

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2341 Strojírenství  
Studijní zaměření: Konstrukce průmyslové techniky

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Konstrukce z termoplastů a způsoby jejich svařování

Autor: **Martin CINK**  
Vedoucí práce: **Ing. Eva KRÓNEROVÁ, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin CINK**  
Osobní číslo: **S11B0066K**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **Konstrukce průmyslové techniky**  
Název tématu: **Konstrukce z termoplastů a způsoby jejich svařování**  
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Vypracování rešerše na téma termoplasty a jejich zpracování. Vypracování dokumentace pro svaření zadaného dílu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše na zadané téma.
2. Vypracování 3D modelu a požadované výpočty.
3. Zhodnocení návrhu a výkresová dokumentace.

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

**LOYDA, M. ET AL. Svařování termoplastů. Praha: UNO, 2011**

**KOLOUCH, J. Strojní součásti z plastů. Praha: SNTL, 1981**

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

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

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



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

V Plzni dne 23. září 2013

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Čink	Jméno Martin		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2341 „Konstrukce průmyslové techniky“			
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Krónerová, Ph.D.		Jméno Eva	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Konstrukce z termoplastů a způsoby jejich svařování			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2014
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	53	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	44	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	9
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>  <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	<p>Bakalářská práce se zaměřuje na plastové materiály, zejména termoplasty.</p> <p>Je rozdělena na dvě části: plastové materiály a svařování plastových materiálů. Práce obsahuje konstrukční návrh záchytné nádrže, která je vyrobena z polypropylenu. Konstrukční návrh zahrnuje statický výpočet, konstrukční výkresy a 3D modely vytvořené v programu SolidEdge_ST4.</p>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>  <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	<p>Plasty, termoplasty, svařování, konstrukce, záchytná nádrž, statický výpočet, konstrukční výkres</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Cink	Name Martin	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2341 "Design of Manufacturing Machines"		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Krónerová, Ph.D.	Name Eva	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	BACHELOR	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Thermoplastic constructions and their welding		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	53	<b>TEXT PART</b>	44	<b>GRAPHICAL PART</b>	9
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The bachelor thesis is focused on plastic materials especially thermoplastics. It is divided into two parts: plastic materials and welding of plastic materials. The thesis includes the design proposal of safety tank. It is made of polypropylene. The design proposal incorporates static calculation, design drawings and 3D models created in programm SolidEdge_ST4.
<b>KEY WORDS</b>	Platics, thermoplastics, welding, design, safety tank, static calculation, design drawing

## Obsah

1	Úvod .....	7
2	Představení plastových materiálů .....	9
2.1	Charakteristika plastů.....	9
2.2	Základní rozdělení polymerů .....	9
2.3	Termoplasty .....	10
2.3.1	Polyolefiny a fluoroplasty .....	10
2.3.2	Vinylové polymery.....	11
2.3.3	Styrenové a akrylové polymery .....	12
2.3.4	Polyestery a polyethery .....	13
2.3.5	Polyamidy a polyurethany .....	14
2.4	Technologie výroby polymerů .....	15
2.4.1	Polymerace.....	15
2.4.2	Polykondenzace .....	15
2.4.3	Polyadice.....	16
2.5	Základní polotovary z plastů .....	16
2.5.1	Technologie a zpracování polotovarů .....	16
2.5.2	Plastové výrobky a polotovary zpracované svařováním.....	19
3	Svařování plastových materiálů.....	21
3.1	Podmínky svařování .....	21
3.2	Rozdělení metod svařování termoplastů.....	22
3.2.1	Svařování desek na tupo horkým tělesem .....	23
3.2.2	Polyfúzní svařování.....	24
3.2.3	Svařování horkým tělesem ohraňováním .....	24
3.2.4	Svařování horkým plynem a přídavným materiálem.....	25
3.2.5	Svařování extruderem.....	26
3.3	Zkoušky materiálů před svařováním .....	28
3.3.1	Vstupní kontroly materiálů .....	28
3.4	Zkoušky svarových spojů.....	28
3.4.1	Nedestruktivní zkoušky .....	28
3.4.2	Destruktivní zkoušky.....	29
4	Konstrukce záchytné vany z termoplastu.....	30
4.1	Statický výpočet beztlaké pravoúhlé nádrže .....	30

4.1.1	Požadované vlastnosti a technické parametry .....	30
4.1.2	Konstrukční rozměry nádrže.....	31
4.1.3	Konstrukční data .....	31
4.1.4	Charakteristické hodnoty materiálu .....	31
4.1.5	Návrh a kontrola stěn nádrže .....	35
4.1.6	Návrh a kontrola vyztužení okraje nádrže.....	39
4.1.7	Přehled použitých zkratk a symbolů .....	41
4.2	Konstrukční výkres a 3D model záchytné vany.....	42
4.3	Výroba záchytné vany.....	43
4.3.1	Použité metody svařování.....	43
4.3.2	Náhled provedení jednotlivých svarů.....	44
5	Závěr.....	45
6	Použitá literatura .....	46



# 1 Úvod

Plasty hrají v našem životě nezastupitelnou roli. Setkáváme se s nimi prakticky od narození. Jak říká prof. ing. Ducháček: „*Dnešní dobu můžeme bez nadsázky nazvat dobou polymorfní.*“<sup>1</sup>

Tento prudce se rozvíjející materiál se vyskytuje ve všech oblastech lidského žití. Střetáváme se s ním každodenně. Jen pouhým pohledem kolem sebe se můžeme přesvědčit, že jsme jím zcela obklopeni. Plast nahradil od doby svého vzniku téměř všechny ostatní materiály, pro příklad uveďme dřevo, sklo, porcelán nebo textilní tkaniny.

S prvním přírodním polymerem se setkal při svých cestách již Kryštof Kolumbus v Jižní Americe roku 1493. Byl jím kaučuk. Tím byly položeny základy k expanzi polymerů do lidského života. Od té doby člověk pokračoval ve svém snažení o výrobu syntetického kaučuku a o to, aby mu dal nové a stálé vlastnosti. Přicházel na další látky a sloučeniny pro jeho výrobu. Lidstvo si na první syntetický plast počkalo až do roku 1835, kdy H. V. Regnault laboratorně připravil polyvinylchlorid (PVC) a zavedl termín polymer.

I v dnešní době člověk nalézá nové metody a technologie pro rozvoj a výrobu polymerních materiálů.

Téma plasty a polymery je mi velmi blízké. Nejen proto, že dennodenně, stejně jako každý člověk, plasty používám, ale také proto, že pracuji ve firmě, jež se výrobou plastových dílů a součástí zabývá.

Chtěl bych se touto prací dozvědět více o látce, bez níž si už náš život nedovedeme představit. Doufám, že mi téma podá hlubší vysvětlení vzniku polymerů, dodá další informace o jejich rozdělení, druzích a vlastnostech a pomůže mi i v mém profesním rozvoji. Práce by se mohla stát i zdrojem informací nebo motivací pro další, kteří se rozhodnou o toto obsáhlé téma zajímat.

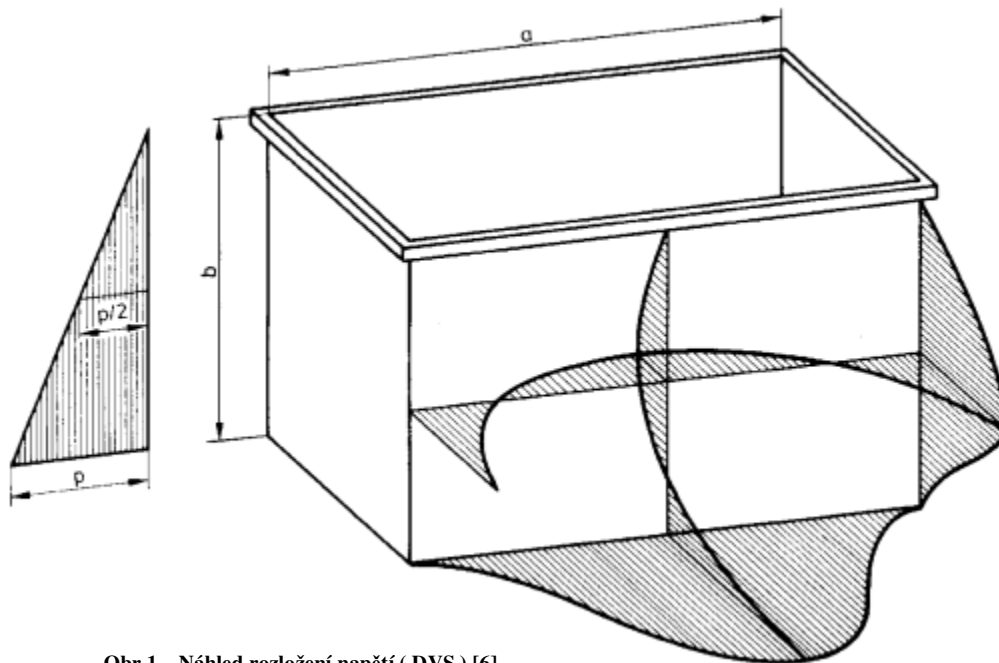
Bakalářská práce je rozčleněna na dvě části, a to teoretickou rešerzi a praktickou část. Teoretická část obsahuje dvě hlavní kapitoly. V první, nazvané Představení plastových materiálů, se chci zabývat plasty jako takovými: jejich charakteristikou, rozdělením, druhy, technologií výroby a základními polotovary. Ve druhé se věnuji svařování plastových materiálů, konkrétně podmínkám svařování, rozdělení metod, zkouškám materiálů před svařováním a zkouškám svarových spojů.

---

<sup>1</sup> Ducháček, V.: Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití, 1.vydání, Praha, VŠCHT, 1995, ISBN 80-7080-241-3

Název mé práce zní Konstrukce z termoplastů a způsoby jejich svařování, proto jsem praktickou část, již pojmám jako hlavní bod mého studia o termoplastech, věnoval návrhu konstrukce záchytné vany z termoplastu. Konstrukční návrh je podložen německou směrnicí DVS 2205.

Česká technická norma pro návrh termoplastických nádrží je např. ČSN EN 12573-3.



Obr.1 – Náhled rozložení napětí ( DVS ) [6]



Obr.2 – Směrnice DVS [6]

## 2 Představení plastových materiálů

### 2.1 Charakteristika plastů

*„Plasty (polymery) jsou organické materiály polymerní povahy, vyráběné synteticky z nízkomolekulárních výchozích látek. Plasty lze tvarovat a tvářet, přičemž alespoň jednou procházejí plastickým stavem.“<sup>2</sup>*

Plasty jsou oproti výchozím nízkomolekulárním látkám látky makromolekulární - tvořené velkými molekulami, které se skládají z množství základních jednotek tzv. merů. Základním prvkem pro makromolekulární sloučeniny je uhlík. Ten má schopnost vytvářet dlouhé řetězce a je tedy v těchto sloučeninách vždy obsažen. Další prvky vyskytující se v plastech jsou např. křemík, kyslík, dusík, vodík.

Makromolekuly se mohou díky své délce vzájemně zaplétat, a proto mají charakteristické vlastnosti jako je elasticita, vysoká viskozita, tepelná odolnost nebo tvrdost.

### 2.2 Základní rozdělení polymerů

Podle hlediska chování za běžné a zvýšené teploty rozdělujeme polymery na:

Tab.1 – Rozdělení polymerů

<i>Polymery</i>		
<b>Kaučuky</b>	<b>Termoplasty</b>	<b>Reaktoplasty</b>
<b>Elastomery</b>	<b>Plasty</b>	

Plasty - jsou za běžných podmínek většinou tvrdé polymery. Název plasty vznikl podle toho, že se při zvýšené teplotě stávají plastickými a dají se tvarovat. Plasty dále dělíme na termoplasty a reaktoplasty, podle toho zda je změna z plastického stavu do tuhého vratná či nikoli. Termoplasty působením tepla měknou a působením chladu opět tuhnou, mění se vratně. Oproti tomu u reaktoplastů působením tepla dochází k chemické reakci, plasty se vytvrzují a mění se nevratně do nerozpustného stavu. Mezi reaktoplasty můžeme zařadit např.: fenolformaldehydovou pryskyřici, známou pod původním názvem bakelit. Příkladem termoplastů mohou být nejzpracovávanější hmoty jako polyethylen, polypropylen, polystyren. Jimi se budeme zabývat v následující kapitole.

<sup>2</sup> Loyda, M.: Svařování termoplastů, 2.doplněné a rozšířené vydání, Praha, UNO Praha spol.s.r.o., 2011, ISBN 978-80-904949-0-9

Elastomery - jsou plastické polymery; se stoupající teplotou se stávají pružnějšími a měkčími. Významnou vlastností je pružnost tzn., že elastomer můžeme deformovat, aniž bychom ho porušili. Po deformaci většinou nabývá původního tvaru. Do elastomerů řadíme kaučuky. Typické jsou např.: chloroprenový nebo styren-butadienový kaučuk.

## 2.3 Termoplasty

Jak jsme uvedli výše, termoplasty jsou polymery, které se zvýšením teploty stávají plastickými a tvarovatelnými. Změna zpět do tuhého stavu je vratná. Termoplasty si můžeme rozčlenit na pět kategorií, pokud využijeme dělení podle prof. ing. Ducháčka (2006), a to:

- Polyolefiny a fluoroplasty
- Vinylové polymery
- Styrenové a akrylové polymery
- Polyestery a polyethery
- Polyamidy a polyurethany

U každé z těchto pěti skupin najdeme mnoho zástupců. Pro potřeby naší práce vybíráme ty nejdůležitější a nejvýznamnější, kterým se budeme věnovat blíže.

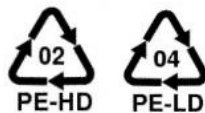
### 2.3.1 Polyolefiny a fluoroplasty

Polymerací olefinů vznikají polyolefiny. Olefiny neboli alkeny jsou uhlovodíky nesoucí ve svých molekulách jednu dvojnou vazbu. Do nejvýznamnějších derivátů polyolefinů zařazujeme fluoroplasty, které nahradily ve svých atomech vodík fluorem.

Polyolefiny tvoří největší skupinu synteticky vyráběných polymerů. Mají dobré vlastnosti a snadnou zpracovatelnost.

Mezi přední představitele patří polyethylen, polypropylen, polybuten, polyisobutylen, poly 4-methylpenten-1. Zaměříme se však pouze na polyethylen a polypropylen.

## Polyethylen (PE)



Obr.3 – Rozlišení polyethylenu

Polyethylen vzniká polymerací ethenu. Má výborné chemické vlastnosti - odolnost vůči kyselinám i zásadám, nízkou hustotu, výbornou rezistenci vůči nízkým teplotám a za zvýšených teplot je tvarově stálý do 90°C, je pevný, houževnatý, dobrý elektrický izolant. Má široké použití jak v průmyslu (nádře, ventilátory, trubky), tak ve věcech každodenní potřeby (výrobky pro domácnost, hračky).

Rozlišujeme dva základní typy polyethylenu: PE-LD (nízkohustotní polyethylen) a PE-HD (vysokohustotní polyethylen). Rozdíl mezi nimi spočívá v typu makromolekuly, který ovlivňuje hustotu a krystalinitu.

## Polypropylen (PP)

Polypropylen se vyrábí polymerací propylenu. Na rozdíl od polyethylenu má menší odolnost vůči mrazu, nižší hustotu. Jako výhodnější se jeví jeho větší pevnost, tvrdost a aplikovatelnost při větších teplotách. Je použitelný v široké škále: v automobilovém průmyslu (nárazníky), ve zdravotnictví (injekční stříkačky), ve spotřebním zboží. Často využíván k výrobě lan, provazů; chemicky a mechanicky odolných vláken.

## Fluoroplasty

Fluoroplasty řadíme do polyolefinů, jsou to jejich nejvýznamnější deriváty, kde jsou nahrazeny atomy vodíku atomy fluor. Nejznámějším polymerem je polytetrafluorethylen (PTFE), vyráběný pod obchodním označením teflon. Tyto látky jsou tepelně i chemicky značně odolné, ohebné a elektricky nevodivé. Teflon sám se používá k povrchové úpravě, v chemickém průmyslu a elektrotechnice.

