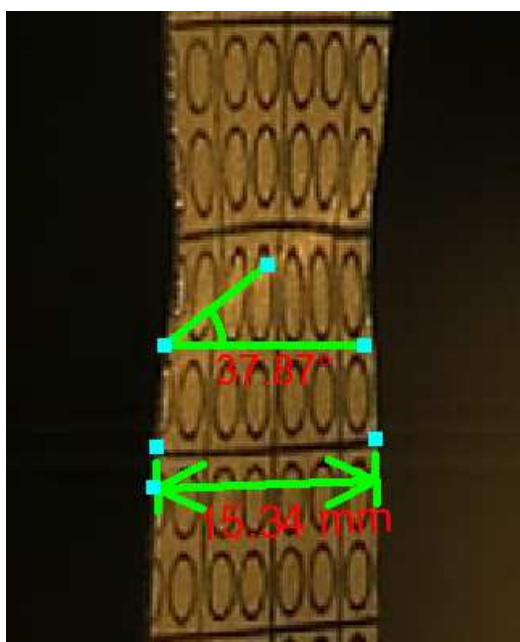
### 3.3 Vysokorychlostní kamera

Vzhledem k tomu, že průběh experimentu je časově krátká záležitost (ve většině případů méně než 1 s), je potřeba použít k zaznamenání průběhu zkoušky vysokorychlostní kameru. Díky této kameře jsme schopni vizuálně zaznamenat a vyhodnotit deformaci materiálu resp. zkušebního vzorku v průběhu zkoušky. K tomuto účelu byla pořízena vysokorychlostní kamera i-SPEED 3 od společnosti Olympus. Kamera umožňuje snímat děj rychlostí až 150 000 fps (frames per second – počet snímků za sekundu). Při seznamování s touto kamerou bylo však zjištěno, že k vyhodnocení postačí snímat průběh zkoušky rychlostí 2 000 – 15 000 fps.



*Obr. 4. Vysokorychlostní kamera i-SPEED 3. [4]*

Součástí instalačního balíčku kamery byl speciální software i-SPEED Suite, ve kterém lze jednoduše a přehledně přehrávat natočené video v různých poměrných rychlostech. Tento software také umožňuje jednoduché vyhodnocování délkových a úhlových rozměrů během přehrávání, viz *obr. 5*.



*Obr. 5. Příklad základního měření v i-SPEED Suite na zkušebním vzorku při zkoušce tahem.*

Při natáčení procesu za vysokých snímacích rychlostí je však nutné řešit problematiku dostatečného osvětlení. S rostoucím počtem snímků za sekundu se obraz snímání bez dostatečného osvětlení stává tmavším. Tento jev lze vidět na předchozím obrázku, který byl natáčen při rychlosti snímání 3 000 fps. Již zde i přes použití halogenového světla o výkonu 500 W je pozadí úplně černé. Se zdrojem světla však nesouvisí jen problematika osvětlení, ale objevuje se nová problematika týkající se frekvence světla. Při natáčení rychlostí více než 1 000 fps obraz začíná lehce problikávat, jelikož kamera již dokáže při této rychlosti zaznamenat samotnou frekvenci světla. Z toho důvodu je potřeba volit zdroj světla s vyšší frekvencí, např. halogenové nebo LED svítidla.

### 3.4 Popis a průběh zkoušky

Experiment je realizován pomocí ramene s upevněným tažníkem umístěným do určité výchozí výšky úměrné k požadované rychlosti pohybu nástroje a tedy rychlosti deformace. Hlava tažníku bude mít v horní a tedy i základní poloze potenciální energii  $E_1$ , jejíž velikost je dána výchozí výškou tažníku  $H$  a tíhou  $G$  hlavy s tažníkem. Velikost energie dané hmotnosti zkušební hlavy je možné modifikovat. Do prostoru přidržovače se umístí zkušební vzorek ve tvaru vhodně zvoleného přístřihu. Po uvolnění mechanismu bude vzorek deformován zkušebním nástrojem. Cílem zkoušky bude zajistit dostatečné množství energie, aby v průběhu zkoušky byla, pokud možno, rychlost pohybu nástroje konstantní. Celý proces bude analyzovaný snímačem polohy a snímačem síly, dále také bude vyhodnocovaný opticky pomocí vysokorychlostní kamery. Naměřené hodnoty budou následně vyhodnocovány. Po porušení zkušební vzorku bude hlava s tažníkem zastavena pomocí brzdících prvků. Velikost nárazové práce kyvadla je dána vztahem  $l$ . Měření bude prováděno při různých rychlostech pohybu nástroje, tím bude ovlivňována rychlost deformace a naměřené hodnoty se budou vzájemně porovnávat.

