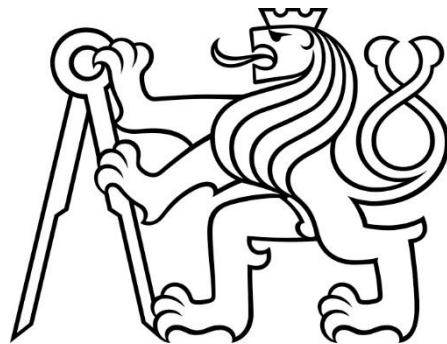


**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2020**

**FILIP  
KETTNER**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kettner** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **474821**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Konstrukční řešení přípravku pro zkoušky ocelových dveřních zárubní**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of attachment used for testing steel door frames**

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je návrh konstrukčního řešení přípravku použitého pro standardizované zkoušky pevnosti a bezpečnosti ocelových dveřních zárubní.

- 1) Úvod do problematiky tváření
- 2) Studium problematiky certifikace ocelových dveřních zárubní
- 3) Příprava a realizace experimentu
- 4) Shrnutí výsledků a závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Michal Valeš, ústav strojírenské technologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

**Ing. František Tatiček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**

Ing. Michal Valeš  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis oškana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnuté konzultace s vedoucím práce, panem Ing. Michalem Valešem a konzultantem panem Ing. Františkem Tatičkem, PhD. K vypracování jsem použil materiály uvedené v seznamu literatury.

Na Srubci dne 16.06.2020

.....  
Filip Kettner

### **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu práce, panu Ing. Michalu Valešovi, za pomoc a odborné poznatky při vypracování. Rovněž děkuji panu Ing. Františku Tatíčkoví, PhD., za cenné rady k této práci.

V neposlední řadě chci poděkovat své rodině za silnou podporu při studiu.

## Anotace

<b>Vysoká škola</b>	ČVTU v Praze, Fakulta strojní
<b>Ústav</b>	Ústav strojírenské technologie
<b>Název bakalářské práce</b>	Konstrukční řešení přípravku pro zkoušky ocelových dveřních zárubní
<b>Akademický rok</b>	2019/20
<b>Autor</b>	Filip Kettner
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Michal Valeš

### Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o konstrukci a o mechanickém namáhání zkušební přípravku, který slouží pro montáž svařovaných ocelových dveřní zárubní. Smyslem tohoto řešení je minimalizace nákladů na přepravu (více převezených kusů v jedné dodávce) a tím pádem k šetření životního prostředí, avšak výrobek musí splňovat příslušná nařízení, normy a zákony. Zárubně se sestavují až na místě, vzniká nerozebíratelný spojení zárubně – přípravek. Přípravek se skládá ze 3, na sobě závislých, kusů. Cílem mé práce je konstrukce přípravku, který zajistí stejnou polohu u všech zárubní při sestavování. V experimentální části této práce se zabývám analýzou deformace ocelových zárubní při zatěžování a porovnávám únosnost zárubní bez přípravku a s vloženým přípravkem.

**Klíčová slova** Svařování, ocelové zárubně, svařovací přípravek

### Rozsah práce a příloh

<b>Počet stran</b>	<b>43</b>
<b>Počet obrázků</b>	<b>33</b>
<b>Počet tabulek</b>	<b>2</b>

## Annotation

<b>University</b>	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
<b>Department</b>	Department of Manufacturing Technology
<b>Title of work</b>	Design of attachment used for testing steel door frames
<b>Academic year</b>	2019/20
<b>Author</b>	Filip Kettner
<b>Supervisor</b>	Ing. Michal Valeš

### Abstract

This bachelor's thesis deals with welding fixture design in the process of steel door frame welding. The main idea is to minimize transportation costs (more transported items in one delivery) and thus the impact on the environment. Door frames are welded after transport, and an inseparable door frame connection is then created – a welding fixture, which consists of 3 interdependent components. The aim of my study is to design a welding fixture that is able to provide the same position for all the types of door frames during the welding process. The experimental part of my work is focused on the load-deformation of steel door frames, and the also load-bearing capacity of the door frames with a welding fixture inserted to non-inserted is compared.

**Keywords** Welding, steel door frames, welding fixture

### Volume of work

**Number of pages** 43

**Number of pictures** 33

**Number of tables** 2

## Obsah

1. Úvod a cíl bakalářské práce.....	9
2. Technologie tváření.....	10
2.1 Objemové tváření.....	11
2.2 Plošné tváření.....	12
2.3 Válcování.....	12
2.4 Tažení.....	14
2.5 Stříhání.....	15
2.6 Ohýbání.....	16
2.7 Profilování.....	17
2.8 Mechanické namáhání.....	18
3. Experimentální část.....	22
3.1 Normy a požadavky na ocelové dveřní zárubně.....	22
3.2 Popis a cíl zkoušky ocelových dveřní zárubní.....	27
3.2.1 Reálný experiment ocelových dveřních zárubní.....	27
3.2.2 Simulace v CAD programu pro porovnání s výsledky reálné zkoušky.....	28
3.3 Parametry zkušebního stroje LabTest.....	30
3.4 Konstrukce spoje.....	31
3.5 Zkouška ocelových dveřních zárubní.....	32
3.5.1 Průběh experimentu.....	35
3.6 Porovnání výsledků zkoušky.....	36
5. Závěr.....	38
5. Seznam použitých zdrojů a literatury.....	40
6. Seznam obrázků.....	42
7. Seznam tabulek.....	43

# Seznam použitých symbolů

## Seznam základních symbolů

Značka	Jednotka	Veličina
$T_R$	°C	teplota rekrytalizace
$T_T$	°C	teplota tavení
$\sigma$	MPa	napětí
$R_e$	MPa	mez kluzu
$R_M$	MPa	mez pevnosti
$E$	MPa	Youngův modul pružnosti v tahu
$\varepsilon$	-	deformace materiálu
$A$	%	tažnost
$F$	N	zatížení



# 1. Úvod a cíl bakalářské práce

V současné době, kdy je kladen důraz na splňování emisních norem, je třeba brát ohled především na životní prostředí a aktualizovat či vylepšovat současné, zaběhlé procesy. Může se jednat o samotnou výrobu v nejrůznějších odvětvích, či „jen“ dopravu materiálu na místo určení.

V mé práci přispívám dílčím úkolem k zefektivnění výroby ocelových dveřních uzávěrů. Jedná se o produkt, který se vyrábí z různých materiálů, jsou na ně kladeny různé požadavky a mají různá konstrukční řešení. Ve své práci se věnuji ocelovým dveřním uzávěrům, jejichž základní část tvoří ocelové profily, k sobě přivařené. Zvýšit efektivitu výroby v současné době znamená automatizovat a robotizovat proces, což představuje vysoké investiční náklady, které při současné výrobě představují dlouhou dobu návratnosti. Dalším problémem je doprava ke koncovému zákazníkovi.

Jedná se o 7 základních komponentů, které k sobě mají být určitým způsobem připevněny. Doposud používané řešení spočívá v dělení profilovaného plechu a následného svařování dle požadavků. Toto řešení má dlouhé výrobní časy při přípravě profilů, dále je třeba k výrobě kvalifikovaný personál a je nutné dodržet přesnost výroby spolu s technologickou kázní. Při přepravě je pak další problém se značnými rozměry takto svařených zárubní, jelikož jsou neskladné a tím omezují přepravu ke koncovému uživateli.

Z těchto důvodů byl vytvořen nového spoje, kterým je snaha eliminovat výše uvedené nedostatky. Návrh předpokládá změnu některých výrobních technologií, kde například technologie MAG je nahrazena mechanickým spojením, které si provede sám koncový zákazník. Konstrukční řešení předpokládá přepravu výrobku v rozebraném stavu, díky čemuž bude moci koncový uživatel přepravu realizovat v osobním automobilu, v případě nákladního automobilu se převezde ještě mnohem více (nepřepravuje se vzduch).

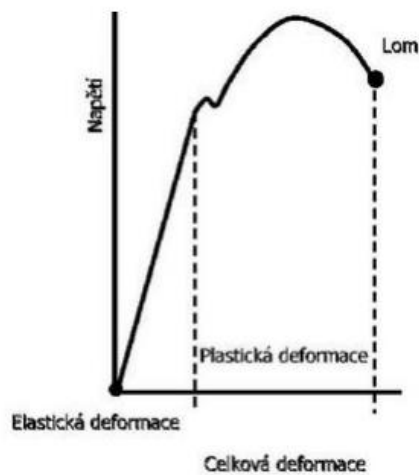
Cílem této práce je provést porovnání pevnosti rohového spoje původního a nově navrženého konstrukčního řešení.

V experimentální části BP navrhnu zkušební přípravek a následně i provedu pevnostní ověření zkoumaného spoje. Pro porovnání s reálnými experimenty se pokusím tuto studii simulovat pomocí konstrukčních programů. Budu simulovat tlak stěny na horizontální díl zárubní stejně, jako tomu bude v reálném experimentu. Výsledek pak porovnam se simulací.

## 2. Technologie tváření

Tváření kovů je proces, během kterého dochází k žádoucí trvalé změně tvaru v důsledku působení vnějších sil a to beze změny objemu materiálu. Základním principem je tedy trvalá deformace materiálu. Nástroj přímo působí na tvářený materiál, tzn., dochází ke vzájemnému kontaktu. Podle velikosti napětí a druhu materiálu rozdělujeme tváření na elastické a plastické. Plastická deformace je trvalá (nevratná) a nastává po mezi kluzu materiálu  $R_e$  (oblast, kde již neplatí Hookův zákon). Proti vnější síle působí tzv. přetvárný odpor – charakteristická vlastnost každého materiálu. [1]

Hookův zákon:  $\sigma = E * \epsilon$

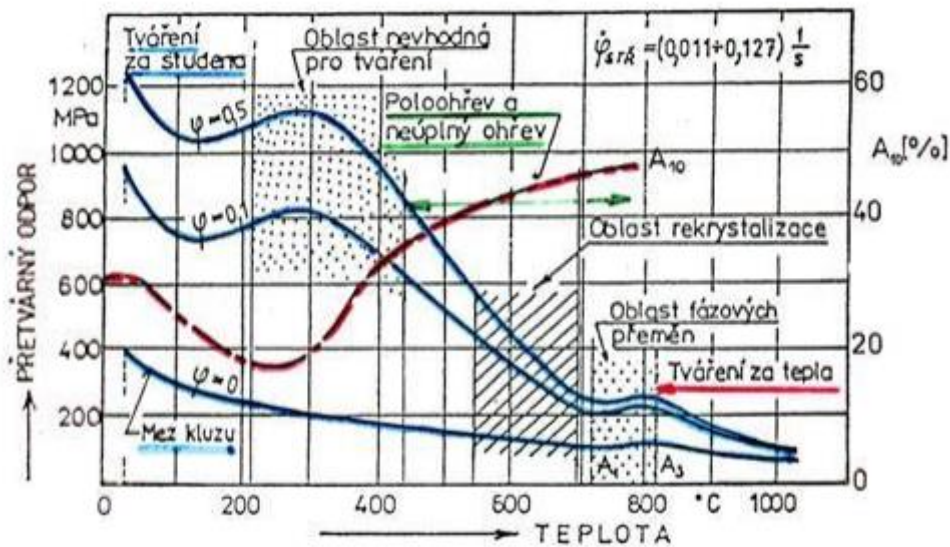


Obrázek 1 Tahová zkouška kovového materiálu s výraznou mezí kluzu [10]

### Základní rozdělení tváření:

- Tváření za studena – probíhá pod teplotou rekrystalizace  $T_R \geq (0,35 \sim 0,45) * T_T$
- Tváření za tepla – probíhá nad teplotou rekrystalizace
- Objemové tváření – materiál se mění v celém svém objemu
- Plošné tváření – deformace ve směru tloušťky je oproti ostatním zanedbatelná