### 2.3.2 Vinylové polymery

Vinylové polymery můžeme pokládat za plasty. Vyrábějí se polymerací ethylenu. Do skupiny vinylových polymerů můžeme začlenit polyvinylchlorid, polyvinylacetát, polyvinylalkohol.

## Polyvinylchlorid (PVC)

Z pohledu historie se počítá mezi nejdéle vyráběný plast. Důvodem je levná výroba a snadná zpracovatelnost. Tento materiál je také variabilní a různými přísadami se dají měnit jeho vlastnosti. Je houževnatý, odolný vůči kyselinám i zásadám a pevný v tahu. Všeobecně lze polyvinylchlorid použít u chemických zařízení, vzduchotechniky, v zařízeních pro úpravu vody, stavebnictví atd.

Existují dvě hlavní varianty: neměkčený polyvinylchlorid PVC-U (novodur), používaný na trubky, desky, profily a měkčený polyvinylchlorid PVC-P (novoplast), používaný na folie, nádoby, hračky.

Tab.2 – Vlastnosti PVC

Vlastnost	Jednotka	PVC-U	PVC-C
hustota	g/cm <sup>3</sup>	1,4	1,6
pevnost v tahu	MPa	50-60	50
protážení při přetržení	%	10-50	10
vrubová houževnatost	kJ/m <sup>2</sup>	2-5	2
užitná teplota bez zatížení na vzduchu:			
krátkodobá	°C	75	100
dlouhodobá		65	85
teplota měknutí Vicat B	°C	70-80	110

### 2.3.3 Styrenové a akrylové polymery

Pro svoji shodnou nebo velmi podobnou stavbu makromolekulárních řetězců mohou být řazeny do vinylových polymerů. Jedním z nejstarších a nejpoužívanějších styrenových polymerů je polystyren. Akrylátové polymery vznikají polymerací akrylových kyselin. Nejpoužívanějším akrylátem je polymethmethakrylát.

## **Polystyren (PS)**

Vyrábí se polymerací styrenu. Je to tvrdý, křehký plast s výbornými elektroizolačními vlastnostmi, odolný vůči kyselinám a zásadám, citlivý na UV záření. Pěnový polystyren se využívá především k výrobě izolací a v obalové technice.

## **Polymethylmethakrylát (PMMA)**

Polymethylmethakrylát je známý jako organické sklo nebo plexisklo. Je to průhledná látka používaná jako náhrada skla, která pohlcuje UV záření. Mezi její výhody patří pevnost v tahu, odolnost proti stárnutí a vůči vysokým teplotám. Má široký rozsah použití: ve stavebnictví, spotřebním průmyslu, optice, lékařství atd.

### **2.3.4 Polyestery a polyethery**

Společným znakem polyesterů je přítomnost esterových vazeb v hlavním řetězci. Můžeme rozlišit dva základní typy: polyestery termoplastické a reaktoplastické (polyesterové pryskyřice, kam patří např. sklolamináty). Polyethery potom charakterizuje etherová vazba v hlavním řetězci.

## **Polyethyltereftalát (PET)**

Rozsahem výroby se řadí hned za polyethylen. Vzniká polykondenzací kyseliny tereftalové a ethylenglykolu. Dříve sloužil k výrobě vláken a folií, na spotřební textilie, technické tkaniny a lana. Dnes se uplatňuje především ve výrobě lahví k balení kapalného zboží. V textilním průmyslu je pod zkratkou PES známé polyethyltereftalátové vlákno. Je vyráběné z taveniny, není mačkávé, méně navlhá než jiná vlákna a také rychleji schne. Kombinuje se s vlnou, bavlnou a viskózovou stříží.

## **Polykarbonáty**

Polykarbonáty jsou polyestery kyseliny uhličitě a dihydroxysloučenin. Všeobecné použití je rozsáhlé: zastřešování balkonů, kryty, protihlukové systémy. Patří sem sloučenina dian známá jako Bisfenol A. Má dobré mechanické a dielektrické vlastnosti, je chemicky a povětrnostně odolný a snadno zpracovatelný.

## **Polyethery**

Hlavním zástupcem je polyformaldehyd. Získává se polymerací formaldehydu za přítomnosti aminů nebo amoniových solí. Je tzv. konstrukčním plastem; využívá se pro výrobu ložisek, ozubených kol nebo krytů. Jeho výhoda spočívá ve výborné tepelné a chemické odolnosti.

### **2.3.5 Polyamidy a polyurethany**

Tyto sloučeniny patří do polymerů, které nesou ve svých hlavních řetězcích dusíkaté skupiny. Jsou z této řady polymerů nejrozšířenější a nejvýznamnější.

#### **Polyamidy (PA)**

Vyznačují se řetězcem, kde se střídají dusíkaté skupiny  $-CO-NH-$  se skupinami methylenovými  $-CH_2-$ . Polyamidy zastupují polymery s číselným označením podle počtu atomů uhlíku v molekulách - polyamid 6 (nylon 6 - obchodní značka Silon), polyamid 66 (nylon 66), polyamid 610 (nylon 610) a další.

Polyamid 6 je používán jako univerzální plast pro konstrukci a údržbu strojů, přístrojů a zařízení, na textilní vlákna. Je pevný v tahu, nemačkový, má nejnižší elektrický odpor z polyamidů.

Polyamid 66 se vyrábí polykondenzací a je zpracováván převážně na vlákna a folie.

#### **Polyuretany (PUR)**

Oproti polyamidům mají polyuretany lepší elektroizolační vlastnosti, větší odolnost vůči vodě, kyselinám a povětrnostním podmínkám a jsou méně navlhavé. Jejich hlavní použití spočívá ve výrobě pěnových materiálů: matrace, izolace, těsnění, montážní pěny nebo nátěrové hmoty.



## 2.4 Technologie výroby polymerů

Polymery mohou vznikat třemi základními chemickými reakcemi, a to polymerací, polyadící a polykondenzací.

### 2.4.1 Polymerace

Při polymeraci chemicky reaguje velký počet molekul monomeru (molekuly musí obsahovat dvojnou nebo vícenásobnou vazbu), spojují se řetězením a vznikají dlouhé makromolekuly polymeru. Při polymeraci se netvoří vedlejší produkty, chemické složení nově vzniklé látky je stejné jako složení výchozí látky. Polymerací vznikají polymery jako polyethylen nebo polypropylen.

Tab.3 - Polymerace

iniciace	$I^* + M \rightarrow IM^*$
propagace	$IM^* + (x-1)M \rightarrow IM_x^*$
terminace	- rekombinace $IM_x^* + ^*MyI \rightarrow IM_{(x+y)}I$
	- disproportionace $IM_x^* + IM_y^* \rightarrow IM_x + IM_y$

*Dílčí děje při polymeraci, kde  $I^*$  označuje molekulu iniciátoru a  $M$  molekulu monomeru*

### 2.4.2 Polykondenzace

Je chemická reakce, při níž se molekuly monomerů (musí mít alespoň dvě reaktivní skupiny) slučují a vytváří polymer (polykondenzát) za vzniku jiné nízkomolekulární látky, většinou vody. Produkt polykondenzace má jiné chemické složení než výchozí nízkomolekulární látky, z nichž vznikl. Typickými příklady polykondenzace jsou reakce vedoucí ke vzniku bakelitu nebo PET lahví.

### 2.4.3 Polyadice

Monomery obsahující násobné vazby jsou schopny adičně reagovat s monomery, jejichž molekuly mají alespoň dvě funkční skupiny. Složení vzniklého polymeru se neliší od chemického složení výchozích látek. Touto reakcí se vyrábí např. polyuretany.



*Vznik polyurethanů z diizokyanátů a glykolů*

## 2.5 Základní polotovary z plastů

### 2.5.1 Technologie a zpracování polotovarů

Pro všechny technologie a další zpracování plastů jsou důležité polotovary. Trubky, profily, desky, folie, to jsou polotovary nejčastěji používané ve výrobě.

Abychom si udělali představu o způsobech, které se využívají při zpracování plastů, rozdělíme si tyto technologie podle vztahu mezi plastem, který vstupuje do procesu, a výsledkem procesu do tří základních skupin: tvářecí technologie, tvarovací technologie, doplňkové technologie.

Každá technologie obsahuje části, které tvoří osнову procesu, a to přípravu suroviny nebo polotovaru; vlastní zpracovatelský proces a dokončovací operace. *"Proces zpracování je kritickou částí celého procesu výroby konečného výrobku, neboť výrazně ovlivňuje cenu výrobku a produktivitu. Faktory, které se podílejí na volbě technologie, jsou: tvar výrobku, velikost výrobku, tolerance na výrobku, materiál (plast), nástroj, stroj."*<sup>3</sup>

### Tvářecí technologie

Jsou technologické postupy, kdy se mění tvar výchozího materiálu, dochází zde ke značnému přemístování částic. Výchozí látka je během procesu přeměňována na polotovar nebo konečný výrobek. Můžeme sem zařadit vstřikování, vytlačování, lisování, válcování, ale i odlévání, laminování, vypěňování atd.

Tvářením rozumíme zpracování polymerů v plastickém stavu. Používá se jak pro polymery, tak také pro elastomery a reaktoplasty. Podívejme se tedy na jednotlivé postupy blíže.

---

<sup>3</sup> Doc.Dr.Ing.Petr Lenfeld, [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/02.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/02.htm)

- Vstřikování

Jedna z nejpoužívanějších technologií, jejíž pomocí se vyrábějí hotové díly, polotovary nebo součásti pro další zpracování využívané ve spotřebním průmyslu, domácnostech a v automobilovém průmyslu. Vstřikování je způsob tváření, kdy se polymerní směs vstříkuje velkou rychlostí do kovové formy, kde tuhne na hotový výrobek.

- Vytlačování

Proces vytlačování je plynulý způsob tváření, při němž je tavenina polymerního materiálu vytlačována z tlakové komory přes profilovací zařízení do volného prostoru. Pomocí této technologie se vyrábí široký sortiment polotovarů: desky, dráty, trubky, tyče, profily.

- Lisování

Lisování bylo používáno jako jeden z prvních postupů při zpracování plastů. Nemá tak zásadní význam pro polotovary určené ke zpracování svařováním, převážně se jím zpracovávají reaktoplasty. Při lisování se plasty tvářejí ve vytápěné formě a pro dosažení žádaného tvaru se na materiál působí tlakem.

- Válcování

Je způsob tváření, během něhož se materiál dostává mezi vyhřívané válce neboli kalandry. Intenzitu válcování ovlivňuje mezera mezi válci a rozdíl v obvodových rychlostech válců – *skluz*. Kvalita prohnětení a povrchu se zlepšuje tím, kolikrát prochází materiál mezi válci. Používá se k výrobě folií, podlahovin, desek nebo k nanášení polymerů na jiný materiál.

- Odlévání

Odlévání je proces, při kterém se vyplňuje forma kapalným materiálem. Odlévat můžeme jak termoplasty (PVC, PA), tak reaktoplasty (formaldehydové, epoxidové pryskyřice). Výhodou odlévání je výroba tvarově rozdílných dílů najednou, minimální odpad, konstrukční jednoduchost a nízké náklady na formy a stroje.

## **Tvarovací technologie**

Jsou technologie, kde na rozdíl od tvářecích technologií nedochází k velkému přemísťování částic a materiál je přiváděn do procesu už jako polotovar. Při zpracování se polotovar mění hlavně geometricky. Řadíme sem tvarování desek, výrobu dutých těles, ohýbání trubek, obrábění a spojování plastů.

- Vyfukování

Při postupu vyfukování je polotovar tvarován ve vyfukovací formě přetlakem vzduchu do tvaru uzavřeného tělesa. Materiál se zahřeje do plastického stavu, aby se hmota dala

tvarovat, ale přitom si ještě udržuje dostatečnou soudružnost. Vyfukování je procesem velmi produktivním a bezodpadovým. Tímto způsobem se vyrábějí benzinové nádrže, lahve, hračky.

- Tvarování

Tvarování se řadí energeticky a strojně k nejnáročnějším postupům zpracování plastů. Využívá se především v obalové technice a výrobě spotřebních předmětů. Tvarování za tepla je vhodné pro zpracování polotovarů na konečné výrobky pomocí tvarovací formy nebo přípravků. Tvarování za studena se využívá na tvarování folií, ohýbání desek, profilů a trubek.

## **Obráběcí technologie**

- Třískové obrábění

Třískové obrábění je technologie, při níž se odebírá materiál z obrobku za vzniku třísky. Technologicky se vychází z opracování dřeva nebo kovů. Mezi nejčastěji používané způsoby patří: soustružení, řezání, vrtání, frézování, broušení a další.

## **Doplňkové technologie**

Můžeme použít k úpravě výchozí suroviny před zpracováním, nebo k úpravě konečného výrobku (potiskování, pokovování) a také recyklace. Do těchto technologií patří všechny metody, které nelze zařadit do tvářecích a tvarovacích technologií. Za prvé jsou to technologie na úpravu povrchu (lakování, pokovování), za druhé technologie využívající kapalně systémy (máčení, natírání) a za třetí technologie na spojování plastů (lepení, svařování).

- Lakování

Lakování je postup vytváření tenkého organického povlaku na povrchu plastových dílů. Nanesená hmota v tenké vrstvě vytváří po zaschnutí pevnou povrchovou vrstvu, tzv. film.

- Pokovování

Pokovením plastu dosáhneme kovového vzhledu. Je to postup, kterým můžeme změnit řadu vlastností: zlepšit mechanické vlastnosti, zmenšit navlhavost, zvětšit odolnost vůči chemikáliím, zmenšit stárnutí plastu.

- Máčení

Této technologii se nejvíce používá u past z PVC a kaučukových latexů. Principem je ponoření formy výrobku do kapalného systému, kde se vytvoří vrstva plastu a po pomalém vytažení se dále zpracuje za působení teploty.

- Natírání

Natíráním rozumíme nanášení plastů v kapalném stavu na materiál. Jedná se např. o výrobu koženek z měkčeného PVC. Pokud jsou roztoky plastů nanášeny nejen na povrch, ale sytí materiál i po tloušťce, potom mluvíme o impregnaci.

- Lepení

Lepením vytváříme nerozebíratelné spojení dvou stejných nebo odlišných materiálů za použití zvoleného lepidla. Lepit můžeme jakékoliv materiály a díly různé velikosti a tloušťky. Výhodami této metody jsou jednoduchý postup při lepení, relativně velká pevnost při malé hmotnosti a možnost slepovat i ohebné předměty.

- Svařování

Svařováním plastů spojujeme díly z plastů za použití tepla nebo tlaku. Můžeme využít přídavný materiál nebo můžeme plasty spojovat bez něho. Ve svařovací zóně spojovaných ploch se nachází materiál ve viskózně-tekutém stavu. Svařování plastů lze aplikovat pouze pro termoplasty. Ty se dají přivedeným teplem převést do plastického nebo tekutého stavu.

## **2.5.2 Plastové výrobky a polotovary zpracované svařováním**

Svařováním se zpracovávají především plastové trubní materiály, tvarovky, desky a profily, folie a další přídavné materiály pro svařování plastů. Jak jsme si řekli výše, svařovat lze pouze termoplasty, které splňují podmínky svařitelnosti; dají se převést do plastického stavu.

### **Plastové trubky a tvarovky**

Trubky z plastů mají oproti kovovým potrubím mnoho výhod. Jsou chemicky stálé, odolné proti korozi, méně energeticky náročné při výrobě. Také mají dlouhodobou životnost a nízkou hmotnost, zvukovou a tepelnou izolaci a hygienickou nezávadnost. Nevýhodou je křehkost za mrazu, hořlavost, vyšší teplotní roztažnost, malá odolnost vůči UV záření a mechanickému poškození. Plastová potrubí jsou také méně stálá tepelně. Materiály pro výrobu trubních systémů se nejvíce používají PE, PP, PB, PVC, PVDF.

Tvarovky určené pro svařování se vyrábí vstřikováním nebo svařováním ze stejného trubního materiálu. Mohou to být kolena v různých úhlech nebo T-kusy.



Obr. 4 – Tvarovky [22]

### Desky, tyče, profily

Nejčastěji používané desky, tyče nebo profily v České republice jsou produkovány z polypropylenu, méně pak z polyethylenu a dalších materiálů. Desky se dodávají vytlačované, lisovné a vstřikované. Profily mohou být různého charakteru: duté tyče, šestihhranné tyče, oválné a obdélníkové trubky, T nebo L profily a další.