$$K = G \cdot g \cdot (H - h) \quad (1)$$

### 3.5 Vyhodnocení zkoušek

Po provedení zkoušky je možné vyhodnotit vzorek hned několika způsoby. Hlavní vyhodnocení je realizováno pomocí snímacích systémů, které zaznamenávají průběh experimentu a registrují naměřené hodnoty. K další úrovni vyhodnocení slouží pořízení obrazového záznamu vysokorychlostní kamerou, díky které je možné vizuálně sledovat chování zkušební vzorku při různých rychlostech deformace, vlastní deformaci materiálu i vývoj deformace, kde a jak dochází ke vzniku trhlin, aj. Důležitým prostředkem vyhodnocování deformace zkušební vzorku je nanesení měrných sítí a následného vyhodnocení deformovaných elementů.

I přes majoritní význam tohoto stroje, tedy sledování citlivosti na rychlost deformace, lze tento stroj využít i pro jiné účely. Zařízení je možné využít i ke sledování jiných faktorů ovlivňujících tvářecí procesy. Pomocí tohoto zařízení lze sledovat také vliv síly přidržovače na chování materiálu během tváření, dále lze za použití vysokorychlostní kamery sledovat chování materiálu těsně před vytvořením trhliny, aj. Koncepce stroje umožňuje při vytvoření modelových nástrojů analýzu problémů při lisovacím procesu, neboť pomocí tohoto zařízení je možné v širší míře měnit podmínky lisovacího procesu, než umožňuje obvyklý produkční stroj.

#### 4. Závěr

Z úvodní části této práce vyplývá, že stávající výrobci nedokážou poskytnout zařízení, které sleduje citlivost materiálu na rychlost deformace v simulaci reálného výrobního procesu, nebo jsou pořizovací náklady značně vysoké, díky čemuž nejsme schopni zařízení pořídit. Vzhledem k tomu jsme přistoupili k vlastnímu návrhu a realizaci. Po odzkoušení bude mít zde popsané zařízení veliký přínos nejen pro pracoviště ústavu, ale pro plošné tváření obecně. Již od prvotních myšlenek a návrhů má o uvedení do provozu tohoto stroje zájem i společnost Škoda Auto a.s. Zde popisované zařízení je v současné době před dokončením na hale Ústavu strojírenské technologie. Na zařízení se v následujících dnech bude montovat přídržovač a osazovat snímacími systémy. Dále bude následovat první, testovací zkušební měření, pomocí něhož zjistíme informaci o funkčnosti zařízení. Posléze se budeme zabývat analýzou dat a případnými úpravami zařízení. Zde popsané zařízení by mělo být plně v provozu do konce prvního pololetí tohoto roku.

#### Seznam symbolů

$E$	energie	(J)
$K$	nárazová práce	(J)
$H$	výška	(m)
$G$	tíha	(kg)
$g$	tíhové zrychlení	( $m \cdot s^{-2}$ )
$\dot{\varphi}$	rychlost deformace	( $s^{-1}$ )

#### Seznam použité literatury

- [1] PAČÁK, T, *Konstrukční návrh zařízení pro sledování tvařitelnosti hlubokotažných plechů při různých rychlostech deformace*, Bakalářská práce, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2011, 61s.
- [2] OUŠKA, M. a TATÍČEK, F., a kol. *Zkušební zařízení pro zjišťování vlivu rychlosti deformace. Technologické forum 2012*. 2012, český, s. 6.
- [3] PETRUŽELKA, Jiří; SONNEK, Pavel. *Tvařitelnost kovových materiálů*. Ostrava: VŠB, 2007. 211 s.
- [4] AUTOR NEUVEDEN. *TMnet* [online]. [cit. 23.3.2013]. Dostupný na WWW: <http://tekniikanmaailma.fi>