Tváření za tepla či za studena je znázorněno v následujícím obrázku. [1,2]



Obrázek 2 Rozdělení tváření podle teploty [11]

## 2.1 Objemové tváření

Materiál se působením vnějších sil plasticky deformuje v celém svém objemu. Deformace jsou ve všech směrech hlavních deformací. Do tohoto procesu tváření zařazujeme např.:

- Kování – lze provádět na bucharcích či lisech, v minulosti se provádělo lidskou silou (volné kování). Deformace je způsobena úderem nástroje, kovat lze volně nebo v zápustce. Zápustkové kování je přesné, ale cena zápustky je vysoká. Vhodné pro velkosériovou výrobu. Kování se zařazuje do tváření za tepla.
- Protlačování (kalibrování) – polotovary jsou nejčastěji tyče, protahují se do požadovaného tvaru přes zápustku. Protlačování patří do kategorie tváření za tepla i za studena – záleží na konkrétní aplikaci
- Válcování – materiál je tvářen mezi rotujícími válci – známé je válcování profilů [1,3]



Obrázek 3 Protlačované hliníkové profily při tváření za studena [17]

## 2.2 Plošné tváření

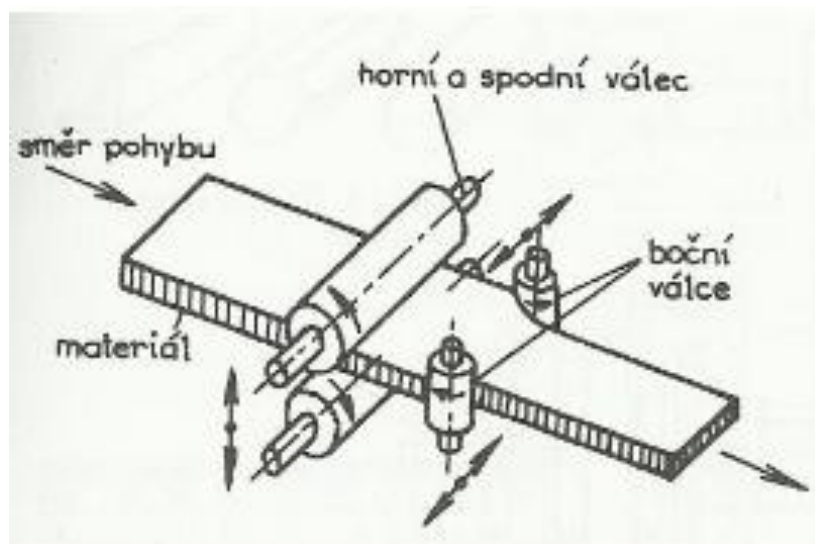
Při plošném tváření je deformace ve směru tloušťky zanedbatelná, oproti zbývajícím dvěma. Toto tváření je charakteristické pro operace s plechy. Do tohoto tváření zařazujeme:

- Stříhání – „bezodpadová“ operace, materiál je postupně či současně oddělován působením řezných hran na nástroji. Nástroj vyvolává v materiálu smyková napětí.
- Ohýbaní – materiál se deformuje do požadovaného úhlu ohybu. Trvalou deformaci způsobuje nástroj ohybník působící na ohybnici. Místu v materiálu bez trvalých deformací se říká neutrální osa.
- Tažení – V jedné či více operacích se provede tažení otevřeného dutého výtažku (např. kalíšek). [1,4]

## 2.3 Válcování

Válcování se řadí do objemového tváření a tváří se za tepla. Malé tloušťky plechů (v řádech jednotek mm) a válcové tyče se dají válcovat i za studena – dosáhne se tím většího zpevnění materiálu a méně drsného povrchu, oproti stejnému procesu za tepla.

Válcování je zpracování tvárných kovů mezi dvěma válci, které se proti sobě otáčejí a zároveň mají mezi sebou menší vzdálenost, než je tloušťka vstupního polotovaru – předvalku. Materiál se při tomto procesu prodlužuje a zároveň se mění jeho průřez. [5]

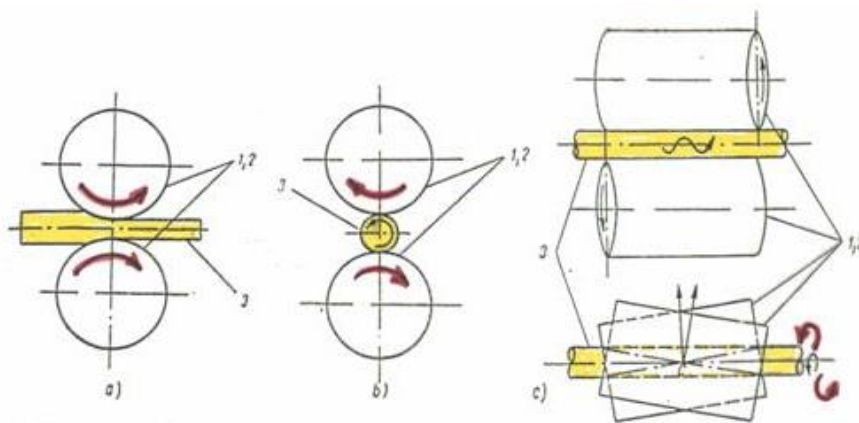


Obrázek 4 Princip válcování [5]

Válcuje se na válcovacích stolicích, práce se ale zpravidla nedokončí během jedné operace, proto bývá za sebou uspořádáno několik těchto válcovacích stolic. Pokud jsou válce hladké, hovoříme o hladkém válcování. Často jsou výrobky – vývalky ale různě profilované, poté již hovoříme o kalibrováných válcích, které mají negativ vývalku. Sériově seskupená válcovací linka může mít samozřejmě kombinaci hladkých a kalibrováných válců. Typickým příkladem takto uspořádaného tvarového válcování je železniční kolejnice, která se válcuje ihned po odlití. [5]

Příčným válčováním se vyrábí převážná většina závitů v hromadné výrobě – *závitové tyče, pohybové a spojovací šrouby* apod. Tvářené závitů mají větší únosnost oproti obráběným, jelikož nejsou narušena vnitřní vlákna v materiálu a válcování probíhá za studena, tzn. zpevnění materiálu. [1]

- a. Podélné válcování – materiál se válcuje v podélném směru – výroba tyčí, kolejnic
- b. Příčné válcování – redukuje se radiální průřez – osazení hřídelů
- c. Kosé válcování – mimoběžné osy – výroba trubek



Obrázek 5 Druhy válcování [4]

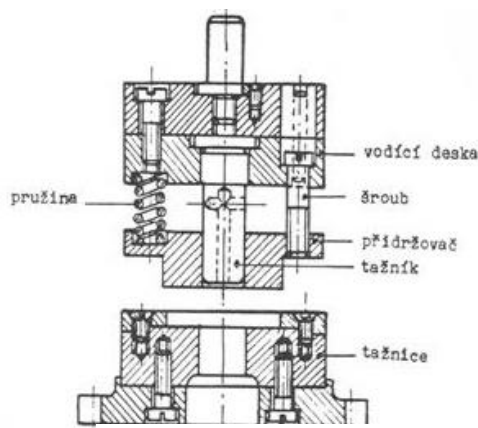


Obrázek 6 Profilové válcování vnějšího závitu [12]

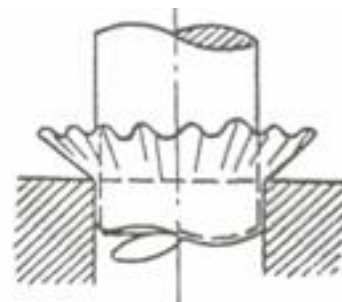
## 2.4 Tažení

Technologii tažení řadíme do plošného tváření za studena. Při jednom nebo více zdvících se z rovinného plechu vyhotoví prostorový výtažek – polozavřená nádoba. Předpoklad pro kvalitní výtažek je charakteristická vlastnost materiálu – tažnost  $A$ . Pro tažení se používají běžné konstrukční oceli nebo hlubokotažné plechy (např. DC01-DC07 – ocel válcovaná za studena), kdy mají  $A > 40\%$ . [4]

Tažení se provádí nejčastěji na lisech. Nástroj pro tažení se nazývá tažidlo – skládá se z tažníku a tažnice, popř. přidržovače. Tažnice se upíná na pracovní lože stroje, např. pomocí upínek, má zaoblené hrany aby nedošlo k přestřížení plechu. Tažné hrany se z celého tažidla opotřebovávají nejvíce. Tažník má rovněž zaoblené hrany a upíná se do beranu stroje. Při malém stupni deformaci a při velké tloušťce výchozího polotovaru se při tažení netvoří tzv. vlny. Při vysokém stupni deformace se používá přidržovač, který brání vlnění plechu. Zde je ale nutné znát měrný tlak přidržovače, který je funkcí tloušťky plechu, poměru tloušťky plechu ku průměru nádoby, jakosti plechu a tažnosti. [1,2]



Obrázek 8 Tažný nástroj [11]



Obrázek 7 Tažení bez přidržovače [11]

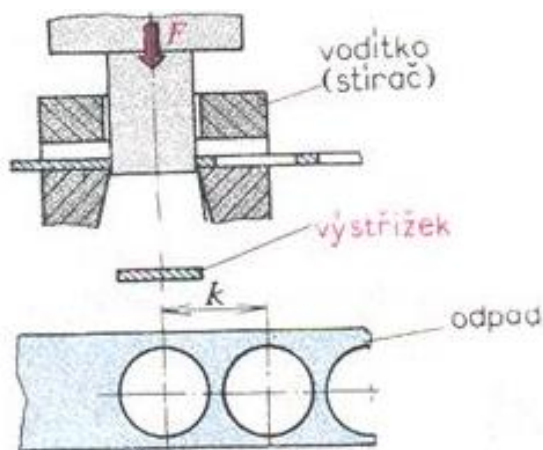
Tažení se rozděluje dále na:

- Tažení se ztenčenými stěnami – tažení na několik fází, ztenčuje se původní tloušťka
- Zpětné tažení – lze použít velkou tažnou sílu bez použití přidržovače
- Tvarové tažení – takto lze vyrobit stupňovité, parabolické, kónické a kuželové výtažky. Jelikož je to několikachodá operace, lze do procesu vložit ještě mezioperace
- Tažení s ohřevem – Používá se pro materiály, které mají zastudena malou tažnost
- Tažení kapalinou – tvářecí síla není způsobena mechanicky, ale přes membránovou vložku působí hydrostatická síla kapaliny, kterou lze případně regulovat. Nevýhodou je nutná těsnost nádoby s kapalinou a omezené životnost membránové vložky
- Tažení pomocí pryže – Zakládá se na elasticitě pryže, je ale potřeba velkých tvárných sil. Výhodou je, že pryž nezanechá žádné stopy po tažení na výtažku [2]

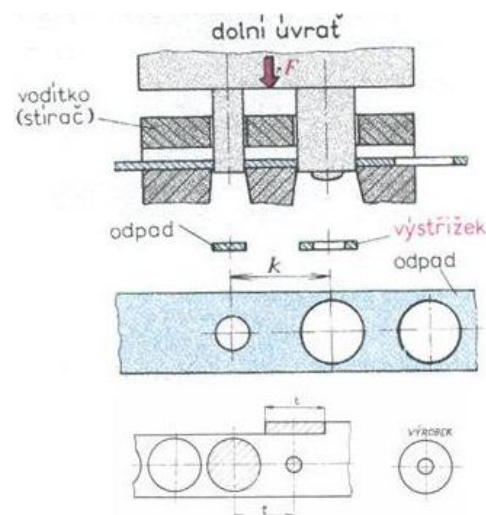
## 2.5 Stříhání

Stříhání řadíme převážně do plošného tváření za studena, lze ale stříhat i objemově, a také i za tepla (např. ingoty). Jedná se o jednu z nejpočetnějších operací tváření, jelikož se používá k přípravě polotovaru pro další operace, pomocné operace i finální operace. Při jednom zdvihu nástroje se současně nebo postupně odděluje materiál od výchozího polotovaru. Nástroj má oproti tažení ostré hrany, v materiálu se vytvoří smyková napětí vyšší než je dovolená mez stříhaného materiálu a dojde k porušení.