Obr. 5 – Desky a tyče [23]

### Izolační pásy a folie

S foliemi se běžně setkáváme v každodenním životě. Jsou využívány od domácností až po průmysl. Mohou se svařovat nebo lepit. Dříve byly nejuspěšnější folie z PVC-P, dnes se vyrábějí i z dalších materiálů jako je PE, PP, PIB atd. Na folie jsou kladeny různé požadavky podle způsobu jejich využití. Preferovaná je odolnost proti průrazu, nepropustnost, chemická odolnost, mechanická pevnost nebo odolnost vůči UV záření.

### Přídavné materiály pro svařování

Přídavnými materiály můžeme rozumět materiály ve formě drátů, tyčí nebo granulátů.



Obr.7 – Granulát [21]



Obr.6 – Svařovací drát [20]

### 3 Svařování plastových materiálů

Ve druhé části bych se chtěl zaměřit na hlavní úkol mé práce, a to svařování termoplastů a jejich konstrukce. Technologii svařování jsme částečně zmínili v kapitole Doplňkové technologie. Pro přehled si zopakujeme, co jsme si řekli.

Svařování je technologický postup, při kterém se využívá teplo nebo tlak. Ve svařovací zóně spojovaných ploch se nachází materiál ve viskózně-tekutém stavu. Tuto technologii můžeme využít jen pro termoplasty, které se dají přivedeným teplem převést do plastického nebo tekutého stavu. Svařování termoplastů uplatňuje množství různých technologií, z nichž většina metod je odvozena od svařování kovů.

Podle způsobu předání tepla potřebného k ohřátí můžeme rozlišovat jednotlivé technologie svařování. Liší se i provedení svarového spoje, hlavně z hlediska postupu provedených operací během jednotlivých technologií svařování. Svařované povrchy se mohou nejdříve vzájemně dotýkat, poté jsou zahřívány nebo můžeme obě operace provést v opačném pořadí nebo jsou povrchy v kontaktu současně a zároveň se zahřívají.

Podstatou svařování je působení tepla na termoplasty, jež měknou a přecházejí v taveninu, která se dá spojovat. Dochází k promíchání makromolekul ve spoji a po ochlazení, které je součástí procesu, k obnově jejich přitažlivých sil. Základními parametry při svařování jsou teplota, tlak a čas. Všechny tři veličiny se musí vzájemně přizpůsobit druhu svařovaného plastu, použité technologii a podmínkám prostředí.

#### 3.1 Podmínky svařování

Podmínky prostředí stejně jako dodržení svařovacích parametrů, postup a vlastnosti materiálu významně ovlivňují kvalitu svařovaných spojů. Mezi podmínky svařování, na které je třeba brát ohled, patří:

- vlastnosti dané materiálem (velká tepelná roztažnost, malá tepelná vodivost)
- vlivy okolního prostředí (teplota, pohyb a vlhkost vzduchu, působení slunce)
- vlivy vlhkosti vzduchu (rosný bod, teplota rosného bodu)
- vlivy čistoty
- vlivy určující kvalitu svaru (konstrukce svaru, volba postupu, mechanické zatížení, lidský faktor)
- svařitelnost
- vhodnost materiálu ke svařování

### 3.2 Rozdělení metod svařování termoplastů

Metody svařování si můžeme obecně rozdělit do tří skupin:

- svařování horkým tělesem

(spojované plochy nejdříve zahřejí horkými tělesy, poté se jejich tvar upraví vzhledem k ohřívání svařovací ploše; dělí se na přímé a nepřímé)

- svařování horkým plynem

(spojované plochy a vnější oblasti přídavného materiálu se přivedou horkým plynem do plastického stavu a pod tlakem se spojí; blíží se svým postupem svařování kovů)

- ostatní metody svařování plastů

(svařované plochy jsou zahřáty jiným způsobem než horkým tělesem nebo plynem)

Tyto tři obecné skupiny můžeme dále rozčlenit podle následující tabulky:

Tab. 4 – Metody svařování plastů [1]

#### PŘEHLED METOD SVAŘOVÁNÍ PLASTŮ

Popis jednotlivých metod je podrobně uveden v publikaci Svařování termoplastů

Metody svařování plastů		Přídavné materiály	Svařované polotovary	Postupy svařování	
				Ruční	Strojní
Svařování horkým tělesem (H)	Přímé	Na tupo horkým tělesem (HS)	Trubky, desky, profily	vyjímečně	ano
		Profilové horkým tělesem (HN)	Desky, profily	vyjímečně	ano
		Ohraňování horkým tělesem (HB)	Desky	vyjímečně	ano
		Polyfúzní svařování (HD)	Trubky	do prům. 40	do prům. 110
		Elektrotvarovkou (HM)	Trubky	ne	ano
		Horkým klínem (HH)	Fólie, profily	vyjímečně	ano
	Nepřímé	S oddělením svaru (HT)	Fólie a tenké desky	vyjímečně	ano
		Bezvyronkové (WNF)	Trubky	ne	ano
		Impulsní horkým tělesem (HI)	Fólie	ano	ano
		Tepelné kontaktní horkým tělesem (HK)	Fólie	ne	ano
		Kotoučové svař. (HR)	Fólie	ne	ano
Svařování horkým plynem (W)	Ruční horkým plynem (WF)	Drát, tyčinka	Trubky, desky, profily	ano	ne
	Horkým plynem s rychlotrýskou (WZ)	Drát, tyčinka	Trubky, desky, profily	ano	ne
	Přepletovací horkým plynem (WU)	Bez přídavného mat.	Fólie	ano	ano
	Vytlačovací (extruzní) horkým plynem (WE)	Drát, granulát	Trubky, desky, profily	ano	ano
Ostatní metody svařování plastů	Vytlačovací (extruzní) sáláním (LE)	Drát, granulát	Trubky, desky, profily	ano	ano
	Infračerveným párskem (IR)		Trubky	ne	ano
	Ultrazvukem (US)		Fólie, desky	ano	ano
	Třecí svařování (FR)		Fólie	ne	ano
	Vysokofrekvenční (HF)		Fólie	ne	ano
	Laserem		Fólie	ne	ano

Pozn.: 1) Zkratky metod svařování podle normy DIN 1910, díl 3.

2) Zkratky WNF a IR podle označení firmy Georg Fischer.

Rád bych se zaměřil jen na některé metody svařování termoplastů. Popis konkrétních metod jsem vybral s ohledem na téma a na techniky, které využiji v praktické části mé práce.



### 3.2.1 Svařování desek na tupo horkým tělesem

Při svařování na tupo se ohřívají čela trubek, desek nebo profilů na topném tělese a následně se spojují za použití tlaku. Využívají se především materiály z PE, PP, PVDF nebo PB. Svařuje se nejčastěji na strojích, ale musíme rozlišovat mezi stroji na svařování trubek a na svařování desek, kde se potom mění postupy a parametry svařování.

Svařování desek na tupo je velmi rozšířená technika. Klade vysoké požadavky na konstrukci svařovacích strojů. Ty bývají konstruovány na celé metry délky desek. Umožňují svar v délce 2, 3 a 4 metry. Desky mohou být vytlačované, vstřikované nebo lisované.

Základními konstrukcemi můžeme rozumět mechanické stroje s ručním přítlakem, které se vyrábějí jako montážní přípravky s horkým tělesem. Nesplňují však požadavky DVS 2208 pro svařování na tupo. Dalším typem jsou pneumatické stroje s pneumatickým přítlakem čelisti, jež se zhotovují jako kompaktní konstrukce skládající se ze základního rámu, posuvných loží pro uložení svařovaných polotovarů a upínačů držících rovnoměrně polotovar v celé délce. Posledním příkladem konstrukce jsou stroje hydraulické s pneumatickým přítlakem čelisti. Jsou to tuhé rámy se dvěma ložemi pro upnutí polotovarů. Pohon loží se provádí hydraulicky a přítlak je realizován pneumaticky.

Svařování desek na tupo má několik fází:

- příprava svařování
- příprava materiálu
- přesazení svarových ploch
- měření pasivního odporu
- fáze orovnění
- fáze ohřevu
- fáze přestavování
- fáze spojení
- fáze chladnutí



Obr.8 – Technika svařování [11]

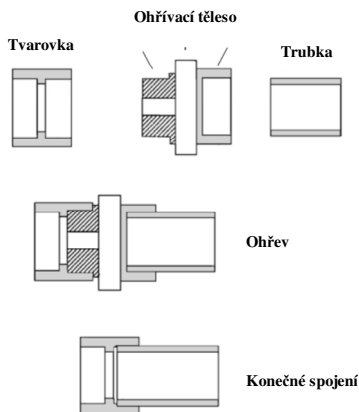


Obr.9 – Svářečka desek ( na tupo ) [11]

Při svařování může vzniknout řada chyb nedodržením zásad přípravy nebo nedodržením parametrů. Důsledkem jsou nekvalitní svarové spoje, jež je nejlepší vyříznout a provést opětovně. Uvedme si alespoň pár příkladů chyb: chybný výběr materiálu, svařování materiálů s rozdílnými tloušťkami stěn, nedostatečné očištění a odmaštění, chybná doba ohřevu, prudké ochlazení svaru, okamžité mechanické namáhání svaru atd.

### 3.2.2 Polyfúzní svařování

U polyfúzního svařování se souběžně ohřívá povrch trubky a hrdla tvarovky na polyfúzním nástavci. Poté se zatlačuje nahřátá trubka do zahřátého kuželovitého hrdla tvarovky. Polyfúzní svařovací stroje jsou sestrojovány pro individuální postupy svařování. Svařovat můžeme buď ručně, nebo strojně. Ruční svařování se doporučuje do průměru trubek 40 mm, bez mechanického přitlaku. Strojní svařování se používá od průměru trubek 50 mm a výše, protože je potřeba zvýšit svařovací tlak, jehož nelze dosáhnout ručním přitlakem.



Obr. 11 – Postup svařování [10]



Obr. 10 – Polyfúzní svářečka [15]

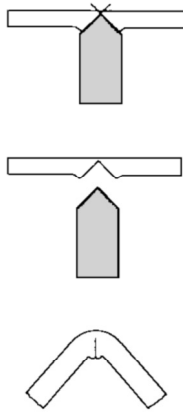
Příprava polyfúzního svařování se skládá z několika po sobě jdoucích kroků. V první řadě se musí zkontrolovat pracoviště, svařovací zařízení a materiál. Svařovací zařízení se následovně očistí a odmastí. Poté následuje fáze ohřevu, fáze přestavování, kdy se oba nahřáté díly vyjmou z topného nástavce, a fáze spojení. Konečná fáze je fáze chladnutí. Pro polyfúzní svařování se používají trubní materiály PE, PP, PB a PVDF.

### 3.2.3 Svařování horkým tělesem ohraňováním

Principem svařování horkým tělesem ohraňováním je kombinace ohřevu a mechanické změny tvaru polotovaru. Základní materiál se ohřeje horkým tělesem s tvarovým břitem, který se souběžně zatlačí do základního materiálu. Po zatlačení horkého tělesa do materiálu se provede ohyb desky v rovině vtlačení. Tento postup se užívá ke zhotovování koutových svarů u desek nebo profilů při stavbě nádrží a konstrukcí z termoplastů, především z PE-HD, PP.

Nástroje pro svařování ohraňováním se zpravidla konstruují jako příslušenství ke strojům svařování desek na tupo. Rozdíl je v tom, že se pro nahřátí čel vtlačuje do materiálu topný břit. Konstrukce upínání zabezpečuje ohyb do žádaného úhlu.

Svařování ohraňováním rozlišuje dva postupy svařování. Za prvé svařování jednostranným ohřevem, což je postup pro desky s tloušťkou  $s = 6\text{mm}$  nebo  $s < 6\text{mm}$ ; za druhé svařování s oboustranným ohřevem, kde je tloušťka desky  $s = 6\text{mm}$  nebo  $s > 6\text{mm}$ .



Obr.13 - Postup svařování [10]



Obr.12 – Ohraňovací svářečka [11]

### 3.2.4 Svařování horkým plynem a přídavným materiálem

Pokud svařujeme horkým plynem a přídavným materiálem musíme nejdříve svarové plochy a přídavný materiál uvést do plastického stavu proudem horkého plynu a spojit za spolupůsobení tlaku na přídavný materiál. Tento postup se nejvíce podobá klasickému svařování kovových materiálů. Nejčastěji svařovanými materiály touto metodou jsou PP, PE, PVC. Jinak můžeme svařovat všechny termoplasty, které lze uvést do termoplastického stavu.

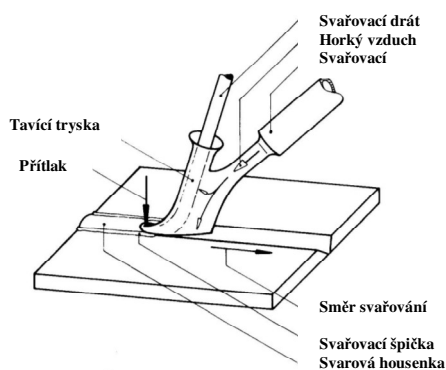
Svařování horkým plynem se dá dále rozdělit na ruční svařování horkým plynem, kruhovou tryskou a přídavným materiálem, kde ohřev základního i přídavného materiálu probíhá kruhovou tryskou, jež reguluje proud plynů směrem ke svarové ploše. Plastifikovaný přídavný materiál se zatlačuje do plastifikovaného základního materiálu ručně.

Druhým postupem je svařování horkým plynem a přídavným materiálem s použitím rychlotrisky. Rychlotryska je nástavec usměrňující proud horkého plynu do svarové plochy. Její tvar umožňuje usměrnění horkého plynu pro předehřátí obou materiálů a pomáhá udržet přesnou pozici svářečky i přídavného materiálu. Svářeč poté zatlačuje přídavný materiál do rychlotrisky.

Svařovací přístroje můžeme podle konstrukce dělit na:

- ruční přístroje s integrovaným dmýchadlem
- ruční přístroje s externím zdrojem plynu
- externí zdroje plynu
- svařovací nástavce – trysky

Přídavné materiály mají pro pevnost svarového spoje podstatný význam. Základními typy svarů jsou tupé a koutové spoje. Tupé svarové spoje se užívají ve třech variantách: V-svar bez podložení, V-svar s podložním a oboustranný V-svar. Koutové svary mají také tři varianty: koutový spoj, koutový spoj s 1/2 V svarem a koutový spoj s oboustranným 1/2 V svarem.



Obr.14 - Postup svařování [10]



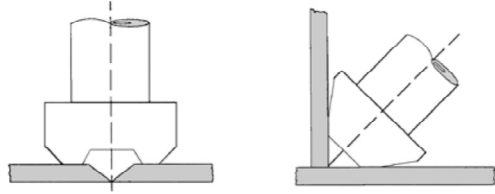
Obr.15 – Ruční svářečka s rychlotrýskou [9]

### 3.2.5 Svařování extruderem

Svařování extruderem je postup ruční či částečně mechanizovaný. Přídavný materiál je ve formě granulátu nebo drátu uveden do plastického stavu v plastifikační komoře extruderu. Přes svařovací botičku se vtlačí do svarové spáry plastifikované předehřevem. Pomocí extruderu můžeme svařovat velkou skupinu polotovarů, především jde o homogenní materiály z PP, PE, PVC nebo PVDF. Polotovary, které svařujeme, jsou desky, profily, trubky, tvarovky a těsnící pásy.

Konstrukce extruderu se skládá z několika částí. Základem extruzního stroje je plastikační jednotka, jež má za cíl převést přídavný materiál do plastického stavu. Může být šneková, pístová nebo dotlačovací. Další součástí musí být pohonná jednotka. Jejím úkolem je uvést do pohybu plastikační část. Třetí součástí jsou podavače přídavného materiálu. Rozdělujeme je podle typu přídavného materiálu na granulátové a drátové. Důležitými prvky extruderu jsou předehřev a předehřívací trysky, které výrazně ovlivňují kvalitu svařování. Předehřev existuje ve dvou variantách, a to externí (plyn je přiváděn pomocí hadice) a vlastní

(součástí je dmyhadlo i ohřev plynu). Posledním dílem nacházejícím se v konstrukci extruderu je svařovací botička. Montuje se na ústí extruderu a má podstatný vliv na svar i svařovací tlak.