Nástroj pro stříhání se nazývá stříhadlo. To může mít různá provedení, ale názvosloví se stále uchovává – střížník a střížnice. Střížník i střížnice mají ostré hrany, břity, které se pohybují proti sobě (střížník je upnut v beranu stroje, střížnice na pracovním stole stroje). Materiál se nejprve mezi břity pěchuje, po vyčerpání schopnosti deformace materiálu proti stříhu se začnou tvořit jemné trhlinky a následně dochází k odlomení od původního materiálu – vzniká výstřížek. Stříhání je jedinou tvářecí operací, kdy požadujeme destrukci materiálu, ve výpočtech se počítá se smykovými napětími [1,2,4]



Obrázek 9 Jednoduchý střížný nástroj [4]



Obrázek 10 Postupový střížný nástroj [4]

### Nejčastější podkategorie stříhání jsou:

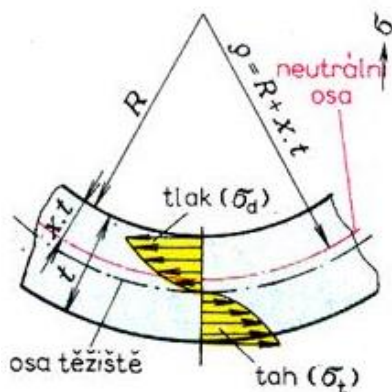
- Stříhání rovnoběžnými noži – nástroj se skládá ze střížníku a střížnice, mezi kterými je střížná vůle. Střížná vůle se konstruuje z technologických důvodů, bývá přibližně 3% z tloušťky stříhaného polotovaru. Nástroj musí být se střížnou vůli zkonstruován tak, aby nevznikala žádná přídavná ohybová namáhání a tím větší střížné síly na polotovar a výstřížek tak měl kvalitní povrch
- Stříhání šikmými noži – Technologie totožná s předchozí, jen se materiál odděluje postupně a ne najednou v celém obvodu. Ostří nože na tažníku je zkosené o příslušný úhel. Používá se tam, kde je potřeba větší síly než kterou je schopný vyvinout lis.

Při tomto způsobu je třeba daleko menší střížné síly oproti stříhání s rovnoběžnými noži. Velikost celkové práce je ale v obou případech pro stejný výrobek totožný. [4]

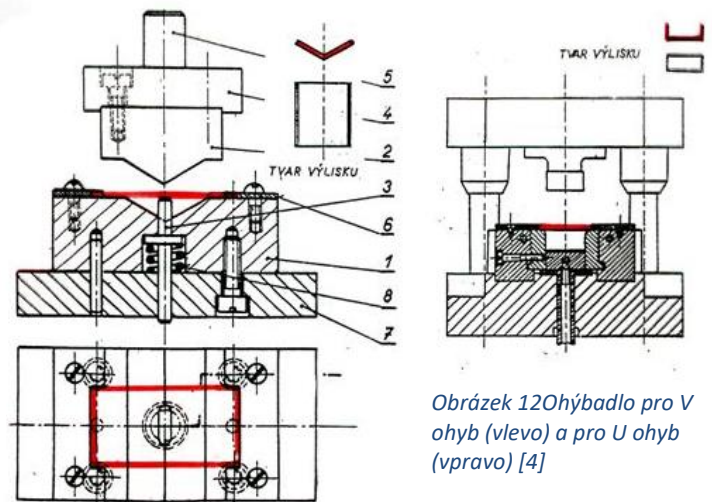
## 2.6 Ohýbání

Ohýbání se řadí do technologie plošného tváření, lze tvářet za tepla i za studena (tvařitelnost roste s rostoucí teplotou, platí hlavně u větších tlouštěk materiálu) a provádí se nejčastěji v přípravcích na lisech. Ohýbání se provádí s velkými nebo malými poloměry zaoblení od nástroje. Je zde použit stejný zákon plasticity, kdy je většina elasticity materiálu vyčerpána a ohýbá se v oblasti plastických deformací. Ovšem vyskytuje se tu i složka elasticity materiálu, která může být nevhodná, např. odpružení po V ohybu.

Nástroj se nazývá ohýbadlo, které se skládá z ohybníku a ohybnice. Při ohybu je průřez deformovaný. Vyšší průřez je více deformovaný než nižší průřez. Vrstvy na vnitřní straně jsou stlačovány a zkracovány, vlákna na vnější straně jsou natahována a prodlužována. Vlákna, která po ohýbání nemění svůj směr ani velikost se nachází v oblasti neutrální osy. Neutrální osa před ohýbáním je totožná s osou, po procesu se přiblíží k vnitřní straně profilu. [6, 4]



Obrázek 11 Rozložení a velikost napětí v materiálu při ohýbání [4]



Obrázek 12 Ohýbadlo pro V ohyb (vlevo) a pro U ohyb (vpravo) [4]

### Problematika při ohýbání:

- Odpružení – pomínou-li vnější síly na těleso, materiál má tendenci se vrátit do původní polohy (způsobeno elastickými deformacemi v okolí neutrální osy). Odpružení je úhlová odchylka, která se zvětšuje s rostoucí délkou ohýbaných rovin. Bývá to 3 až 15°. Př. při V ohybu 90° je předběžný výlisek s úhlem 75 až 87°.

Tomuto jevu se dá zabránit a to: Ohyb se provede větší o úhel odpružení, zvětší se lisovací síla, použití prolisů na výlisku.

- 3 pásma napjatosti v materiálu – pásmo pružných deformací v okolí neutrální osy, vnější pásmo trvalého prodloužení, vnitřní pásmo trvalého napěchování.
- Praskání materiálu a tvoření vln – Praskání materiálu (překročení příslušné meze dané pro konkrétní materiál) nastane v okamžiku, kdy je nevhodný poměr mezi poloměrem ohybu a tloušťkou plechu  $R/t$ . To může být způsobeno zpevněním materiálu, předchozím tepelným či technologickým opracováním materiálu anebo průběhem vláken, která mají být kolmá na osu ohybu. [6, 4, 23]



## 2.7 Profilování

Profilování patří do technologie plošného tváření za studena. Polotovarem je i několikametrový pás plechu, který vstupuje do stroje, ten je opatřen kladkami a kladky plech přetváří až do finálního požadovaného profilu. Touto technologií se vyrábějí profily, které mají po celé své délce konstantní průřez (obr. 11). Je třeba zabránit jakémukoliv ztenčení materiálu v místě změny geometrie, protože to jsou místa, kde se koncentruje nejvíce napětí. [7,8,9]

Pro profilování se užívá profilovacích strojů, které se skládají ze série kladek postupně řazených za sebou. Stroje se rozlišují, podle způsobu, kterým jsou kladky upevněny a podle možností výroby. Jsou to stroje:

- Konzolový profilovací stroj – oblíbený především svojí jednoduchou konstrukcí, tvarové kotouče má upnuté letmo, snadná obsluha, údržba a výměna
- Duplexní profilovací stroj – zdvojený konzolový profilovací stroj, výhoda je nastavitelnost šířky opracování materiálu (tvarové plechy)
- Standardní profilovací stroj – hřídele kladek jsou upnuty mezi 2 ložisky, robustní. Nevýhodou je malé stavitelnost v šířce a složitá úprava na jiný profil či údržba
- Duplexní profilovací stroj se spojeným hřídelem – kombinuje výhody duplexního a standardního stroje, v praxi nejbližší a nejpoužívanější (viz obr. 12)



Obrázek 14 Různé druhy profilů [13]



Obrázek 13 Duplexní profilovací stroj se spojeným hřídelem [14]

### Výhody profilování:

- Možná úprava stroje výměnou kladek
- Možnost tvářit více ploch najednou
- Nízké výrobní náklady
- Teoreticky nekonečný profil
- Bezodpadová technologie

### Nevýhody profilování:

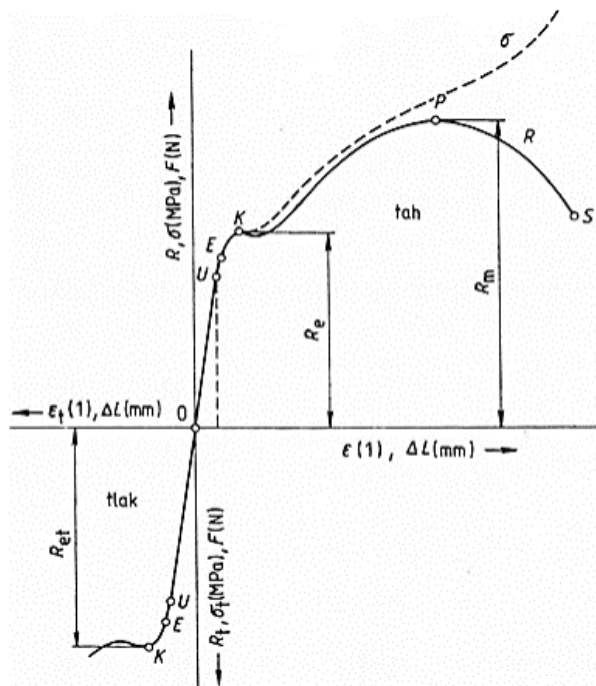
- Nutné přesné nastavení osových vzdáleností jednotlivých hřídelů
- Nutné zajistit rovnoběžnost hřídelů
- U letmo upevněných hřídelů je nedostatečná tuhost zařízení [9,-]

## 2.8 Mechanické namáhání

- **Tah/ Tlak** – jedná se o základní mechanické namáhání, kdy na řešenou součást působí síla, která vyvolá v průřezu součásti napětí. Toto napětí je konstantní, kladné v případě tahu, v případě tlaku je záporné (dané orientací působících sil). Zkoušky se provádí v oblasti platnosti Hookeova zákona, z něhož rovněž vyplývá:

$$\sigma = \epsilon * E \rightarrow \sigma = \frac{F}{S}$$

Při tahových zkouškách se získává tahový diagram. Na svislé ose je vynesena zatěžující síla a na vodorovné prodloužení zkušební vzorku. Z diagramu lze získat např. mez úměrnosti, mez kluzu, mez pevnosti a okamžik porušení



Obrázek 15 Tahový diagram s výraznou mezí kluzu [1]

Pro materiály s nevýraznou mezí kluzu (např. litiny) se zavádí tzv. **smluvní mez kluzu**, která se určí ze smluvního napětí. Pro smluvní napětí se počítá se smluvní silou, která způsobí deformaci 0,2% .

- **Vzpěr** – U předcházejících druhů namáhání byla funkce součásti ohrožena překročením přípustného napětí nebo deformace. U vzpěrné pevnosti jde o problém stability. Je nutné najít sílu, při jejímž překročení ztratí prut stabilitu. Tuto sílu nazýváme **kritickou silou na mezi vzpěrné pevnosti**.

Kritériem pro výpočet na vzpěr je štíhlost prutu

$$\lambda = \frac{L_{red}}{i} = \frac{L_{red}}{\sqrt{\frac{J_{min}}{S}}}$$

$$\lambda_{mez} = \sqrt{n * \frac{\pi^2 * E}{\sigma_U}}$$

$J_{min}$  – minimální kvadratický moment průřezu, daný profilem součásti [ $mm^4$ ]

$S$  – plošný průřez součásti [ $mm^2$ ]

$L_{red}$  – redukovaná délka prutu závislá na způsobu uložení prutu při namáhání [mm]

V oblasti pružné deformace se řeší vzpěr podle **Eulera** ( $\lambda \geq \lambda_m$ ).

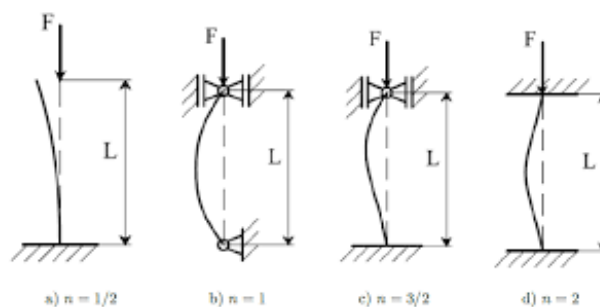
$$F = n * \frac{\pi^2 * E * J}{l^2}$$

V oblasti nepružné deformace se řeší vzpěr podle **Tetmajera** ( $\lambda \leq \lambda_m$ ).

$$F = \left( Re - \frac{Re - \sigma_U}{\lambda_{mez}} * \lambda \right) * S$$

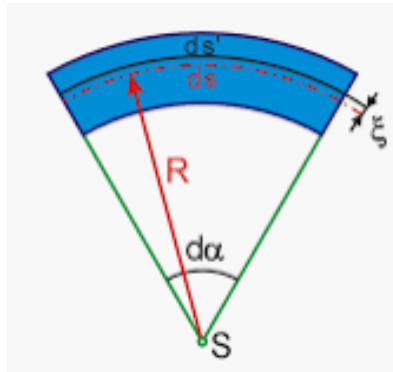
Maximální dovolení zatěžující síla na součást se poté počítá jako:

$$F_D = \frac{F_{KR}}{k}$$



Obrázek 16 Uložení prutu při vzpěru

- **Ohyb vetknutého nosníku** – rozumíme jím ohyb tyčí silami kolnými na jejich osu. Tyto tyče se nazývají nosníky a jsou hlavními prvky nejrůznějších konstrukcí. Přesné řešení ohybu je složité a proto se používá zjednodušená teorie ohybu nazývaná **technická pružnost**. Vychází z ne zcela přesných předpokladů, ale výsledná chyba je téměř zanedbatelná od dokonale přesného, ale časově náročnějšího řešení.



Obrázek 17 Rovinný ohyb a neutrální vlákno [20]

Relativní prodloužení vlákna vychází z délky vlákna před a po deformaci

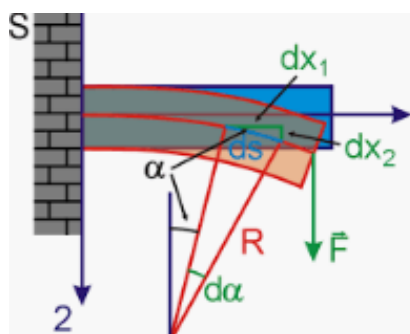
$$e = \frac{d_s' - d_s}{d_s} = \frac{(R + \xi)d_\alpha - R d_\alpha}{R d_\alpha} = \frac{\xi}{R}$$

Síla působící na konci nosníku způsobuje deformaci, ohybový moment musí být roven momentu sil, které v průřezu způsobují napětí

$$M = F(l - x) = \left| \int_S^0 \sigma_{11} x_2 dS \right| = \frac{E}{R} \int_S^0 x_2^2 dS = \frac{E}{R} I$$

Integrace probíhá přes celou plochu, veličina se nazývá kvadratický moment průřezu

$$I = \int_S^0 x_2^2 dS$$



Obrázek 18 Ohyb vetknutého nosníku [20]

Předpokládáme malý průhyb nosníku, pro který platí

$$\frac{dx_2}{dx_1} = \operatorname{tg} \alpha = \alpha; \quad R d\alpha = ds = dx_1$$

$$\frac{1}{R} = \frac{d\alpha}{dx_1} = \frac{d}{dx_1} \left( \frac{dx_2}{dx_1} \right) = \frac{d^2 x_2}{dx_1^2}$$

A dosadíme do této rovnice moment, který je funkcí souřadnice

$$\frac{d^2 x_2}{dx_1^2} = \frac{1}{E \cdot I} F(l - x_1)$$

Tuto rovnici lze přímo integrovat

$$\frac{dx_2}{dx_1} = \frac{F \cdot l \cdot x_1}{E \cdot I} - \frac{F \cdot x_1^2}{2 \cdot E \cdot I} + C_1$$

$dx_1/dx_2$  udává směr tečny neutrálního vlákna, pro vetknutý nosník  $x_1=0$  je poměr rovněž 0, proto i  $C_1 = 0$

Následuje další integrace

$$x_2 = \frac{F \cdot l \cdot x_1^2}{2 \cdot E \cdot I} - \frac{F \cdot x_1^3}{6 \cdot E \cdot I} + C_2$$

Pokud je  $x_1 = 0$ , poté i  $x_2 = 0$ . Konstanta  $C_2$  je opět nulová

Tvar neutrálního vlákna vetknutého nosníku je uvažován v přibližném řešení

$$x_2 = \frac{F}{E \cdot I} \left( \frac{l \cdot x_1^2}{2} - \frac{x_1^3}{6} \right)$$

A pokud za neznámou  $x_1$  dosadíme celkovou délku  $l$ , dostaneme celkový posun volného konce vetknutého nosíku, na který působí zatěžující síla (maximální průhyb nosníku) [20,21,22]

$$x_l = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

## 3. Experimentální část

### 3.1 Normy a požadavky na ocelové dveřní zárubně

Pro uvedení nového výrobku na trh je nutné zajistit, aby byly dodrženy všechny stanovené podmínky a požadavky norem, zákonů a nařízení, a tím zaručena bezchybnost a bezpečnost výrobku. Konkrétně ocelové dveřní zárubně svazuje:

1. nařízení vlády ČR č.163/2002sb.
2. nařízení evropského parlamentu a rady č.305/2011.
3. ČSN EN 14351-2 – Okna a dveře, funkční vlastnosti, vnitřní dveře
4. ČSN EN 1363-1 – Zkoušky požární odolnosti
5. ČSN EN 16034 – Charakteristiky požární odolnosti
6. ČSN 74 6401 – Pevnosti dveřních křídel a dveřních zárubní
7. ČSN EN ISO 12944-5 – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí
8. ČSN EN 14600 – vrata, dveře a otevíraná okna s charakteristikami požární odolnosti
9. ČSN EN 947 – Stanovení odolnosti proti svislému zatížení dveřních křídel
10. ČSN EN 949 – Stanovení odolnosti dveří proti nárazu měkkým a těžkým předmětem
11. ČSN EN 1935 – Požadavky a zkušební metody jednoosých dveřních závěsů
12. ČSN 73 0005 – Modulová koordinace rozměrů ve výstavbě

Protože je těchto předpisů poměrně značné množství, budu se věnovat podrobněji pouze vybraným z nich:

#### **1. „Nařízení vlády ČR č.163/2002sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky“**

Tabulka 1 Seznam výrobků s vyznačením postupů posouzení shody [15]

8. Stavební výrobky pro otvorové výplně

Poř. číslo	Název skupiny výrobků	Postup posuz. shody
1	Okna, dveře a vrata (s příslušným kováním a bez něho) pro dělení na požární/kouřové úseky a na únikových cestách	§ 5
2	Stavební kování pro dveře a vrata pro dělení na požární/kouřové úseky a na únikových cestách, pro ochranu proti tlakové vodě	§ 5a
3	Okna, dveře a vrata (s příslušným kováním a bez něho) pro použití, na která se vztahují další specifické požadavky, zejména ochrana proti hluku a tepelná ochrana, těsnost a bezpečnost při užívání	§ 7
4	Dveře a vrata (s příslušným kováním nebo bez něho) pouze pro použití uvnitř budov	§ 8
5	Zárubně	§ 7
6	Střešní světlíky, střešní okna	
	a) pro použití, na která se vztahují požadavky na požární odolnost (např. pro dělení na požární úseky)	§ 5a
	b) pro použití, na která se vztahují požadavky reakce na oheň s předepsanou úrovní	
	A1 <sup>1</sup> , A2 <sup>1</sup> , B <sup>1</sup> , C <sup>1</sup>	§ 5a
	A1 <sup>2</sup> , A2 <sup>2</sup> , B <sup>2</sup> , C <sup>2</sup> , D, E	§ 7
	(A1 až E) <sup>3</sup> , F	§ 8
	c) pro použití, na která se vztahují požadavky z hlediska tříd namáhání střešních konstrukcí při působení vnějšího požáru	
	- výrobky vyžadující zkoušení	§ 7
	- výrobky „považované za vyhovující bez zkoušení“	§ 8
	d) pro použití přispívající k vyztužení střešní konstrukce	§ 7
	e) pro použití, na která se vztahují předpisy o nebezpečných látkách	§ 7
	f) pro použití jiná	§ 7
7	Uzávěry/okenice a rolety (s příslušným kováním nebo bez něho) vnější použití	§ 8

Ocelové dveřní zárubně spadají pod paragraf 7, který zní následně

## § 7

### Ověření shody

**(1)** Výrobce nebo dovozce pro ověření shody výrobků

**a)** zajistí u autorizované osoby provedení počáteční zkoušky typu výrobku na vzorku,

**b)** zajistí technickou dokumentaci podle § 4,

**c)** zajišťuje takový systém řízení výroby nebo kontroly výrobků při dovozu, aby všechny výrobky, které uvádí na trh, splňovaly požadavky stanovené určenými normami, technickými předpisy nebo stavebním technickým osvědčením a odpovídaly technické dokumentaci podle § 4 odst. 3; dovozce v odpovídající míře zabezpečuje kontrolu dovážených výrobků.

**(2)** Autorizovaná osoba provede počáteční zkoušky typu výrobku na vzorku a posoudí, zda typ výrobku odpovídá určeným normám, technickým předpisům nebo stavebnímu technickému osvědčení. O výsledcích zkoušek a jejich posouzení vystaví protokol s uvedením doby platnosti.

Paragraf 7 se odvolává na paragraf 4

## § 4

### Technická dokumentace

**(1)** Výrobce nebo dovozce pořizuje pro posouzení shody technickou dokumentaci.

**(2)** Technická dokumentace musí být zpracována v takovém rozsahu, aby umožňovala posuzování shody výrobku s technickými požadavky obsaženými v určených normách nebo v technických předpisech nebo ve stavebním technickém osvědčení; technická dokumentace, která je nezbytná pro správné pochopení funkce výrobku ve stavbě ve vztahu k základním požadavkům a z které vyplývá určené použití výrobku ve stavbě, je v případech, kdy je poskytována autorizované osobě, v českém jazyce nebo v jazyce, který je s autorizovanou osobou dohodnut.

**(3)** Technická dokumentace s přihlédnutím k charakteru výrobku obsahuje

**a)** podrobný popis výrobku a vymezení způsobu jeho použití ve stavbě,

**b)** u dovážených výrobků identifikační údaje o jejich výrobci,

**c)** odkaz na určené normy, na technické předpisy nebo na stavební technické osvědčení, které budou využity pro posuzování shody před uvedením výrobku na trh,

**d)** projektové a výrobní výkresy výrobku, popřípadě jinou dokumentaci konkretizující vlastnosti výrobku vzhledem k jeho použití, technologický postup pro jeho výrobu a pro použití ve stavbě, údaje o technických vlastnostech výrobku vztahující se k základním požadavkům,

**e)** popisy a vysvětlení nezbytné ke srozumitelnosti výkresů a funkce výrobku, návody k použití ve stavbě a případná upozornění; upozornění na nebezpečí nebo omezení použitelnosti a návody k bezpečnému použití musí být v českém jazyce,

**f)** výsledky návrhových a konstrukčních výpočtů a výsledky případně provedených zkoušek,

**g)** zkušební protokoly, popřípadě certifikáty, pokud byly vydány před posuzováním shody podle § 5 až 9. **Zde je to konkrétně paragraf 7.**

## **2. Nařízení Evropského parlamentu a rady č.305/2011**

„kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a kterým se zrušuje směrnice Rady 89/106/EHS“

### Článek 4

#### **Prohlášení o vlastnostech a označení CE**

1. Vztahuje-li se na stavební výrobek harmonizovaná norma nebo je-li tento výrobek v souladu s evropským technickým posouzením, které pro něj bylo vydáno, výrobce vypracuje při jeho uvedení na trh prohlášení o vlastnostech.