Obr.17 – Postup svařování [10]



Obr.16 – Svařovací extruder [12]

Při svařování extruderem rozeznáváme dva svařovací postupy, a to diskontinuální a kontinuální. Plastikační jednotku tvoří v diskontinuálním postupu samostatně ložený extruder. Svarová spára se ohřívá horkým plynem na teplotu svařování. Příkladný materiál se odebírá z extruderu a natlačuje do spáry. Postup je užíván jen v místech, ve kterých se nemůže použít kontinuální svařování. Kontinuální postup se dělí na tři strojní varianty. Varianta I je kontinuální postup šnekovým extruderem jako plastikační jednotkou. Předehřev je zaručen připojeným předehřevem. Tato metoda se využívá nejčastěji např. pro svařování konstrukcí z desek a polotovarů. Varianta II je kontinuální postup extruderem s oddělenou svařovací hlavou, skládá se z pojízdného extruderu zásobovaného granulátem jako plastikační jednotky a ze svařovací hlavy. Varianta II se užívá při svařování nádrží a zařízení ze silnostěnných materiálů. Kontinuální postup dotlačovacím extruderem reprezentuje varianta III. Tuto metodu tvoří dotlačovací extruder a komplex sestavený z předehřevu, dmyhadla a regulace.

### 3.3 Zkoušky materiálů před svařováním

#### 3.3.1 Vstupní kontroly materiálů

Před svařováním plastových materiálů dokazují kontroly vhodnost materiálu k dalšímu svařování a zpracování.

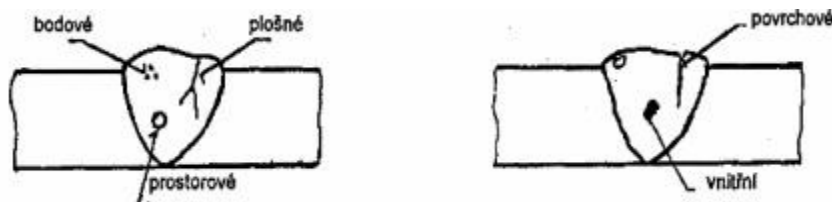
Pro kontrolu identity plastů můžeme použít normu DVS 2201/2. Mezi základní kontroly se řadí vizuální zkoušky:

- kontrola povrchu - zabarvení, trhliny, škrábance
- kontrola rozměrů - kontrola předepsaných tolerancí
- uložení za tepla - kontrolou se rozpoznává vnitřní pnutí

Dalšími důležitými zkouškami pro zajištění vlastností polotovarů jsou např. určení hustoty, tavného indexu, teplota měknutí podle Vicata, teplotní tvarová stálost, termoanalytické zkoušky, zkouška tahem, rázová ohybová zkouška.

Vhodnost použití svařovaných konstrukcí je ovlivněna také vhodností a kvalitou přídavných materiálů. Požadavky a technické podmínky shrnuje norma DVS 2211.

### 3.4 Zkoušky svarových spojů



Obr.18 – Vady svarů [13]

#### 3.4.1 Nedestruktivní zkoušky

Pro nedestruktivní zkoušky platí předpisy DVS 2206. Jsou to zkoušky, které probíhají na svarových spojích, aniž by byly porušeny. Můžeme sem řadit:

- vizuální kontrola
- zkouška rentgenem
- zkoušky ultrazvukem
- kapilární zkoušky
- zkoušky na těsnost

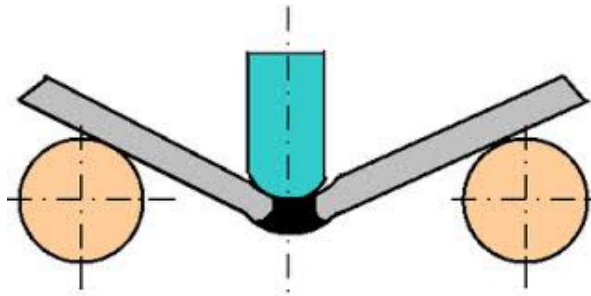


Obr.19 – Přístroj pro zkoušku rentgenem [14]

### 3.4.2 Destruktivní zkoušky

Destruktivní zkoušky se provádí ve schválené laboratoři pod dozorem specialistů. Mají sedm částí:

- zkouška ohybem (zkušební vzorek je položen na otočné opory v určité vzdálenosti a je ohýbán působením příčnicku)
- zkouška tahem (tělesa jsou natahována stálou rychlostí k přetržení nebo tečení materiálu)
- zkouška dlouhodobého namáhání v tahu (zkušební tělesa jsou dlouhodobě zatěžována až do přetržení)
- zkouška odlupovací (provádí se na přeplátovaných spojích desek, trubek nebo folií, má tři základní postupy - odlupovací T zkouška, odlupovací oddělovací zkouška, odlupovací stlačovací zkouška)
- makroskopická zkouška (zkouška se provádí vizuálně při malém zvětšení)
- zkouška tahem při nízkých teplotách (stejně jako při zkoušce tahem je těleso napínáno, ale liší se zkušebním tělesem a teplotou pod 0°C)
- zkouška tahu na tělesech s vrubem (zkouška se shoduje se zkouškou tahem, do tělesa jsou udělány vruby)



Obr.20 – Zkouška pevnosti svaru [18]

## 4 Konstrukce záchytné vany z termoplastu

Pro praktickou část mé práce jsem vybral konstrukci záchytné vany z termoplastu. Obecně se záchytné nádrže dají všestranně využít. Zejména nachází uplatnění jako havarijní nádrže, které lze využít v chemickém nebo potravinářském průmyslu. Nádrže se využívají také jako záchytné vany pod různé stroje a zařízení. V mém případě se jedná o záchytnou vanu pod zásobník proplachovací vody k reverzní osmóze. Reverzní osmóza je zařízení pro úpravu vody, zejména k jejímu filtrování a odstranění nerozpuštěných látek a solí v ní obsažených.

Za prvé musíme provést statický výpočet a navrhnout jednotlivé parametry záchytné vany. Tyto parametry poté musíme ověřit na přání zadavatele dle podmínek vycházejících z německé směrnice DVS 2205. Pro statický výpočet si musíme stanovit charakteristické hodnoty zvoleného materiálu. Z těchto hodnot vycházíme při návrhu a kontrole tloušťky stěn. Dalším krokem je návrh a kontrola ocelového vyztužení okraje nádrže.

Za druhé musíme vytvořit model a výkresy záchytné vany z navržených a ověřených parametrů.

### 4.1 Statický výpočet beztlaké pravoúhlé nádrže

Následující výpočet vychází z německé směrnice DVS 2205-5, která se zabývá výpočty pro návrh pravoúhlých nádrží z termoplastických materiálů dle DVS 2205-1.

Rozměry a požadované vlastnosti nádrže vychází ze zadání uživatele nádrže.

Symbolsy a hodnoty užití při výpočtu vycházejí ze směrnice DVS 2205-5.

#### 4.1.1 Požadované vlastnosti a technické parametry

- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| ○ Typ konstrukce          | <i>s vyztuženým okrajem</i> |
| ○ Obsažené medium         | <i>voda</i>                 |
| ○ Předpokládaná životnost | <i>10 let</i>               |
| ○ Materiál                | <i>PP-H</i>                 |
| ○ Teplota                 | <i>30° [C]</i>              |



#### 4.1.2 Konstrukční rozměry nádrže

- Délka:  $a = 1500[mm]$
- Šířka:  $c = 800[mm]$
- Výška:  $b = 300[mm]$
- Úroveň plnění:  $b_{\max} = 283[mm]$
- Jmenovitý objem:  $V$   
 $1,5[m] \times 0,8[m] \times 0,3[m] = 0,36[m^3]$
- Maximální objem:  
 $1,5[m] \times 0,8[m] \times 0,283[m] = 0,34[m^3]$

#### 4.1.3 Konstrukční data

- Medium: *voda*
- Hustota media:  $1,00[g/cm^3]$

$$1[g/cm^3] \rightarrow 1000[kg/m^3]$$

$$1000 \times 9,81 = 9810[N/m^3] \rightarrow 0,0000098[N/m^3]$$

- Teplota:  $30^\circ[C]$
- Vnitřní tlak – statický

$$p_{stat} = b_{\max} \times \rho \times g \tag{1}$$

$$p_{stat} = 0,283 \times 1000 \times 9,81 = 2776[Pa] = 0,0028[MPa] \rightarrow 0,0028[N/mm^2]$$

#### 4.1.4 Charakteristické hodnoty materiálu

- Materiál: *PP-H ( Typ 1 )*
- Hustota materiálu:  $0,91[g/cm^3]$

▪ **Redukční součinitel A2:**

Tento součinitel zavádí do výpočtu vliv media (obsaženého v nádrži) na pevnost tečení termoplastových materiálů. Popis je uveden v DVS 2205-1 odstavec 4.2.

Jednotlivé součinitele pak nalezneme v odstavci 10.4, ve kterém jsou uvedena pracovní media s jejich redukčními součiniteli pro různé termoplastické materiály při určitých provozních teplotách.

Pro zjednodušení se na základě dlouholeté praxe používá redukční faktor  $A_2 = 1$ , ale pouze do teploty  $80^{\circ}\text{C}$  a u medií, které nepůsobí nepříznivě k použitému termoplastu. U medií, u nichž se dá předpokládat nepříznivé působení na termoplastický materiál se tento součinitel určuje na základě provedených zkoušek.

▪ **Redukční součinitel A4:**

Vyjadřuje rázovou pevnost v závislosti na teplotě pro nejpoužívanější termoplastické materiály, je vyjádřena v DVS2205-1 (tab. 5).

V našem případě hledáme pevnost pro materiál PP Typ 1 (Homopolymer) při teplotě  $30^{\circ}\text{C}$ .

Uvedené hodnoty v tabulce nejsou přímo pro teplotu  $30^{\circ}\text{C}$ , ale pro teploty  $20^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ . Musíme proto za použití jednoduchého výpočtu tento koeficient spočítat.

Tab.5 – Tabulka rázové pevnosti [6]

Tabelle 2. Abminderungsfaktoren  $A_4$ .

Werkstoff	Betriebs-temperatur			
	-10 °C	20 °C	40 °C	60 °C
PE-HD	1,2	1	1	1
PP Typ 1, Homopolymerisat	1,8	1,3	1	1
PP Typ 2, Copolymerisat	1,5	1,1	1	1
PVC-U, normal schlagzäh	1,8	1,6	1,4	1,1
PVC-HI, erhöht schlagzäh, Typ 1 und 2	1,6	1,3	1	1
PVC-C	1,9	1,8	1,6	1,2
PVDF	1,6	1,4	1,2	1

$$A_{4(20^{\circ}\text{C})} = 1,3$$

$$A_{4(40^{\circ}\text{C})} = 1,0$$

$$A_{4(30^{\circ}\text{C})} = \frac{1,3 + 1}{2} = 1,15 \rightarrow A_{4(30^{\circ}\text{C})} = 1,15$$

▪ **Svařovací součinitel  $f_s$ :**

Svařovací faktory se dle DVS2205-1 (tab. 6) dělí do dvou faktorů a stanovují se dle použitého materiálu, svařovacího postupu a podle druhu zatížení.

Krátkodobý faktor  $f_z$  se používá pro konstrukce, kde lze předpokládat pouze krátkodobé zatížení, a to maximálně do jedné hodiny.

Pro výpočty konstrukcí z termoplastů se používá výhradně dlouhodobý svařovací faktor  $f_s$ .

Tyto faktory předpokládají, že svařování bude provedeno kvalifikovaným personálem dle základních svařovacích postupů se správným provedením svarů.

Pro naši konstrukci bude použit materiál PP a svařování bude provedeno metodou WE-Extruderem.

Tab.6 - Tabulka svařovacích faktorů [6]

Tabelle 3. Kurzzeit-( $f_z$ -) und Langzeit-( $f_s$ -)Schweißfaktoren.

Werkstoffe	PE-HD	PP	PVC-U PVC-HI	PVC-C	PVDF
Verfahren					
Heizelement- stumpfschweißen HS	$f_z$ 0,9 $f_s$ 0,8	0,9 0,8	0,9 0,6	0,8 0,6	0,9 0,6
Warmgas- Extrusions- schweißen WE	$f_z$ 0,8 $f_s$ 0,6	0,8 0,6	– –	– –	– –
Warmgas- schweißen W	$f_z$ 0,8 $f_s$ 0,4	0,8 0,4	0,8 0,4	0,7 0,4	0,8 0,4

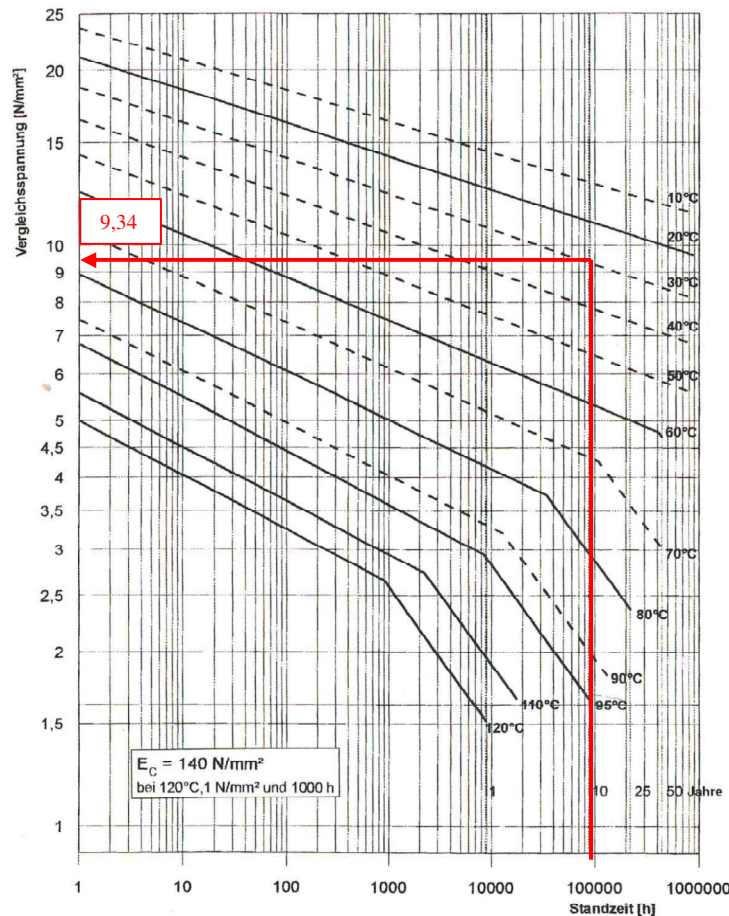
V tomto případě je  $f_s = 0,6$

▪ **Křípová pevnost  $K_{(A1;A3)}$ :**

Zohledňuje chování materiálu při dlouhodobém zatížení za určité teploty a je vztažená k předpokládané životnosti nádrže.

Hodnotu získáme z diagramu pro stanovení křípové pevnosti příloha 1 v DVS2205-1 pro PP-Typ 1 (obr. 21).

Na osu  $x$  zaneseme předpokládanou životnost nádrže. Tam, kde se nám protne s křivkou požadované teploty, získáme bod, který po přenesení na osu  $y$  vyjádří křípovou pevnost materiálu  $K_{(A1;A3)}$ .



Obr.21 - Diagram pro stanovení křepové pevnosti [6]

Pro navrhovanou životnost 10 let a teplotu 30°C vychází  $K_{(A1;A3)} = 9,34 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ .

▪ **Faktor bezpečnosti S:**

Používá se při výpočtu k zajištění určité rezervy pevnosti navrhované konstrukce. Faktory bezpečnosti jsou v tabulce 4 v DVS2205-1 rozděleny do dvou koeficientů dle druhu a způsobu zatěžování (statické / střídavé) s ohledem na ohrožení osob, objektů a prostředí v případě selhání konstrukce.

V našem případě se jedná o záchytnou vanu, proto bezpečnostní ochranu volím  $S=2$ , která zohledňuje případné nebezpečí při selhání konstrukce.

▪ **Dovolené napětí  $\sigma_{zul}$ :**

Jakmile jsme si již stanovili potřebné materiálové hodnoty a konstrukční koeficienty, můžeme vypočítat dovolené napětí za pomoci křepové pevnosti  $K_{(A1;A3)}$ , svařovacího faktoru  $f_s$ , redukčních součinitelů  $A2;A4$  a faktoru bezpečnosti  $S$ , dle vzorce (2) z DVS 2205-1 odstavec 3.2.1.

$$\sigma_{zul} = \frac{K_{(A1,A3)} \times f_S}{A2 \times A4 \times S} = [N/mm^2] \quad (2)$$

$$\sigma_{zul} = \frac{K_{(A1,A3)} \times f_S}{A2 \times A4 \times S} = \frac{9,34 \times 0,6}{1 \times 1,15 \times 2} = 2,437 [N/mm^2]$$

#### 4.1.5 Návrh a kontrola stěn nádrže

Následující výpočty jsou založeny na základě DVS2205-5, část 4.2 nádrž s vyztuženým okrajem a plochou dna ležící na rovném podkladu.

Pro tento výpočet se zohledňuje poměr stran  $\frac{a}{b}$  a podle tohoto poměru se určí vzorce pro výpočet tloušťky stěny a průhybu.

$$\frac{a}{b} < 0,5 \rightarrow \text{DVS2205-5, část 4.2.1.1} \quad (3)$$

$$0,5 \leq \frac{a}{b} \leq 2 \rightarrow \text{DVS2205-5, část 4.2.1.2} \quad (4)$$

$$\frac{a}{b} > 2 \rightarrow \text{DVS2205-5, část 4.2.1.3} \quad (5)$$

#### Zadané parametry:

- Délka:  $a = 1500 [mm]$
- Šířka:  $c = 800 [mm]$
- Výška:  $b = 300 [mm]$

$$\frac{a}{b} = \frac{1500}{300} = 5 > 2 \rightarrow \text{DVS2205-5, část 4.2.1.3}$$

Při návrhu budeme tedy vycházet z DVS2205-5, část 4.2.1.3., pro výpočet je důležitý předpoklad, že vyztužení okraje tvoří tuhou podporu s omezeným průhybem na 1%.

#### Tloušťka stěn S:

$$S = \sqrt{\frac{p \times b^2}{2,5 \times \sigma_{zul}}} = \sqrt{\frac{0,0028 \times 300^2}{2,5 \times 2,437}} = 6,43 [mm] \quad (6)$$

$$S_{min} = 8 [mm] \rightarrow (\text{vzhledem k dostupnosti materiálu})$$

$$S_{gew} = 8 [mm] \rightarrow (\text{zvolený})$$

### Působící napětí $\sigma_{vorh}$ :

Vycházíme ze vzorce (7) pro výpočet tloušťky stěny.

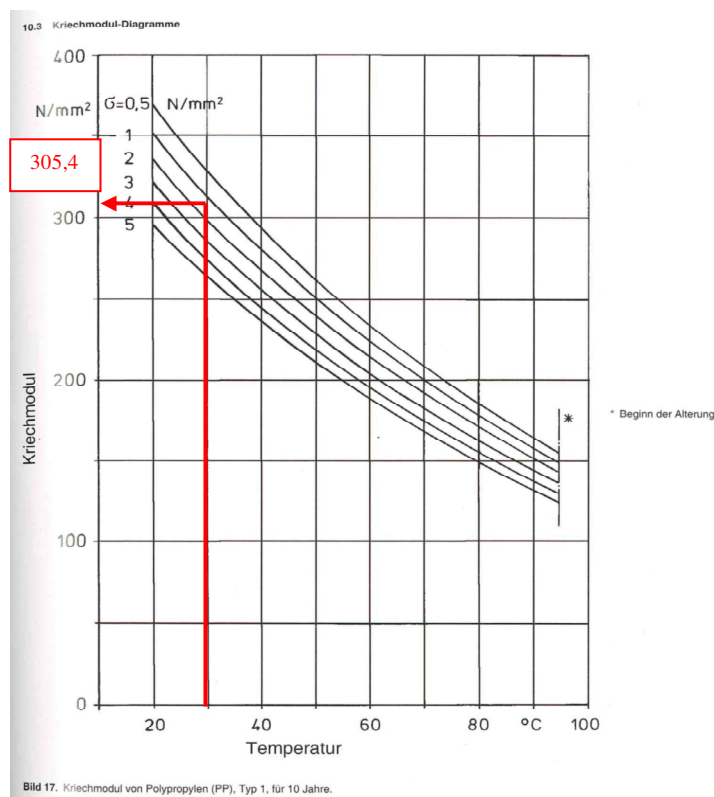
$$S = \sqrt{\frac{p \times b^2}{2,5 \times \sigma}} \rightarrow S^2 = \frac{p \times b^2}{2,5 \times \sigma} \rightarrow \sigma_{vorh} = \frac{p \times b^2}{2,5 \times S^2} \quad (7)$$

$$\sigma_{vorh} = \frac{p \times b^2}{2,5 \times S^2} = \frac{0,0028 \times 300^2}{2,5 \times 8^2} = 1,575 [N/mm^2] \quad (8)$$

### Křípový modul $E_c$ :

Pro termoplasty se používá křípový modul tečení podobně jako v mechanice modul pružnosti. Tento modul tečení se stanoví konkrétně k vypočítanému působícímu napětí  $\sigma_{vorh}$ , teplotě, při které bude konstrukce provozována, a také k předpokládané životnosti konstrukce požadované uživatelem.

Modul tečení lze stanovit odečtením hodnot z křivek modulu tečení v diagramu dle DVS2205-1, diagram 10.3, (obr.22) vztahujícího se ke konkrétnímu materiálu a předpokládané životnosti. V našem případě PP-Typ 1 a životnost 10 let.



Obr.22 - Diagram křípového modulu [6]

$$E_c = 305,4 [N/mm^2]$$

### Průhyb stěny nádrže $f$ :

Výpočet průhybu stěny vychází z DVS2205-5, část 4.2.1.3.

Je založen na správném stanovení velikosti působícího tlaku, modulu tečení a navržené tloušťky stěny nádrže.

$$f = \frac{p \times b^4}{35 \times E_C \times S^3} = \frac{0,0028 \times 300^4}{35 \times 305,4 \times 8^3} = 4,14[mm] \quad (9)$$

$$f_{zul} = \frac{1}{2} S_{gew} = 4[mm] \rightarrow (\text{dovolený průhyb}) \quad (10)$$

$f > f_{zul} \rightarrow$  Podmínka dle DVS2205-5, část 4.2 - nevyhovuje !

Ověřením navržených parametrů nám nevyšla podmínka dle DVS 2205-5, jelikož povolený průhyb stěny je  $f_{zul} = \frac{1}{2} S_{gew} = 4[mm]$ , a výpočtem byl zjištěn průhyb stěny při navržených parametrech  $f = 4,14[mm]$ .

Z tohoto důvodu musíme zvolit silnější stěnu nádrže, která bude dané podmínce vyhovovat.

### Tloušťka stěn $S$ : *(úprava)*

$$S = \sqrt{\frac{p \times b^2}{2,5 \times \sigma_{zul}}} = \sqrt{\frac{0,0028 \times 300^2}{2,5 \times 2,437}} = 6,43[mm] \quad (11)$$

$S_{min} = 8 [mm] \rightarrow$  (vzhledem k dostupnosti materiálu)

$S_{gew} = 10 [mm] \rightarrow$  (zvolený)

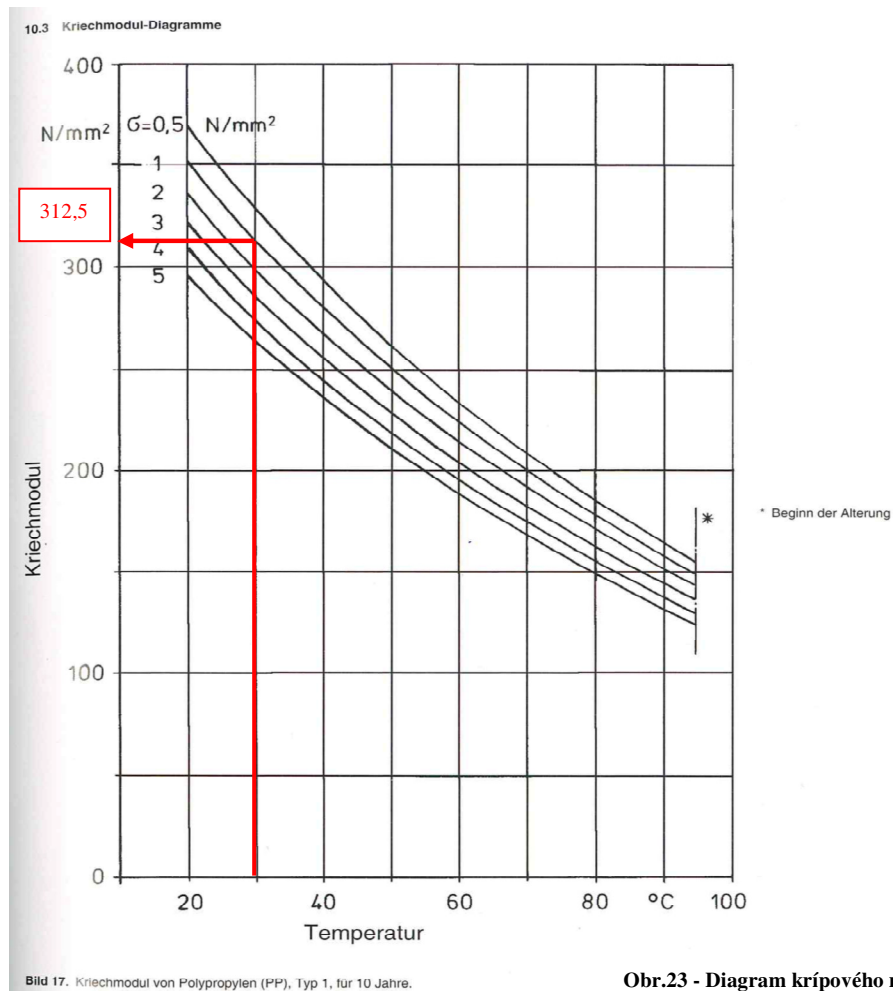
### Působící napětí $\sigma_{vorh}$ : *(úprava)*

Vycházíme ze vzorce pro výpočet tloušťky stěny.

$$S = \sqrt{\frac{p \times b^2}{2,5 \times \sigma}} \rightarrow S^2 = \frac{p \times b^2}{2,5 \times \sigma} \rightarrow \sigma_{vorh} = \frac{p \times b^2}{2,5 \times S^2} = \quad (12)$$

$$\sigma_{vorh} = \frac{p \times b^2}{2,5 \times S^2} = \frac{0,0028 \times 300^2}{2,5 \times 10^2} = 1,008[N/mm^2] \quad (13)$$

### Křípový modul $E_c$ : *\_(úprava)*



Obr.23 - Diagram křípového modulu [6]

$$E_c = 312,5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

### Průhyb stěny nádrže $f$ : *\_(úprava)*

$$f = \frac{p \times b^4}{35 \times E_c \times S^3} = \frac{0,0028 \times 300^4}{35 \times 312,5 \times 10^3} = 2,07 \text{ [mm]} \quad (14)$$

$$f_{zul} = \frac{1}{2} S_{gew} = 4 \text{ [mm]} \rightarrow \text{(dovolený průhyb)} \quad (15)$$

$f > f_{zul} \rightarrow$  Podmínka dle DVS2205-5, část 4.2 - vyhovuje !

Po zesílení stěn nádrže se průhyb zmenšil na konečných 2,07 [mm] !



#### 4.1.6 Návrh a kontrola vyztužení okraje nádrže

Vyztužení horního okraje nádrže je nezbytnou součástí konstrukce pro zabránění deformace vlivem působení tlaku media na stěny nádrže.

Návrh je proveden dle DVS2205-5, část 4.2.2.

Takto vyztužený okraj přenese 1/5 zatížení stěny jako liniové zatížení. Maximální průhyb je omezen na 1% vztažené k výšce nebo délce nádrže, přičemž rozhoduje kratší z těchto dvou délek.

Povolený, tedy maximální průhyb  $f_{erf}$  se stanoví:

Zadané parametry:

- Délka:  $a = 1500 [mm]$
- Šířka:  $c = 800 [mm]$
- Výška:  $b = 300 [mm]$

$$a > c > b = 300 \quad (16)$$

$$f_{erf} = 1\% \text{ z } 300 = 3[mm] \quad (17)$$

#### Dovolené napětí $\sigma_{zul}$ :

Vyztužení okraje bude provedeno z oceli ČSN 11.375, která je dobře svařitelná, dostupná a má dostačující mechanické vlastnosti pro toto použití.

Mechanické vlastnosti: - Mez kluzu  $Re = 235 [MPa]$   
- Max. obsah C v % = 0,17%

$$\sigma_{zul} = \frac{Re}{k} = \frac{235}{1,3} = 181 [N/mm^2] \quad (18)$$

#### Požadovaný modul odporu $W_{erf}$ :

Modul odporu se stanoví dle DVS2205-5, část 4.2.2., vzorec (19)

$$W_{erf} = \frac{p \times b \times a^2}{100 \times \sigma_{zul}} = \frac{0,0028 \times 300 \times 1500^2}{100 \times 181} = 104[mm^3] \quad (19)$$

### Požadovaný moment setrvačnosti $J_{erf}$ :

Moment setrvačnosti se stanoví dle DVS2205-5, část 4.2.2., vzorec (20)

- Modul pružnosti v tahu  $E_{stahl}$ :

Pro ocel ČSN 11.375 platí:  $E_{stahl} = 210000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

$$J_{erf} = \frac{p \times b \times a^4}{1280 \times E \times f_{erf}} = \frac{0,0028 \times 300 \times 1500^4}{1280 \times 210000 \times 3} = 5273 \text{ [mm}^4\text{]} \quad (20)$$

### Modul odporu zvoleného profilu $W$ :

Pro vyztužení okraje je zvolen profil EN 10219\_30x30x2mm, aby splňoval podmínku maximálního dovoleného průhybu.

$$W = \frac{B \times H^3 - b \times h^3}{6 \times H} = \frac{30 \times 30^3 - 26 \times 26^3}{6 \times 30} = 1961 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (21)$$

### Moment setrvačnosti zvoleného profilu $J$ :

$$J = \frac{B \times H^3 - b \times h^3}{12} = \frac{30 \times 30^3 - 26 \times 26^3}{12} = 29419 \text{ [mm}^4\text{]} \quad (22)$$

### Průhyb zvoleného profilu $f$ :

Průhyb navrženého vyztužení se vypočítá dle DVS2205-5, část 4.2.2., vzorec (23)

$$f = \frac{p \times b \times a^4}{1280 \times E \times J} = \frac{0,0028 \times 300 \times 1500^4}{1280 \times 210000 \times 29419} = 0,54 \text{ [mm]} \quad (23)$$

$f < f_{erf} \rightarrow$  Podmínka dle DVS2205-5, část 4.2.2. - vyhovuje !

#### 4.1.7 Přehled použitých zkratk a symbolů

Tab.7 – Použité zkratky a symboly

<i>ZNAČKA VELIČINY</i>	<i>JEDNOTKY</i>	<i>NÁZEV VELIČINY</i>
$a$	[mm]	délka nádrže
$b$	[mm]	výška nádrže
$c$	[mm]	šířka nádrže
$b_{max}$	[mm]	úroveň plnění
$V$	[m <sup>3</sup> ]	jmenovitý objem
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota media
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	gravitační zrychlení
$p_{stat}$	[Pa]	vnitřní tlak – statický
$K_{(A1;A3)}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	kríповá pevnost
$\sigma_{zul}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	dovolené napětí
$S_{min}$	[mm]	minimální tloušťka stěny
$S_{gew}$	[mm]	zvolená tloušťka stěny
$\sigma_{vorh}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	působící napětí
$E_c$	[N/mm <sup>2</sup> ]	kríповý modul
$f$	[mm]	průhyb
$f_{zul}$	[mm]	dovolený průhyb
$f_{erf}$	[mm]	maximální průhyb
$Re$	[MPa]	mez kluzu
$W_{erf}$	[mm <sup>3</sup> ]	požadovaný modul odporu
$J_{erf}$	[mm <sup>4</sup> ]	požadovaný moment setrvačnosti
$E_{stahl}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	modul pružnosti v tahu
$W$	[mm <sup>3</sup> ]	modul odporu zvoleného profilu
$J$	[mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti zvoleného profilu
$A2, A4$	[-]	redukční součinitel
$f_s$	[-]	svařovací součinitel
$S$	[-]	faktor bezpečnosti
$k$	[-]	bezpečnost

## 4.2 Konstrukční výkres a 3D model záchytné vany

Cílem této části bylo vytvořit model a výrobní výkresy záchytné vany vycházející z navrhnutých rozměrů z předešlé kapitoly.