### Článek 5

#### **Výjimky z povinnosti vypracovat prohlášení o vlastnostech**

b) stavební výrobek je vyroben na staveništi za účelem jeho zabudování do příslušné stavby v souladu s příslušnými vnitrostátními předpisy a na odpovědnost osob odpovědných podle příslušných vnitrostátních předpisů za bezpečné provedení staveb

### Článek 11

#### **Povinnosti výrobců**

2. Výrobci uchovávají technickou dokumentaci a prohlášení o vlastnostech po dobu deseti let od uvedení stavebního výrobku na trh.

Komise může tam, kde je to vhodné, prostřednictvím aktů v přenesené pravomoci v souladu s článkem 60 pozměnit tuto dobu pro skupiny stavebních výrobků na základě předpokládané doby životnosti nebo funkce stavebního výrobku ve stavbě.

Výrobci tam, kde to je považováno za vhodné vzhledem k zajištění přesnosti, spolehlivosti a stálosti vlastností stavebního výrobku uvedených v prohlášení, provádějí zkoušky vzorků stavebních výrobků uváděných nebo dodávaných na trh, provádějí šetření a v případě nutnosti vedou registry stížností, nevyhovujících výrobků a výrobků stažených z oběhu a průběžně o všech těchto kontrolách informují distributory.

4. Výrobci zajistí, aby byl na jejich stavebních výrobcích uveden typ, série nebo sériové číslo nebo jakýkoli jiný prvek umožňující jejich identifikaci, nebo v případech, kdy to velikost nebo povaha výrobku neumožňuje, zajistí, aby byla požadovaná informace uvedena na obalu nebo v dokladu přiloženém ke stavebnímu výrobku.

5. Výrobci uvedou na stavebním výrobku, nebo není-li to možné, na obalu či v dokladu přiloženém ke stavebnímu výrobku své jméno či firmu, nebo registrovanou ochrannou známku a kontaktní adresu. Adresa musí uvádět jediné místo, na kterém lze výrobce kontaktovat.

6. Výrobci při dodávání stavebního výrobku na trh zajistí, aby byly k výrobku připojeny pokyny a bezpečnostní informace v jazyce určeném dotčeným členským státem, kterému uživatelé snadno rozumějí.



7. Výrobci, kteří se domnívají nebo mají důvod se domnívat, že stavební výrobek, který uvedli na trh, není ve shodě s prohlášením o vlastnostech nebo není v souladu s jinými příslušnými požadavky tohoto nařízení, přijmou okamžitě nezbytná nápravná opatření k uvedení stavebního výrobku ve shodu, nebo, je-li to vhodné, jej stáhnou z trhu nebo z oběhu. Pokud navíc výrobek představuje riziko, neprodleně o tom výrobci informují příslušné vnitrostátní orgány členských států, v nichž stavební výrobek dodávali na trh, a uvedou podrobnosti zejména o nesouladu a o veškerých přijatých nápravných opatřeních.

8. Výrobci poskytnou příslušnému vnitrostátnímu orgánu na základě odůvodněné žádosti všechny informace a dokumentaci nezbytné k prokázání shody stavebního výrobku s prohlášením o vlastnostech a souladu s jinými příslušnými požadavky tohoto nařízení v jazyce, kterému tento orgán snadno rozumí. Spolupracují s tímto orgánem na jeho žádost při všech činnostech, jejichž cílem je vyloučit rizika vyvolaná stavebními výrobky, které uvedli na trh.

## Článek 26

### **Evropské technické posouzení [16]**

1. Subjekt pro technické posuzování vydá evropské technické posouzení na žádost výrobce na základě evropského dokumentu pro posuzování vypracovaného postupem podle článku 21 a přílohy II.

Existuje-li evropský dokument pro posuzování, evropské technické posouzení může být vydáno i v případě, že byl vypracován mandát pro harmonizovanou normu. Vydání takového posouzení je možné do začátku období souběžné existence, stanoveného Komisí v souladu s čl. 17 odst. 5.

2. Evropské technické posouzení obsahuje vlastnosti, které mají být uvedeny v prohlášení, vyjádřené úrovní, třídou nebo popisem těch základních charakteristik, které byly dohodnuty mezi výrobcem a subjektem pro technické posuzování přijímajícím žádost o evropské technické posouzení pro zamýšlené použití uvedené v prohlášení a technické podrobnosti nezbytné pro provádění systému posuzování a ověřování stálosti vlastností.

3. S cílem zajistit jednotné provádění tohoto článku Komise přijme prováděcí akty pro stanovení formátu evropského technického posouzení postupem uvedeným v čl. 64 odst.

2

## Znění a obsah české normy na ocelové zárubně **ČSN 74 6501**:

Norma říká o rozdělení zárubní, definuje tvar profilů, rozměry zárubní pro dveře, polohu a tvar otvoru pro střelku a závoru v zámku v zárubních, polohu a umístění závěsů na zárubních, polohu umístění a rozměry otvorů pro zástrč, zkoušení, které norma předepisuje:

- kontrolu rozměrů a pravoúhlosti
- zkoušky fyzikálně-mechanických vlastností, které se dělají u nových typů zárubní, které se provádí:
  - odolnost proti nárazům ČSN 74 6486
  - odolnost proti působení vnějších sil: ČSN 74 6484
  - spolehlivost zárubně ČSN 74 6483
  - odolnost proti poškození a odolnost zakotvení zárubně se zkouší na osazené zárubní s otevřeným křídlem. Odolnost se zkouší vložením klínu z tvrdého dřeva 100 mm dlouhého o úhlu 7° do polodrážky mezi křídlo a zárubeň na doraz na hraně křídla se závěsem tak, aby zabraňoval zavření křídla. Na dveře se v místě kliky působí silou ve směru uzavírání kolmo k rovině křídla. Síla se zvyšuje pravidelně po 1 minutě ze 100 N na 500 N.
  - zkouška vzduchové propustnosti ČSN 74 6489 (pouze u speciálních dveří, např. zvukově izolačních)
  - zkouška požární odolnosti (i protipožárních dveří) ČSN 73 0852
  - pasívní bezpečnost proti násilnému překonání se zkouší u zárubní určených pro dveře se zvýšenou pasívní bezpečností podle stanovené metodiky (metodiky určuje Kriminalistický ústav)

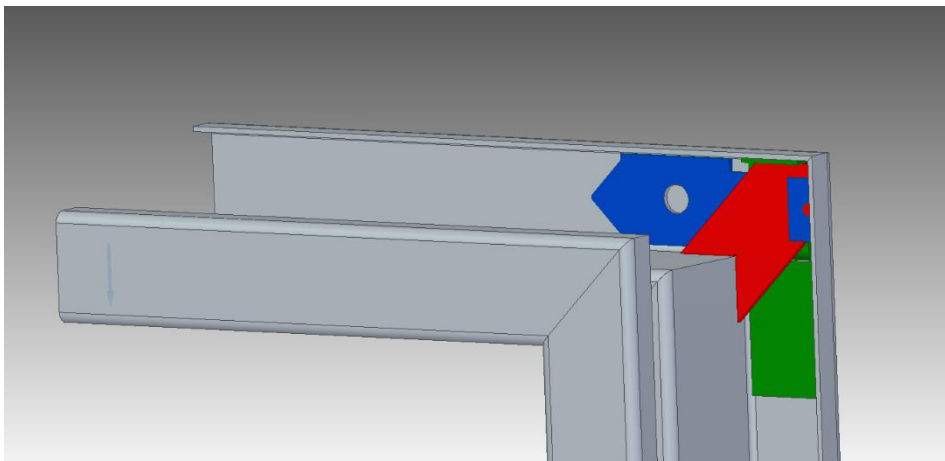
## 3.2 Popis a cíl zkoušky ocelových dveřní zárubní

Aby bylo možné výrobek uvést na trh, je nutné prokázání splnění všech požadavků, na základě čehož získá výrobek tzv. STO (stavebně technické osvědčení). Pro získání tohoto osvědčení je nutné provést příslušné zkoušky v akreditované laboratoři, což nemá tato práce za cíl. Cílem práce je tedy provést porovnání tuhosti a i celkové pevnosti spoje svařovaného a smontovaného spoje ocelových zárubní při působení zatěžující síly, vyhodnotit deformaci dílčích komponent a případně provést konstrukční zásah před sériovou výrobou. Při zkouškách jsem se zabýval porovnáním obou variant spojů – nově vymyšlený způsob vytvoření spoje a „klasické“ svařované ocelové zárubně.

### 3.2.1 Reálný experiment ocelových dveřních zárubní

Pro vypracování této práce jsem musel provést zjednodušení, vymyslet tvar zkušební vzorku, provést přípravu zkušební vzorku a stanovit jeho způsob zatěžování tak, aby bylo možné výsledky mezi sebou porovnat. Jelikož jsou dveřní zárubně značně rozměrné a neměl jsem je možnost testovat tak, jak se to dělá v akreditovaných zkušebnách, tak jsem testoval pouze přechod mezi nadpražím a stojkou – tzn. řešený spoj zárubní, který tvoří zkušební vzorek.

Konkrétně se jedná o montovaný spoj, který se do ocelových dveřní zárubní vkládá zevnitř. Skládá se z několika dílů – **přivařený díl A**, **přivařený díl B** a **vkládaný díl C**. Díly A a B jsou v zárubních již přivařeny od výrobce, vkládaný díl C si do zárubní vloží sám zákazník. Díly jsou zhotoveny z nízkouhlíkové oceli o tloušťce pásu 1,4 mm. Tento spoj je hlavním konstrukčním prvkem zárubní.

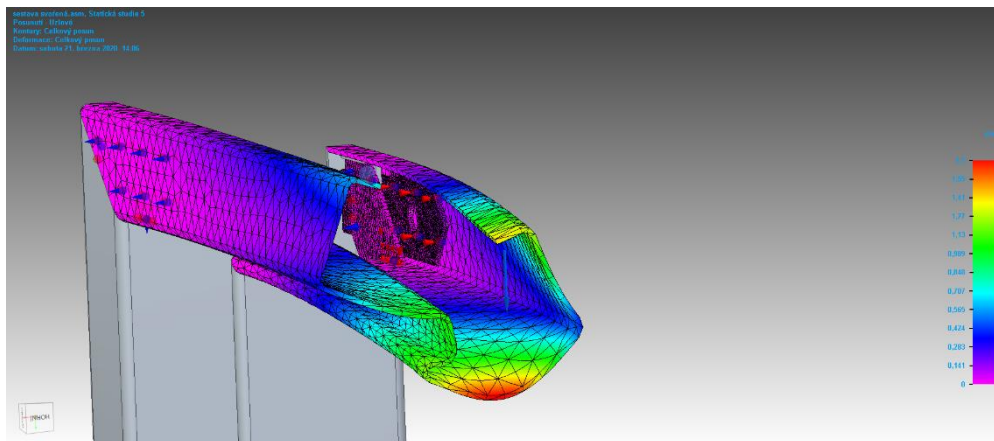


Obrázek 19 Dílčí komponenty chytrých zárubní

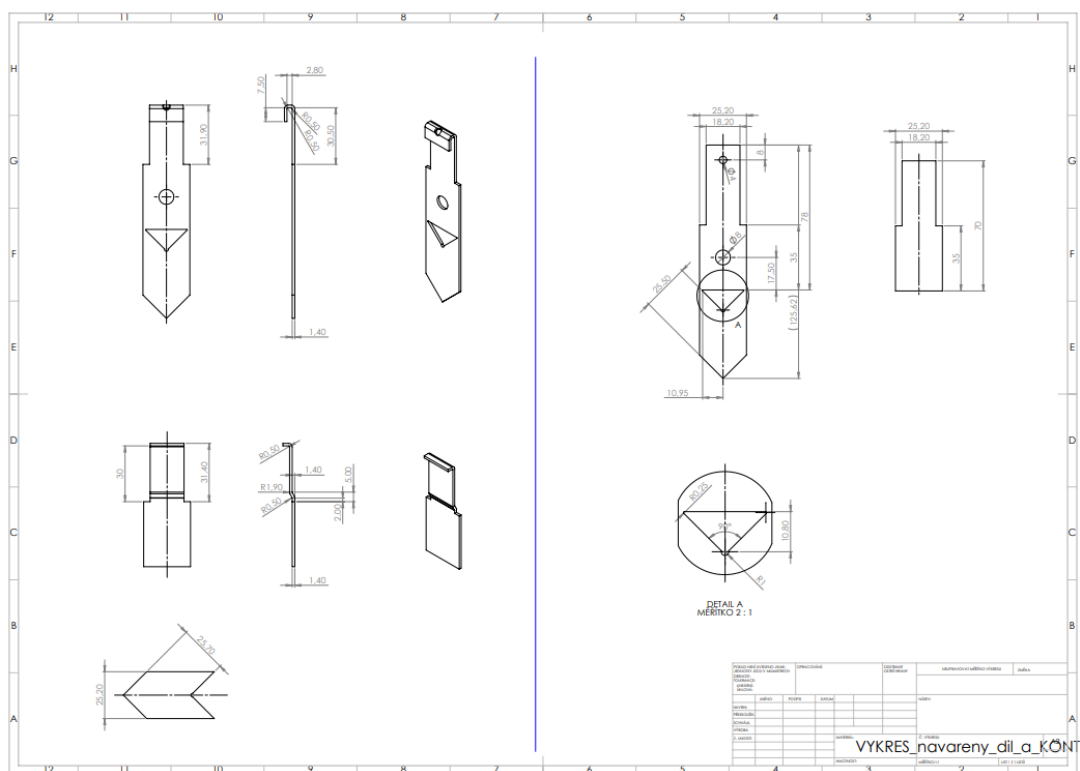
Zkouška je prováděna destruktivní metodou, a to konkrétně tahovou a tlakovou zkouškou. Na zkoušku bylo k dispozici několik částí reálných ocelových zárubní, kdy se svíslá stojna plně zavazbila – odpovídá to reálnému užití, kdy jsou zárubně vetknuté. Na rameni 200 mm působí zatěžující síla. Byly provedeny celkem 3 zkušební kola, kdy se jednalo o 2x tlakovou a 1x tahovou zkoušku.

### 3.2.2 Simulace v CAD programu pro porovnání s výsledky reálné zkoušky

Zkoušku jsem nejprve nasimuloval v CAD programu, kde byly již zadané konkrétní rozměry a působící síla, které odpovídají reálným zárubním. Rozměry příslušných segmentů jsou na obr. 21, rozměry ocelových zárubní jsou k dispozici na obr. 24. Volil jsem jemnější síť těles, aby byly detailněji vidět deformace a ty poté porovnat s realitou. Na obr. 20 lze vidět vazbu přivařeného dílu B, která nahrazuje svarový spoj a umožňuje pouze deformaci dílu spolu se zárubní.



Obrázek 20 Simulace zárubní při zatěžující síle 200 N na rameni 200 mm



Obrázek 21 Komponenty pro montovaný spoj

Na obrázku níže je vidět reálný spoj dveřních zárubní, toto bylo první zkoušení, kdy přivařený díl A neměl ještě konstrukční úpravu a po prvních zkouškách muselo dojít k modifikaci dílu z důvodu větší únosnosti. Vkládaný díl při prvních zkouškách prakticky vypadl a spoj se zdeformoval v okamžiku vypadnutí.



*Obrázek 22 Ocelové zárubně osazené přípravkem*

Ke zkoušce slouží univerzální elektromechanický zkušební trhací stroj LabTest 5.100 SP1, který je osazen softwarem LabTest Test&Motion. Tento stroj je vhodný pro statické zkoušky – tahové, tlakové, ohybové. Rovněž umožňuje i provádět cyklické namáhání.

### 3.3 Parametry zkušebního stroje LabTest

Tabulka 2 Technická data stroje LabTest [19]

Technická data	Jednotka	Hodnota
Jmenovité zatížení	kN	100
Min zkušební rychlost	mm/min	0,001
Max zkušební rychlost	mm/min	793
Návratová rychlost	mm/min	793
Přesnost řízení rychlosti	%	0,5
Rozlišení polohy příčnicku	μm	1
Opakovatelnost	μm	2
Výška pracovního prostoru	mm	1130
Šířka pracovního prostoru	mm	400
Rozměry stroje VxŠxH	mm	2377x920x880
Hmotnost stroje	kg	688
Tuhost rámu	mm/N	
Napájecí napětí	V	230 – 50 HZ
Příkon zdroje	VA	2200

Podmínky zkoušky jsem si zvolil sám, ale pro oba druhy zárubní stejné.

Rychlost posuvu příčnicku byla nakonec stanovena na **5 mm/sec** s ohledem na snímací rychlost kamery, která proces sledovala. Tato rychlost byla nastavena na všechny druhy zkoušek, aby bylo možné vzorky mezi sebou porovnat.

Nulová poloha stroje byla stanovena na horní plochu nedestruovaného zkušebního vzorku.

### 3.4 Konstrukce spoje

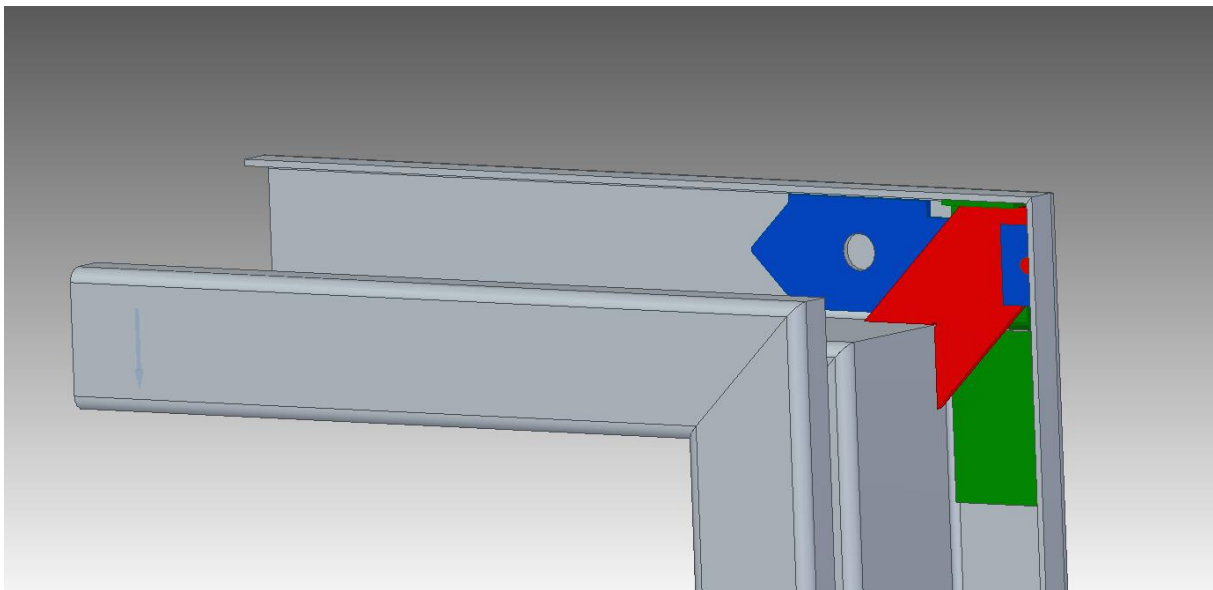
Pro lepší přehlednost jsou nyní díly označeny barevně:

- Svařovaný díl A
- Svařovaný díl B
- Vkládaný díl C

Konstrukce spoje je velmi jednoduchá, musí ale být dodržena technologická kázeň. Profilovaný plech (zárubně samotné) musejí být pečlivě uřízlé pod požadovaným úhlem – nejčastěji úhel 45°. Stejně tak vkládaný díl musí respektovat úhel 90°.

#### **Přehledný popis konstrukce**

1. Sestavení ocelových zárubní do požadovaného tvaru – tvar U
2. Navaření modrého dílu B na nadpraží
3. Navaření zeleného dílu na stojku
4. Přistavení vkládaného červeného dílu pomocí vnější mechanické síly

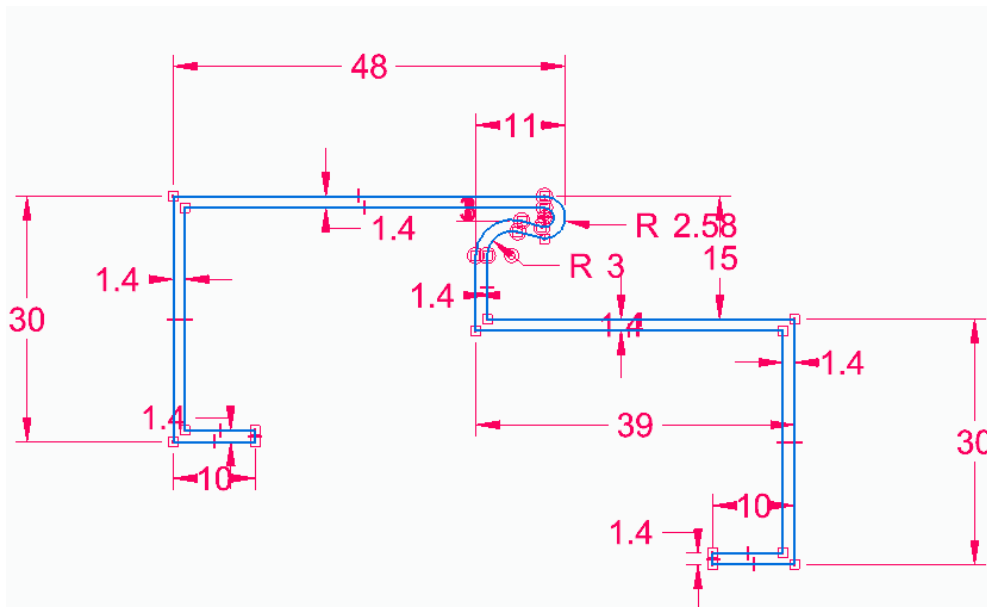


*Obrázek 23 Sestavený spoj*

Modrý díl má přehyb z důvodu zajištění vkládaného dílu – při zatěžování červený díl „vystřelil“ ze spoje. Modrý díl se technologicky upravil a vyzkoušel. Tato úprava potvrdila teorii a spoj tak nyní snese mnohem větší zatížení. Číselně to znamená rozdíl již při 200 N – nyní je spoj stále vizuálně přívětivý tzn. nezdeformovaný i při zatížení 200 N.

### 3.5 Zkouška ocelových dveřních zárubní

Vzorkem pro zkoušku jsou dva ocelové nosníky konstantního průřezu, na kterých je proveden určitým způsobem spoj. Nadpraží na které působí zatěžovací trn je dlouhé 200 mm, stojka ve které jsou zhotoveny díry pro vetknutí o délce 340 mm.