Model se skládá ze sestavy obsahující jednotlivé součásti a podsestavy (PŘÍLOHA č.1).

Části modelu jsou:

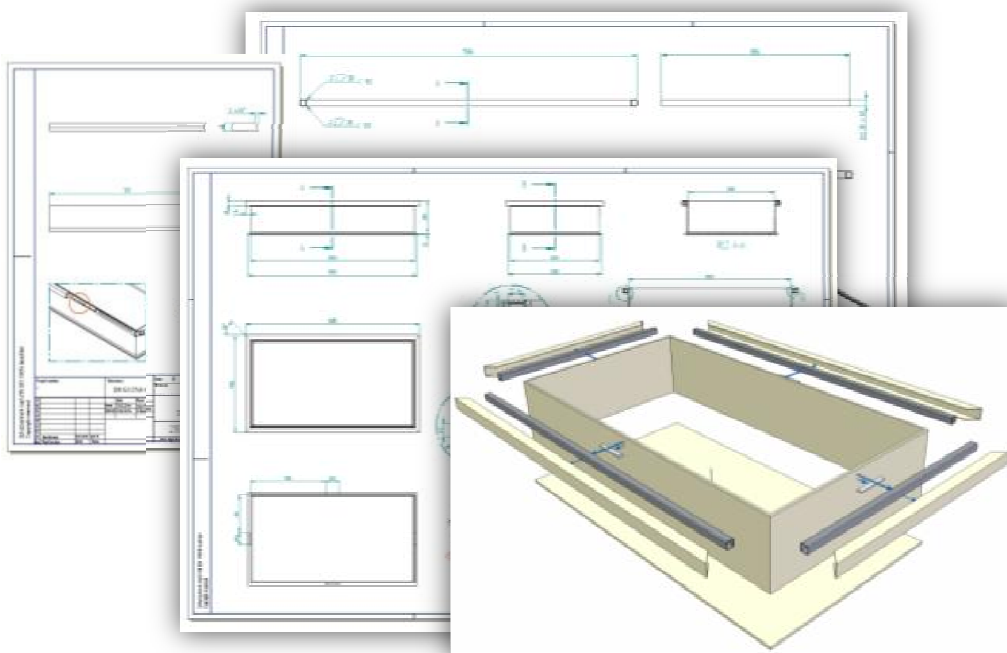
- dno záchytné vany
- plášť záchytné vany
- vyztužení horního okraje
- opláštění vyztužení okraje
- montážní destičky pro podepření vyztužení

Po vymodelování všech součástí potřebných k vytvoření celkové sestavy následovalo spojení pomocí vazeb, které fixují jednotlivé součásti v určené poloze.

Z takto vytvořené sestavy jsem vycházel při tvorbě potřebných výrobních výkresů (PŘÍLOHA č.2). Důraz jsem kladl zejména na přehlednost výkresů, dostupnost všech rozměrů potřebných při výrobě a při kótování jsem se snažil dbát na to, abych účelně používal tolerance.

Jednotlivé výkresy jsou:

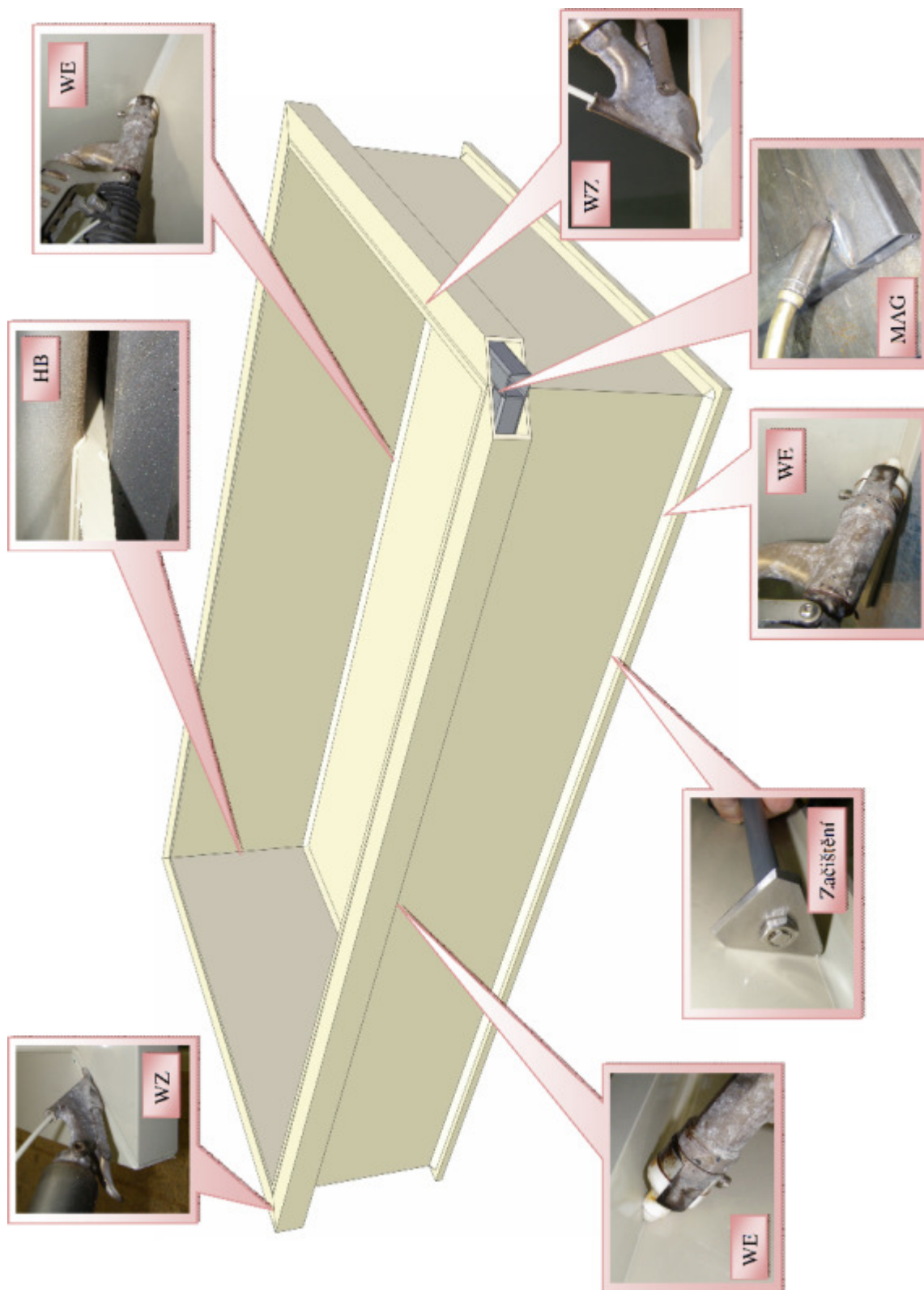
- výkres sestavy záchytné vany
- výkres ocelového vyztužení horního okraje vany
- výkres montážních destiček



Obr.24 – Model a výkresy

## 4.3 Výroba záchytné vany

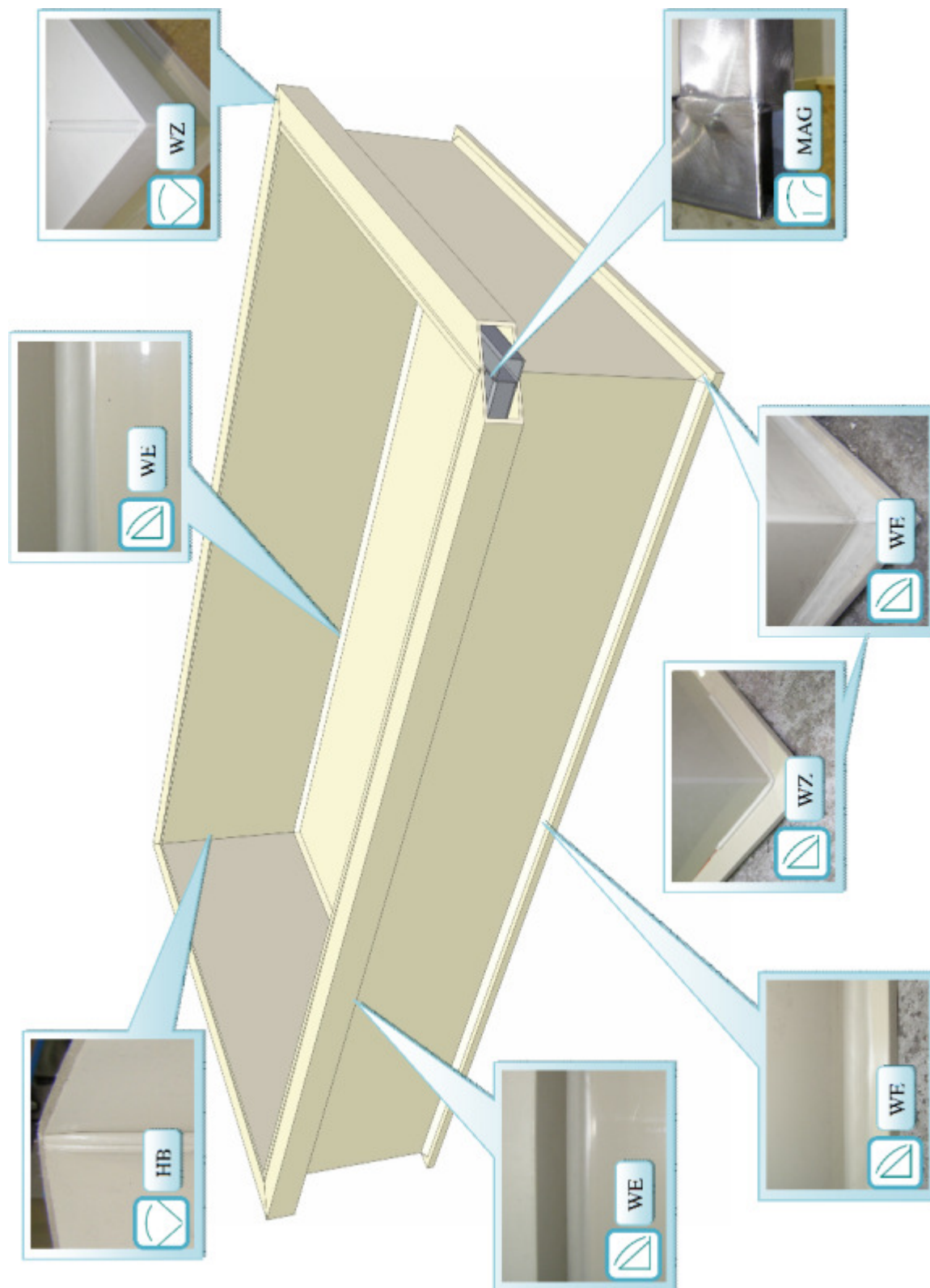
### 4.3.1 Použité metody svařování



Obr. 25 – Svařovací metody

### 4.3.2 Náhled provedení jednotlivých svarů

Velikost navržených svarů stanovuje DVS 2205 podle tloušťky stěn nádrže.



Obr.26 – Použité svary

## 5 Závěr

Na závěr bych rád shrnul poznatky a výsledky, kterých jsem docílil v této práci. Bakalářskou práci jsem nazval Konstrukce z termoplastů a způsoby jejich svařování. Jak jsem naznačil v úvodu, má dvě části, a to teoretickou a praktickou.

Do praktické části mé práce jsem vybral jednu konstrukci z termoplastu, konkrétně záchytnou vanu (nádrž) z polypropylenu. Abych záchytnou vanu mohl zkonstruovat, musel jsem nejprve provést statický výpočet, do něhož jsem zahrnul požadované vlastnosti a technické parametry budoucí nádrže. Dále jsem musel navrhnout a zkontrolovat tloušťky stěn nádrže. Při kontrole navržené tloušťky stěn jsem zjistil, že tloušťka nevyhovuje německé normě DVS 2205-5, a proto jsem musel stěnu zesílit, znovu spočítat průhyb a porovnat s normou DVS. Po zvolení silnějších stěn byl již průhyb v dovolených mezích a mohl jsem přejít na návrh a kontrolu vyztužení okraje nádrže ocelovým profilem. Na konec jsem dodal konstrukční výkresy a 3D modely, které jsem vytvořil v programu Solid Edge\_ST4. Pro představu jsem připojil pohled na hlavní části výroby nádrže obsahující použité metody svařování a náhled provedení jednotlivých svarů.

Teoretickou kapitolu jsem rozdělil na představení plastových materiálů, kde jsem se věnoval plastům, svařování plastových materiálů a polymerům obecně. Téma plasty je velmi obsáhlé. Jsem si vědom toho, že moje práce nemůže obsáhnout vše, co se o plastech ví nebo co je o plastech napsáno. Dávám tedy k dispozici pouze krátký výtah a shrnutí tohoto tématu.