Obrázek 24 Rozměry profilu zárubní

Pro zkoušku nám byly dodány již připravené spoje zárubní. Zkoušení probíhalo na 3 etapy.

- 1. zkoušky – tlakové, zkušelo se s nezajištěným vkládaným dílem, který při zatěžování „vypadl“
- 2. zkoušky – tlakové, zkušely se již zárubně se zajištěným vkládaným dílem a dále jen svařené zárubně (místo montovaného spoje byl na zárubních plochý svar)

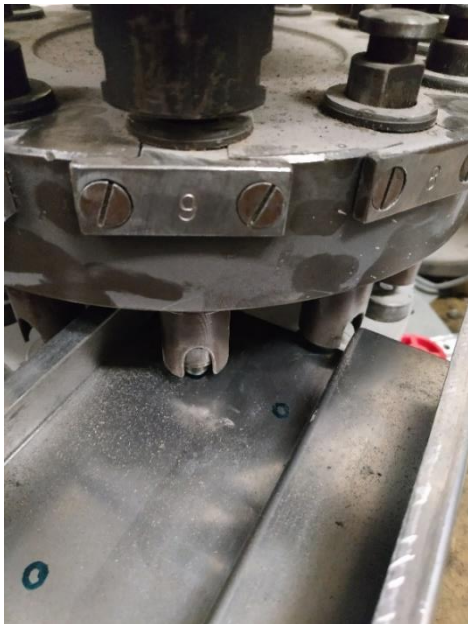
Plochý svar byl vytvořen z pohledové strany zárubní a to tak, že se sousední zárubně vybrousili v místě svaru do V a tento prostor se vyplnil svarovou housenkou. Housenka se poté plošně upravila – zabrousila a díl tak vypadá jako monolit. Z vnitřní strany zárubní byl vytvořen také svar, ten se ale nijak dále neupravoval.

- 3. zkoušky – tahové se sestaveným spojem, jinak stejné podmínky jako předchozí zkouška

Před samotnou zkouškou bylo nejprve potřeba do stojny připravit díry, za které se zkušební vzorek upevnil k rámu stroje pomocí metrických šroubů. Materiál je tenký plech o síle 1,4 mm,



tudíž se díry vystřihly na revolverové děrovače. Toto se provedlo u všech vzorků stejně, jak u svařovaných zárubní bez přípravku, tak se u vzorků s montovaným spojem. Tímto byly zaručeny stejné podmínky při experimentu.



Obrázek 26 Revolverový děrovač



Obrázek 25 Příprava upeňovacích otvorů

Po technické přípravě následoval již konkrétní experiment. Zkušební podmínky byly pro všechny díly stejné, tj. stejné upevnění, stejná rychlost posuvu a stejné rameno, na kterém působil zatěžovací trn stroje. Zkouška se dokumentovala, a to jak pomocí kamery a fotoaparátu, tak pomocí PC programu, kde se vynášel graf zatěžování.

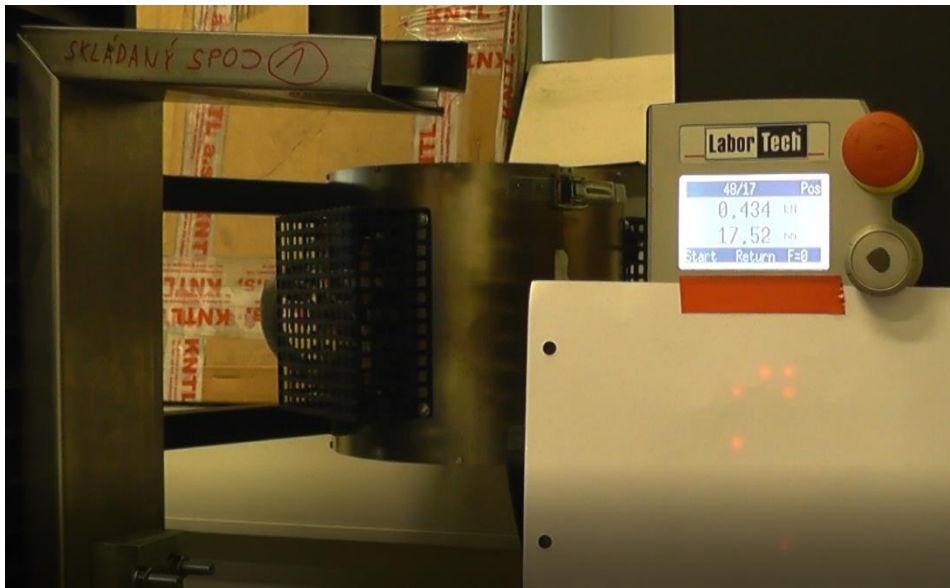
Zkoušela se pevnost spoje mezi zárubněmi. Zátěžný trn simuloval např. tlak stěny na ocelový rám. Horní díl se deformoval způsobem, jaký je zobrazen v simulaci a spoj se rozevíral.

- První tlakové testy byl přerušeny při silách 352 N pro skládaný spoj (posun příčnicku 18,47 mm) a 2452 N pro svařovaný spoj (31,05 mm).



Obrázek 27. Zkouška skládaných ocelových dveřních zárubní s nezajištěným vkládaným dílem C

- Druhé testy byly opět tlakové a skončily při silách 434 N pro skládaný spoj (17, 52 mm) a 2064 N pro svařovaný spoj (31,3 mm).



Obrázek 28 Zkouška skládaných ocelových dveřních zárubní se zajištěným vkládaným dílem C

Je patrné, že úprava zkoušeného přípravku pro zkoušky značně zárubním značně dodala tuhost, jedná se pouze o zajištění jednoho dílu a při téměř při stejném posunu jsem při zkoušce se silou o 100 N výš. Tuhost je také dána přesností výroby spoje.



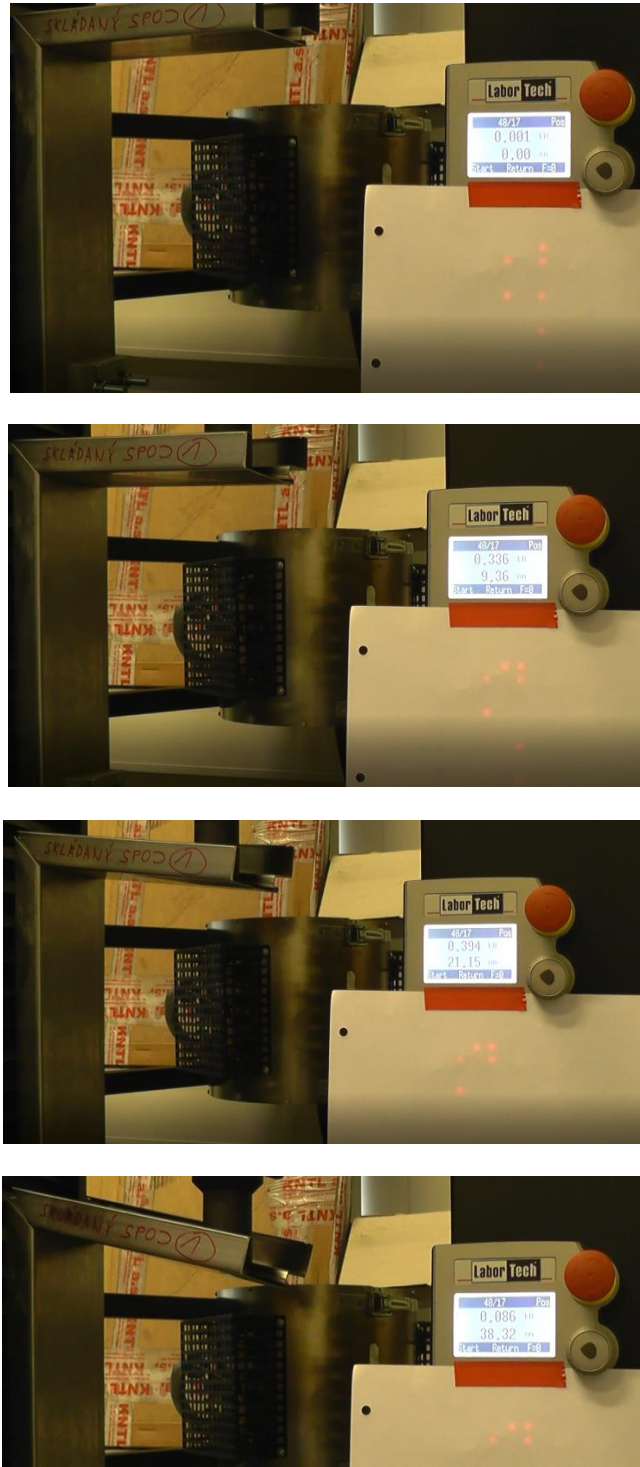
Obrázek 30 Skládaný spoj připravený pro tlakovou zkoušku



Obrázek 29 Skládaný spoj po zkoušce

### 3.5.1 Průběh experimentu

Zkouška byla dokumentována pomocí kamery, zde je průběh experimentu, kdy se zatěžoval skládaný spoj, alespoň v obrázcích:



Obrázek 31 Průběh zatěžování skládaného spoje

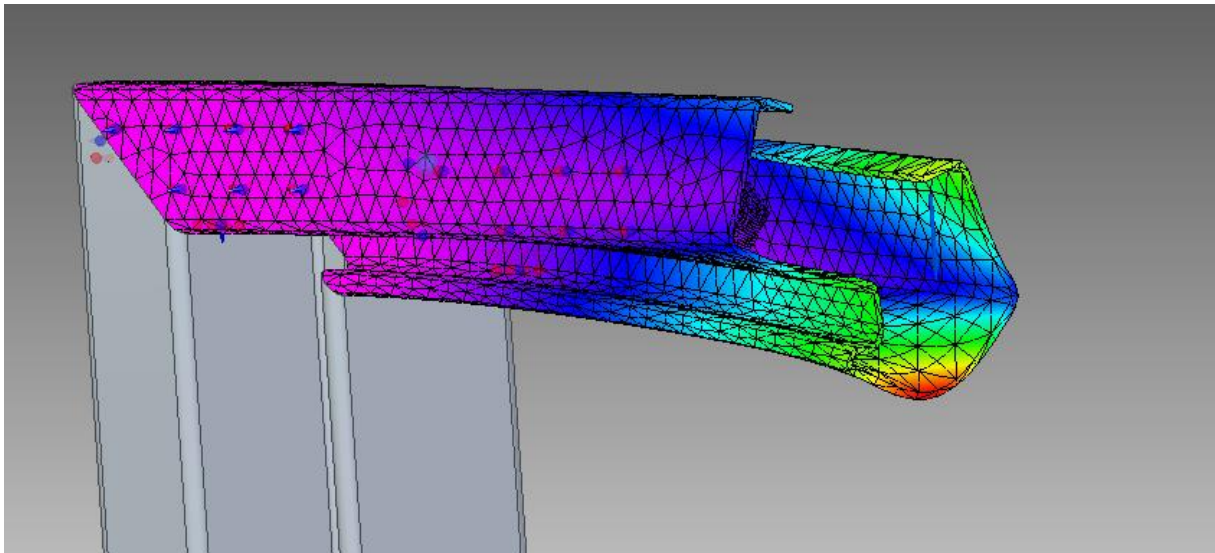
### 3.6 Porovnání výsledků zkoušky

Zárubně jsem zkoušel celkem ve 3 etapách a v každé etapě bylo několik zkušebních vzorků. První etapa byla zkušební – prototypová, v poslední je již modifikovaný a optimálně navržený přípravek pro zkoušky ocelových dveřních zárubní.

Příčné rozměry zkušebního vzorku jsem ponechal již od prvotního návrhu, měnil jsem pouze konstrukci svařovaného dílu A (obr. 21). Při prvních zkouškách tento díl neměl přehyb přes vkládaný díl C a tento díl při zatěžování vypadával – následovala okamžitá destrukce vzorku. Následná modifikace dílu A zajistila, že spoj snese podstatně větší zatížení, jelikož vkládaný díl zůstává i nadále na svém místě.

Pokud se jedná o porovnání svařovaných ocelových zárubní a skládaných zárubní, tak svařované zárubně snesou větší zatížení oproti montovanému spoji, ale síla, která zaručuje deformaci je již velmi vysoká ( v řádech stovek N) a taková síla při provozu zárubní nemůže nastat. Z tohoto hlediska lze požadovat montovaný spoj za vyhovující pro své účely.

Všechny parametry pro 3D simulaci byly nastaveny podle budoucí reálné zkoušky, tudíž byl i předpoklad podobného výsledku. Tento předpoklad se při experimentu potvrdil a jak je vidět na obrázcích níže, spoje vykazují značnou podobnost při deformaci.



Obrázek 32 Předpokládaná deformace v místě působení síly u svařeného spoje [-]



Obrázek 33 Skutečná deformace v místě působení síly svařeného spoje [-]

## 5. Závěr

V rešeršní části jsem se zabýval základním principem tváření. Dále jsem jej rozvíjel a provedl jsem popis jednotlivých výrobních technologií.

V rámci seznámení s problematikou jsem uvedl právní předpisy, jež předepisují na dveřní uzávěry, jedná se především o požadavky, které musí splňovat a bez kterých není možné vyrábět ani certifikovaně uvádět na trh tento druh výrobků. V rámci těchto předpisů jsou i patrné zkoušky, pomocí kterých jsou vlastnosti ověřovány, a které jsou důležité pro získání stavebnětechnického osvědčení, bez kterého není možné výrobky uvádět na trh.

V rámci práce jsem provedl popis rohových spojů, které budu porovnávat. Jedná se o původní konstrukční řešení, které je tvořeno svarovým spojem jednotlivých komponent a dále pak nové řešení, které spočívá v připevnění montážních prvků k základním dílům dveřního uzávěru s možností montáže u zákazníka. Motivací pro nové konstrukční řešení je, mimo jiné, snížení požadavků na přepravní prostor k dopravě výrobku ke koncovému zákazníkovi.

V rámci práce jsem nepředpokládal realizaci experimentů, které jsou nutné pro uvedení výrobku na trh, takové, které se realizují v akreditovaných laboratořích. Úkolem práce bylo porovnat chování spoje v průběhu zatěžování.

Navrhl jsem způsob zkoušení. Dále bylo nutné vytvořit zkušební přípravek, pomocí kterého je možné zkušební vzorek upnout do zkušebního stroje. Podle způsobu zatěžování jsem připravil zkušební vzorky, následně jsem provedl zkoušky. Na základě prvotních výsledků jsem modifikoval realizovaný spoj – svařovaný díl A modře značený (obr. 21) má nyní přehyb aby zabránil vkládanému dílu při zatěžování vypadnout a celý spoj nyní snese podstatně větší zatížení než před modifikací.

Vytvořil jsem základní model pro virtuální zkoušení, který je možné použít pro více typů zárubní. Tento model umožňuje hodnotit spoj, a to i při změně zatížení v čase případně při změnách jiným vstupních podmínek např. teplota. Původním smyslem byla univerzálnost přípravku. Tento plán byl spolu s funkčností **splněn**, ale vedení projektu *chytrých zárubní* rozhodlo, že se nakonec bude dělat pouze jeden typ.

Nejvíce zkoumanou částí je ale spoj 45° mezi nadpražím a stojkou. Ten se při zatěžování rozevírá. Na obrázku 29 je již překročená požadovaná zatěžující síla a řešila se již pouze maximální únosnost spojení. Spoj je vizuálně přívětivý do zatížení přibližně 350 N. Takové zatížení na zárubně ale v reálném provozu nemůže vzniknout, jelikož se nad stavebními otvory dělají překlady. Z tohoto hlediska měly zárubně předpoklad, že splní atestaci a mohou se sériově, **bezpečně** vyrábět, jelikož se paralelně s mými zkouškami prováděly i zkoušky v akreditované nezávislé laboratoři a výsledky jsou si velmi podobné.

Výsledky této práce napomohly ke zvýšení pevnosti nově vytvářeného spoje. Následně prováděné zkoušky v akreditovaných laboratořích potvrdili dostatečnou pevnost spoje, výrobek uspěl v základních zkouškách a je tedy možné jej uvést na trh. Navíc byly prováděny další zkoušky, na základě kterých bude možné produkt nabízet jako bezpečnostní a také jako protipožární.

Na tuto práci lze navázat v budoucnu např. při dimenzování zárubní na větší únosnost. Myslím si, že při změně tloušťky zkušebního přípravku se dosáhne jiných hodnot zatěžovací síly spolu se změnou deformace. Taktéž by se dal změnit směr působící síly, aby se z tlakové zkoušky stala zkouška tahová. V reálné situaci je sice tento způsob zatížení velmi nepravděpodobný a nepředpokladatelný, řešený spoj by měl ale jiné chování.

Rovněž lze vycházet z virtuálního modelu – SW simulaci by se dalo využít jako prvotní nástroj konstruktéra a experiment provádět pouze pro ověření předpokladů. Simulace může šetřit čas a s tím spojené náklady.

## 5. Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy). Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02351-6
- [2] Strojírenské tváření [online] ČVUT: Obor strojírenské technologie, Praha. [cit. 2018 – 04-28]. Dostupné z: [https://drive.google.com/drive/folders/1Gu7tj4U\\_4LM-TgicKnjG8KDpkmtKg47M](https://drive.google.com/drive/folders/1Gu7tj4U_4LM-TgicKnjG8KDpkmtKg47M)
- [3] Skripta tváření: technologie tváření [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~sbenesov/Skriptatvareni.pdf>
- [4] LENFELD, Petr. Technologie II. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-80-7494-304-1
- [5] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. Strojírenská technologie 1. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-26-5.
- [6] NARAYANAN, R. Ganesh, DIXIT, Uday Shanker, ed. *Metal forming: Technology and Process Modelling* [online]. McGraw Hill, 2013 [cit. 2019-12-25]. ISBN 978-1-25-900937-7.
- [7] DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
- [8] MANUFACTURING GUIDE. Roll forming [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/roll-forming>
- [9] TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC FAKULTA STROJNÍ. Technologie II: Technologie plošného tváření – ohýbání [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)
- [10] Kovy a kovové konstrukce [online]. Praha, 2006 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://mech.fd.cvut.cz/members/malinovsky/teorie-konstrukci/Kovy.pdf>.
- [11] Technologie II: Tváření kovů, zpracování plastů [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec - Fakulta strojní [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm#011](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm#011)
- [12] Válcování vnějšího závitu [online]. [cit. 2019-12-24]. Dostupné z: <https://jvmmetal.cz/valcovani-zavitu/>
- [13] TIAN FON. Introduction of roll forming line [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://xxtfrollforming.blogspot.sk/>
- [14] METFORM INTERNATIONAL LTD. Roll forming, Coil processing, Individual equipment [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.metformintl.com/products.html>
- [15] Č.163/02002 Sb. [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-163>
- [16] Nařízení Evropského parlamentu a rady č.305/2011 [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0305>
- [17] Hliníkový profil [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <http://cz.fhaluminum.com/aluminum-profile/aluminum-extrusion-profile/modular-aluminium-profile-system.html>
- [18] Rovinný ohyb [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: [https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/kontinuum/3\\_5](https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/3_5)



[19] *Labortest* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <http://www.labortech.cz/aplikace-dynamicke-a-unavove-zkusebni-stroje-h-5/>

[20] *Ohyb* [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: [https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/kontinuum/3\\_5](https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/3_5)

[21] ZHANG, Feifei, Jianbin RUAN, Ji ZHANG, Kai HE a Ruxu DU. Experimental study of springback behavior in incremental bending process. *Procedia Manufacturing* [online]. 2018, 15, 1290-1297 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.07.356. ISSN 23519789. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978918310527>

[22] KRINNINGER, Michael, Daniel OPRITESCU, Roland GOLLE a Wolfram VOLK. Experimental Investigation of the Influence of Punch Velocity on the Springback Behavior and the Flat Length in Free Bending. *Procedia CIRP* [online]. 2016, 41, 1066-1071 [cit.2020-07-30]. DOI: 10.1016/j.procir.2015.12.137. ISSN 22128271. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827116000093>

[23] UEMORI, Takeshi, Tetsuo NAKA, Naoya TADA, Hidenori YOSHIMURA, Takashi KATAHIRA a Fusahito YOSHIDA. Theoretical predictions of fracture and springback for high tensile strength steel sheets under stretch bending. *Procedia Engineering* [online]. 2017, 207, 1594-1598 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.1054. ISSN 18777058. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705817358472>

[-] – vlastní zdroj

## 6. Seznam obrázků

Obrázek 1 Tahová zkouška kovového materiálu s výraznou mezí kluzu [10] .....	10
Obrázek 2 Rozdělení tváření podle teploty [11].....	11
Obrázek 3 Protlačované hliníkové profily při tváření za studena [17] .....	11
Obrázek 4 Princip válcování [5] .....	12
Obrázek 5 Druhy válcování [4] .....	13
Obrázek 6 Profilové válcování vnějšího závitu [12].....	13
Obrázek 7 Tažení bez přidržovače [11] .....	14
Obrázek 8 Tažný nástroj [11].....	14
Obrázek 9 Jednoduchý střižný nástroj [4] .....	15
Obrázek 10 Postupový střižný nástroj [4] .....	15
Obrázek 11 Rozložení a velikost napětí v materiálu při ohýbání [4] .....	16
Obrázek 12 Ohýbadlo pro V ohyb (vlevo) a pro U ohyb (vpravo) [4].....	16
Obrázek 13 Duplexní profilovací stroj se spojeným hřídelem [14] .....	17
Obrázek 14 Různé druhy profilů [13] .....	17
Obrázek 15 Tahový diagram s výraznou mezí kluzu [1] .....	18
Obrázek 16 Uložení prutu při vzpěru .....	19
Obrázek 17 Rovinný ohyb a neutrální vlákno [20] .....	20
Obrázek 18 Ohyb vetknutého nosníku [20] .....	20
Obrázek 19 Dílčí komponenty chytrých zárubní .....	27
Obrázek 20 Simulace zárubní při zatěžující síle 200 N na rameni 200 mm.....	28
Obrázek 21 Komponenty pro montovaný spoj .....	28
Obrázek 22 Ocelové zárubně osazené přípravkem .....	29
Obrázek 23 Sestavený spoj.....	31
Obrázek 24 Rozměry profilu zárubní .....	32
Obrázek 25 Příprava upevňovacích otvorů .....	33
Obrázek 26 Revolverový děrovač.....	33
Obrázek 27. Zkouška skládaných ocelových dveřních zárubní s nezajištěným vkládaným dílem C.....	33
Obrázek 28 Zkouška skládaných ocelových dveřních zárubní se zajištěným vkládaným dílem C.....	34
Obrázek 29 Skládaný spoj po zkoušce .....	34
Obrázek 30 Skládaný spoj připravený pro tlakovou zkoušku .....	34
Obrázek 31 Průběh zatěžování skládaného spoje .....	35
Obrázek 32 Předpokládaná deformace v místě působení síly u svařeného spoje [-] .....	37
Obrázek 33 Skutečná deformace v místě působení síly svařeného spoje [-] .....	37

## 7. Seznam tabulek

Tabulka 1 Seznam výrobků s vyznačením postupů posouzení shody [15] .....	22
Tabulka 2 Technická data stroje LabTest [19] .....	30