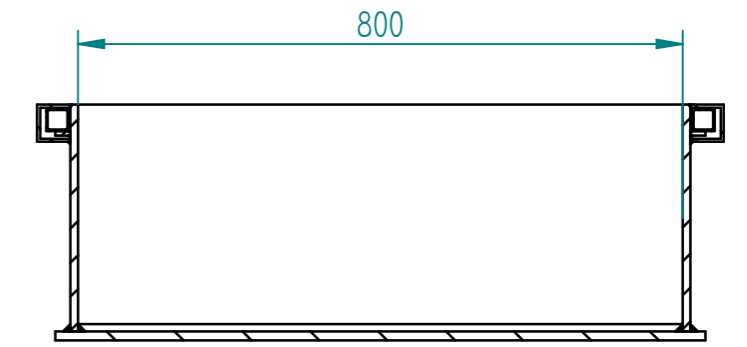
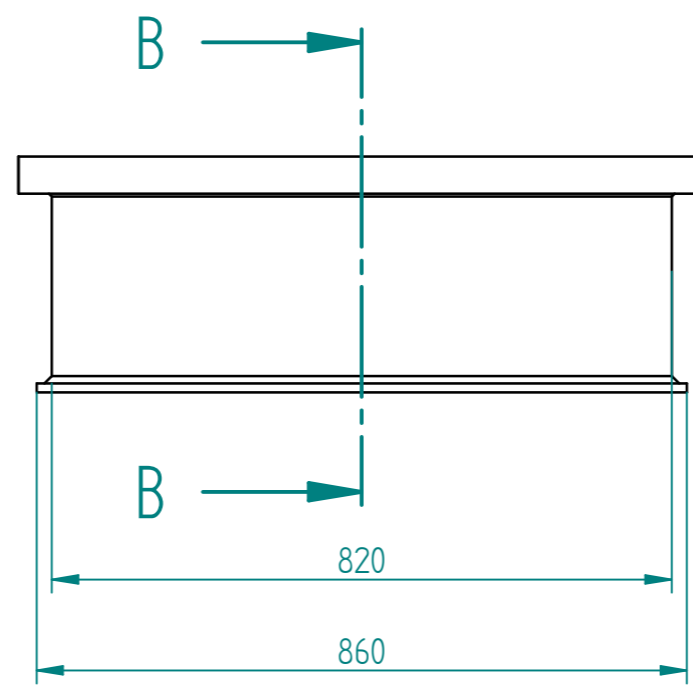
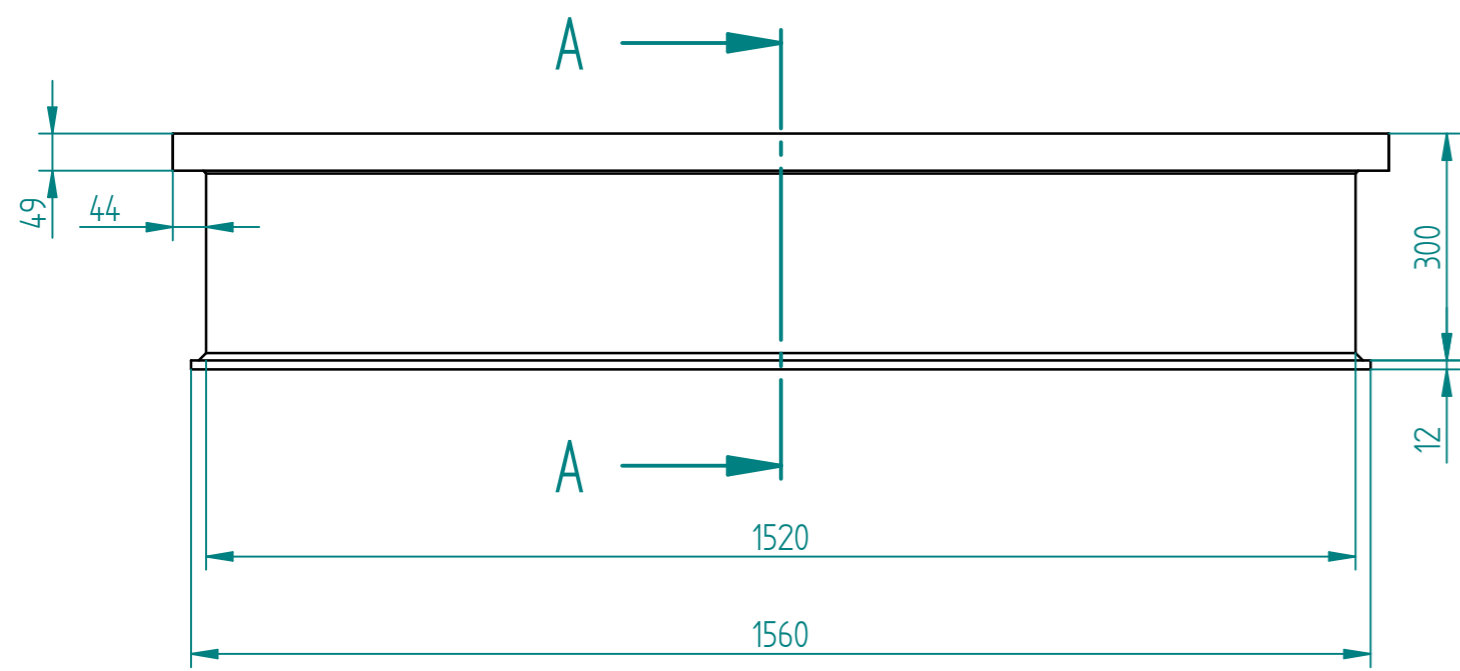
Teoretická část mi pomohla prohloubit mé znalosti o plastech, látkách, které každodenně využíváme. Dozvěděl jsem se o nepřeberných možnostech využití plastických hmot i o jejich jedinečných vlastnostech, jenž je činí tak výjimečnými oproti jiným materiálům, které postupně nahrazují nebo již zcela nahradily.

Jelikož pracuji ve firmě zabývající se výrobou plastových dílů a konstrukcí, mohu praktickou část práce použít i v profesním životě. Splnilo se tedy mé očekávání, jež jsem si stanovil v úvodu bakalářské práce.

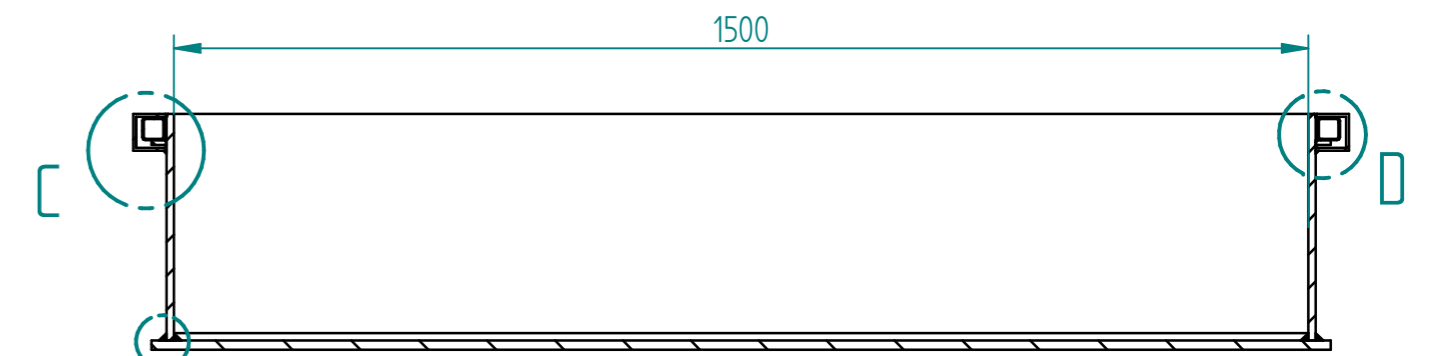
## 6 Použitá literatura

- [1] Loyda, M. *Svařování termoplastů*. 2.doplněné a rozšířené vydání, Praha: UNO Praha spol. s.r.o., 2011. ISBN 978-80-904949-0-9
- [2] Ducháček, V. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 1. vydání, Praha: VŠCHT, 1995. ISBN 80-7080-241-3
- [3] Kolouch, J. *Strojní součásti z plastů*. Praha: SNTL, 1981
- [4] Hugo, J. a kol. *Konstrukční plastické hmoty: jejich vlastnosti a využití ve strojírenství*. 1. vydání, Praha: SNTL, 1965
- [5] Ptáček, L. *Nauka o materiálu II*. 2. opravené a rozšířené vydání, Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3
- [6] *Taschenbuch DVS-Merkblätter und -Richtlinien Fügen von Kunststoffen: Fachbuchreihe Band 68/IV.11.*, überarbeitete und erweiterte Auflage, Düsseldorf: Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS-Verlag GmbH, 2006
- [7] <http://simsd.ic.cz/polymery.pdf>
- [8] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/12.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm)
- [9] <http://www.wegenerwelding.de/PDFs/schweissfibel.pdf>
- [10] <http://simona-de.com/static/sites/default/de/assets/Informationsmaterial>
- [11] <http://www.wegenerinternational.com/DE/Produkte/Biegen/Plattenbiegen.html>
- [12] <http://www.wegenerinternational.com/DE/Produkte/Schweissen/Extruder/322.html>
- [13] <http://www.cws-anb.cz>
- [14] <http://www.krautkramer.com.au>
- [15] <http://www.microobchod.cz/polyfuzni-svarecka-p-1a-650w-solo-trnova/>
- [16] <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/>
- [17] <http://www.wegenerinternational.com/DE/Produkte/Schweissen/Plattenschweissen.html>
- [18] <http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz>
- [19] <http://buch.archinform.net/isbn/3-87155-224-0.htm>
- [20] <http://www.orbi-tech.de/shop/Kunststoff-Schweissdraht/PP-EPDM.html>
- [21] <http://www.kreyenborg-pt.de/Loesungen/Infrarot-Technologie-Kristallisation>
- [22] <http://www.narmadamarketing.co.in/ProductDetail/22/PP-Pipe-And-Fittings.aspx>
- [23] [http://www.kunststoff-schweiz.ch/Swissplastic/html/l-tech\\_ag\\_sp\\_12\\_drucken.html](http://www.kunststoff-schweiz.ch/Swissplastic/html/l-tech_ag_sp_12_drucken.html)

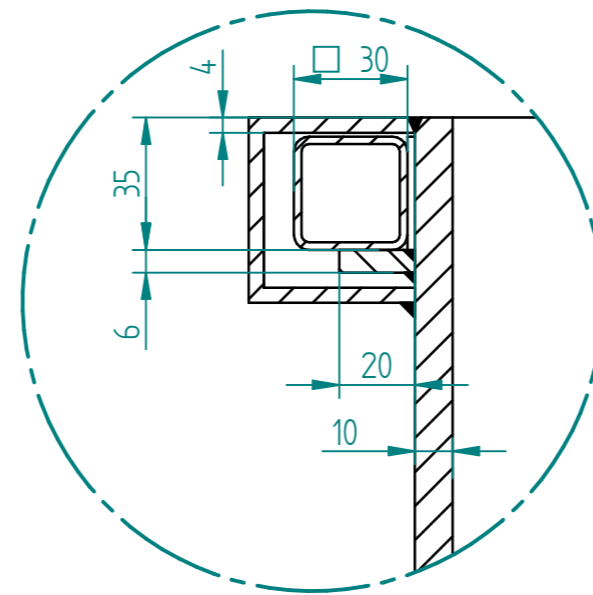
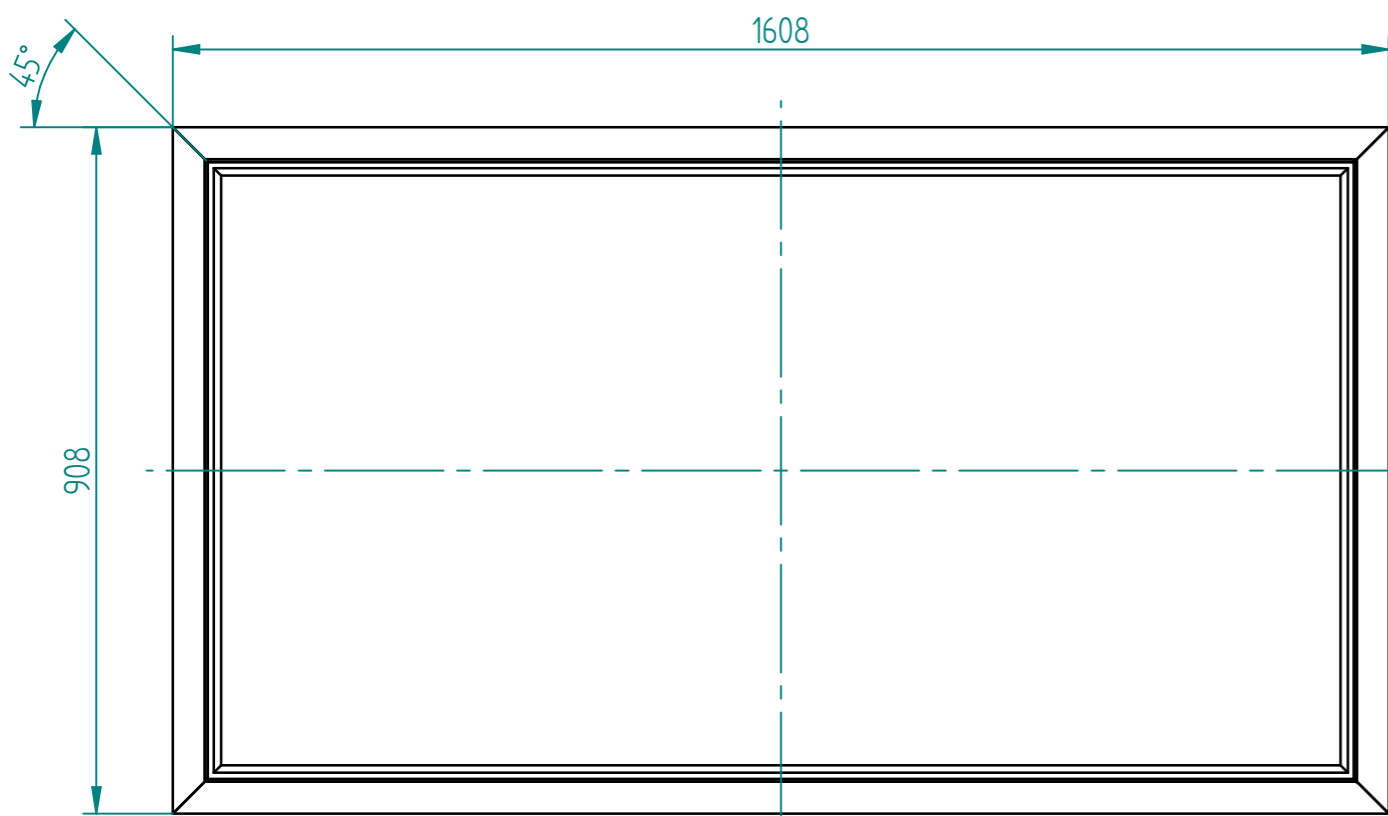




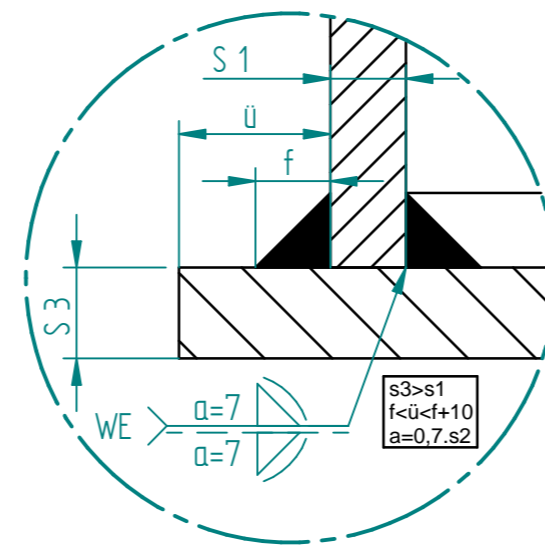
ŘEZ A-A



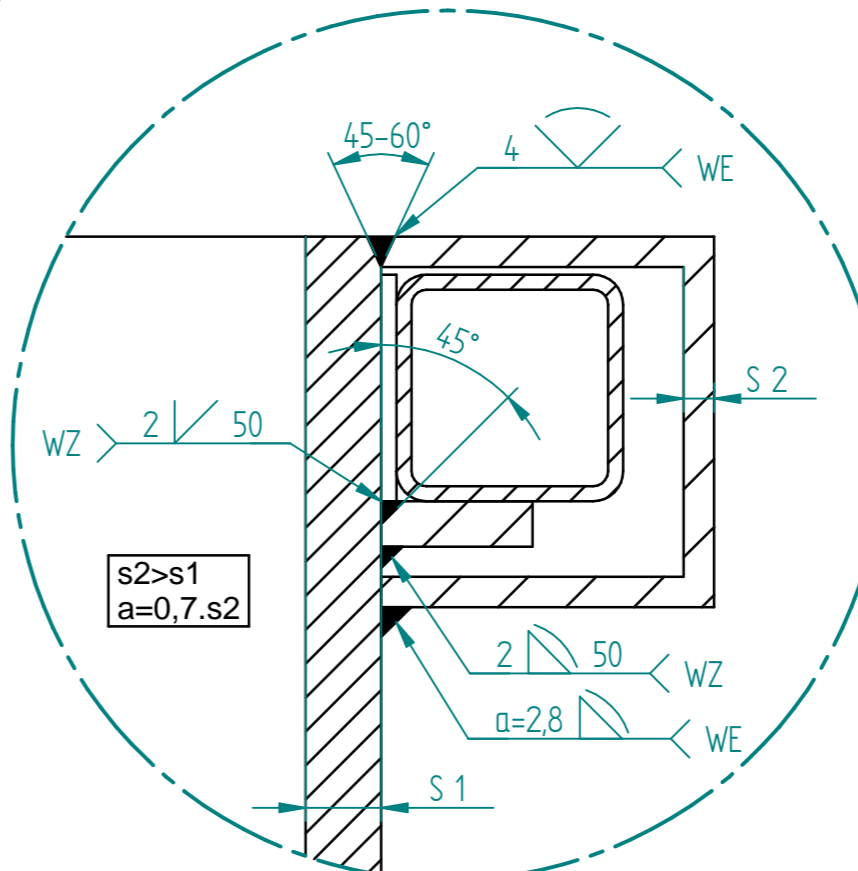
ŘEZ B-B



DETAIL C

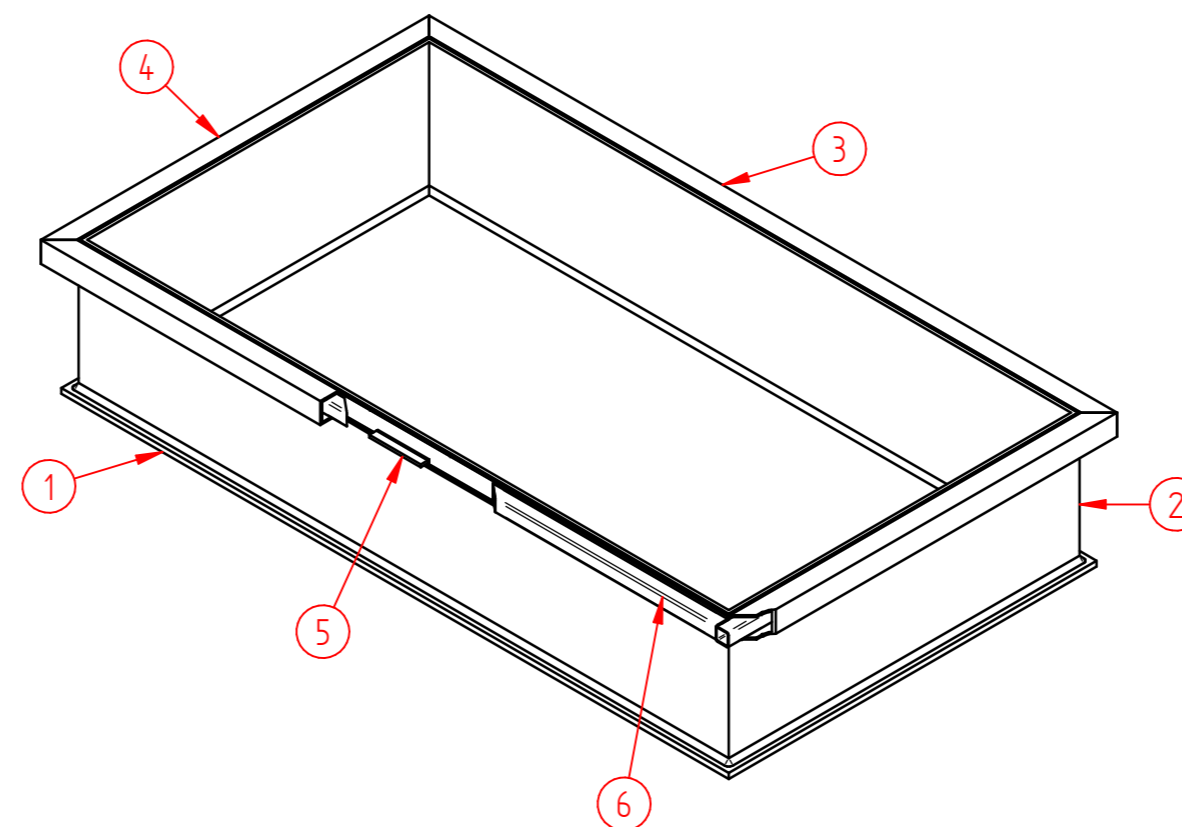
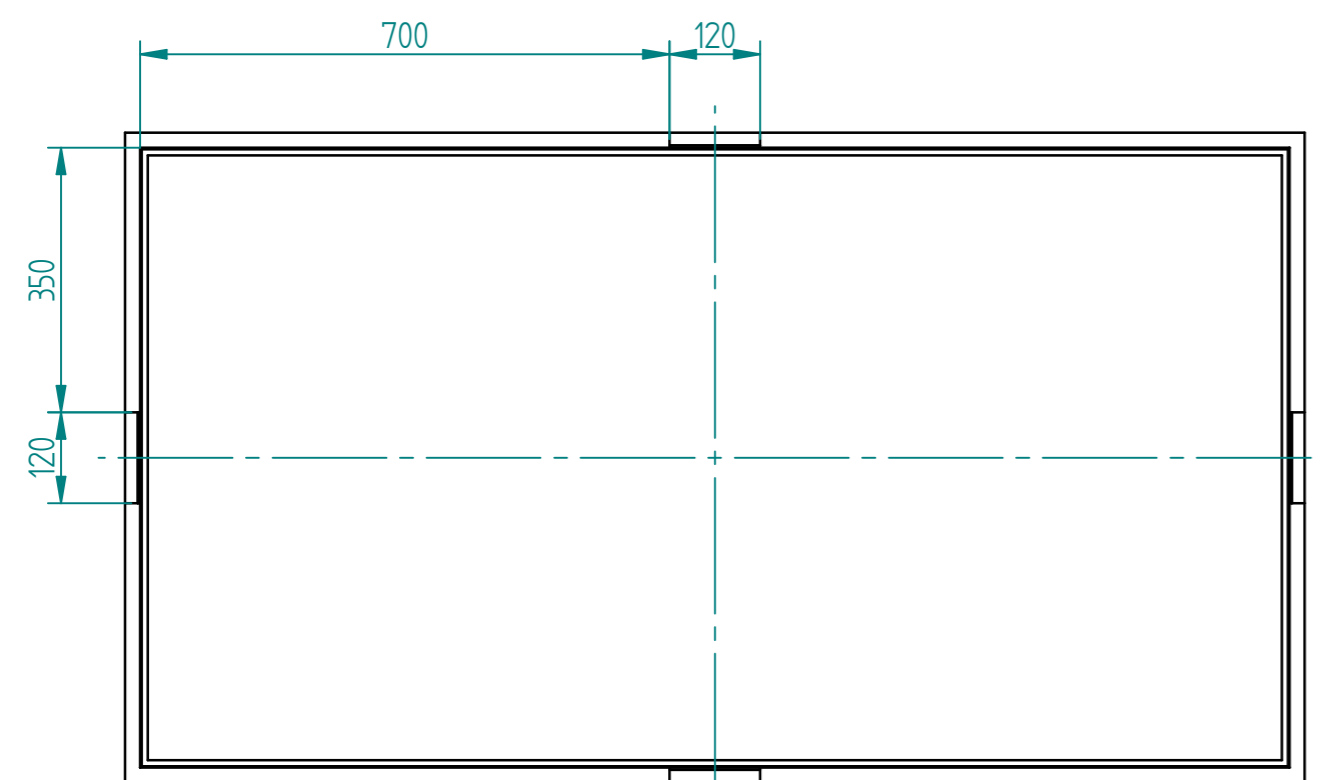


DETAIL E



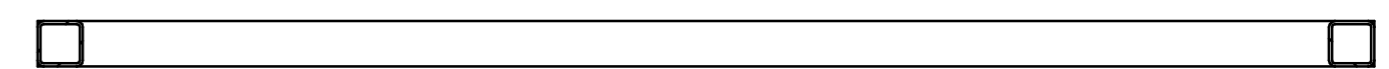
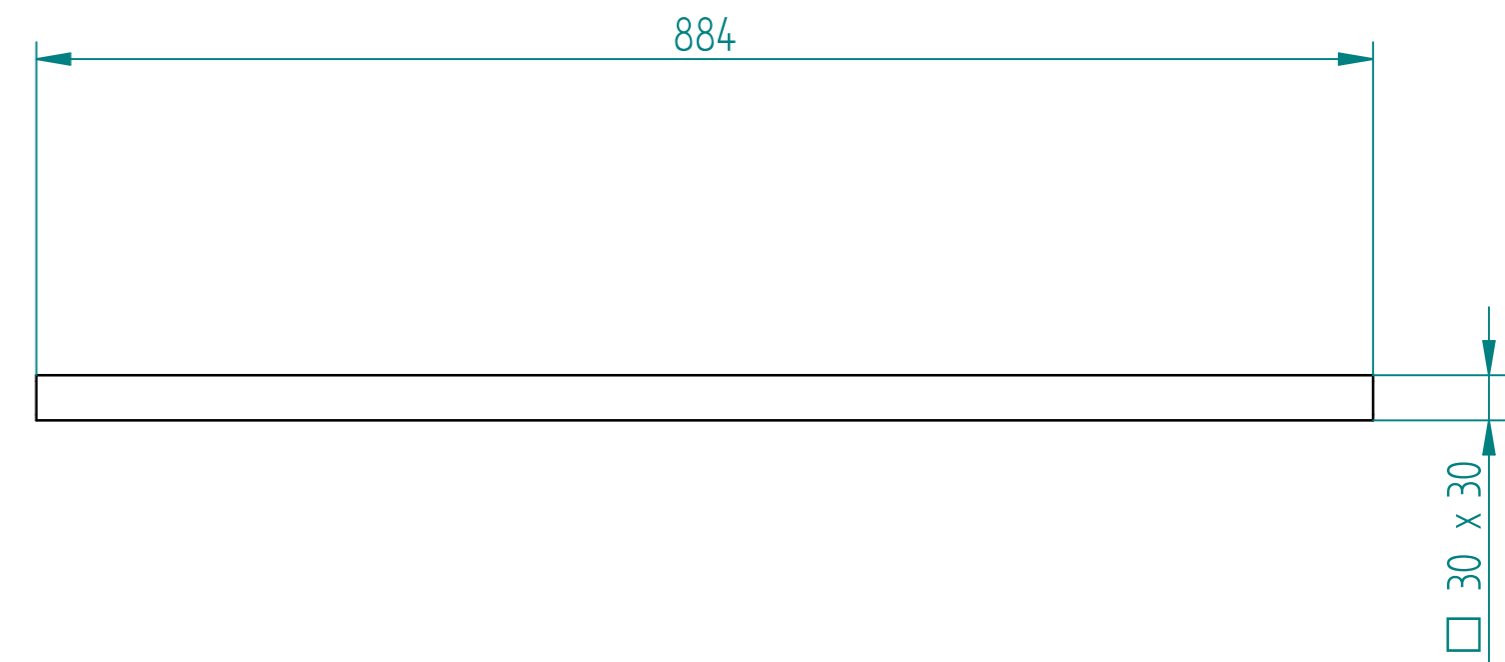
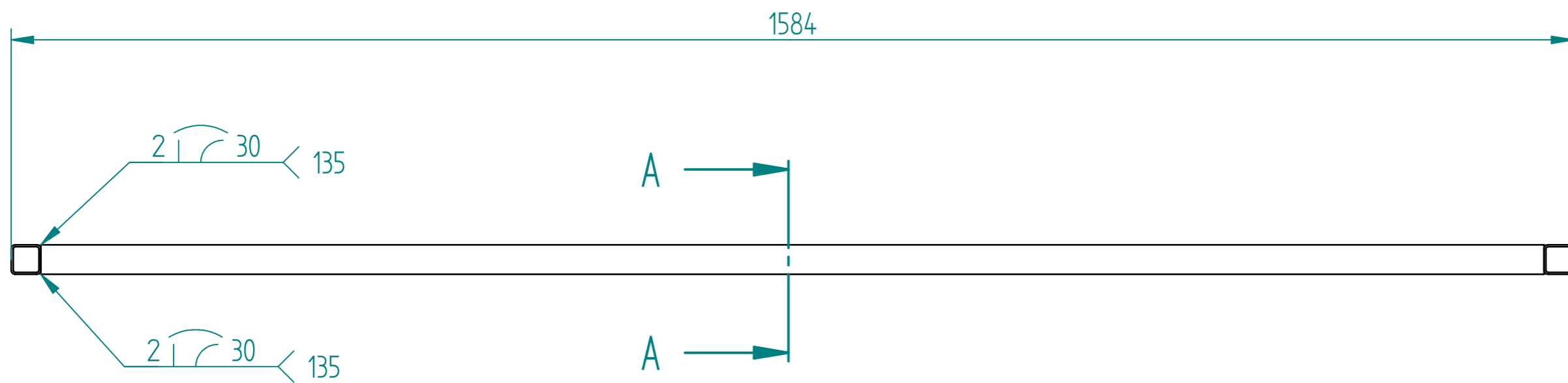
DETAIL D

Technologie výroby/Produktionstechnologie			
Lepení plastů Kunststoffkleben	Tangit Tangit		
	Dytex (značeno bílou barvou) Dytex (weiss markiert)		
	<i>jiné:</i> <i>Andere:</i>		
x Svařování plastů Kunststoffschweissen	x Horkým plynem s rychlotrýskou Warmgasziehschweissen	WZ	
	x Extruderem s příd. materiálem Warmgasextrusionschweissen	WE	
	x Na tupo horkým tělesem Heizelemenstumpschweissen	HS/HT	
	Polyfúzní Polyfuse	HD	
	Infračerveným paprskem Infrarotschweissen	IR	
	<i>jiné:</i> <i>Andere:</i>		
Svařování oceli Stahlschweissen	Obloukové wolframovou elektrodou Wolfram Inertgas Schweissen	TIG (141)	
	x Obloukové tavící se elektrodou Metall Aktivgas Schweissen	MAG (135)	
	<i>jiné:</i> <i>Andere:</i>		

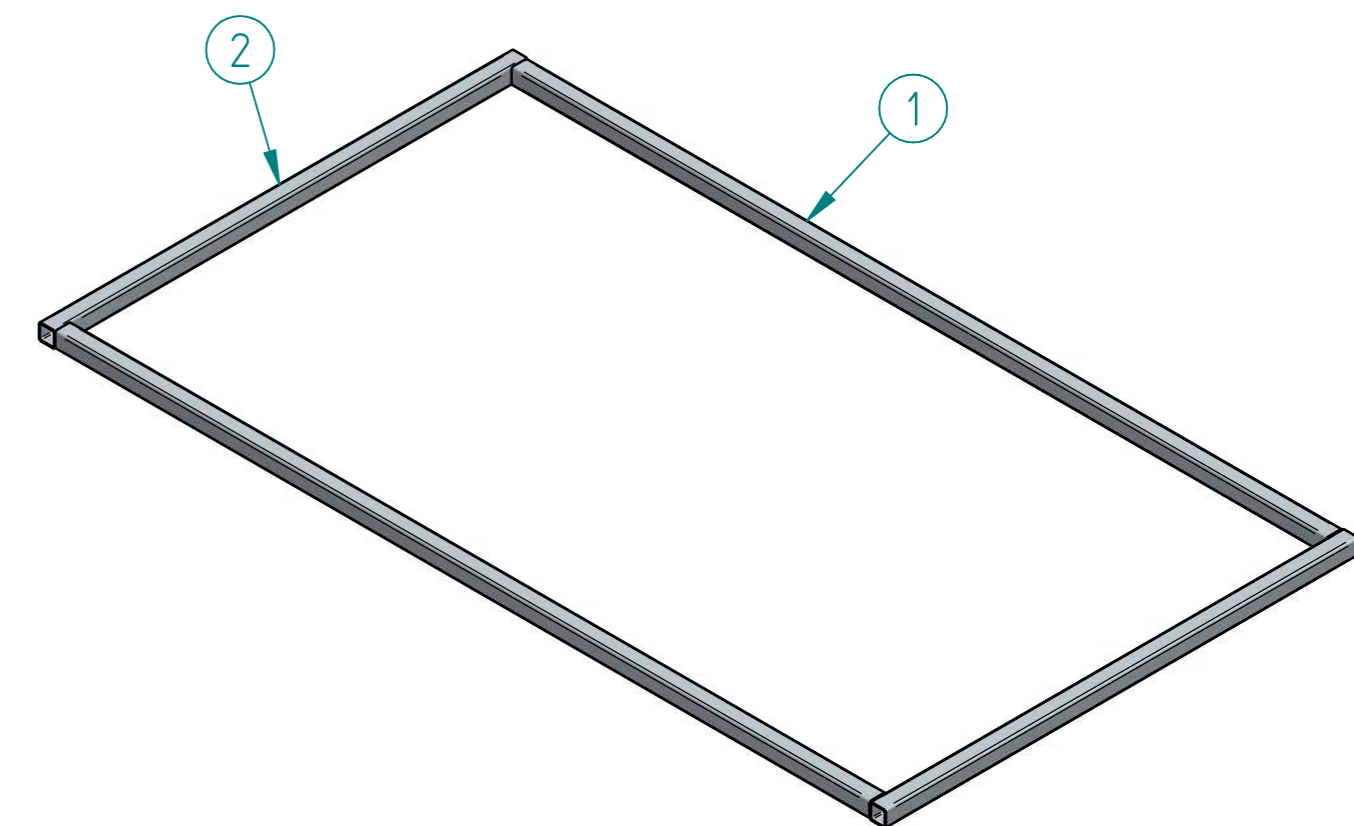
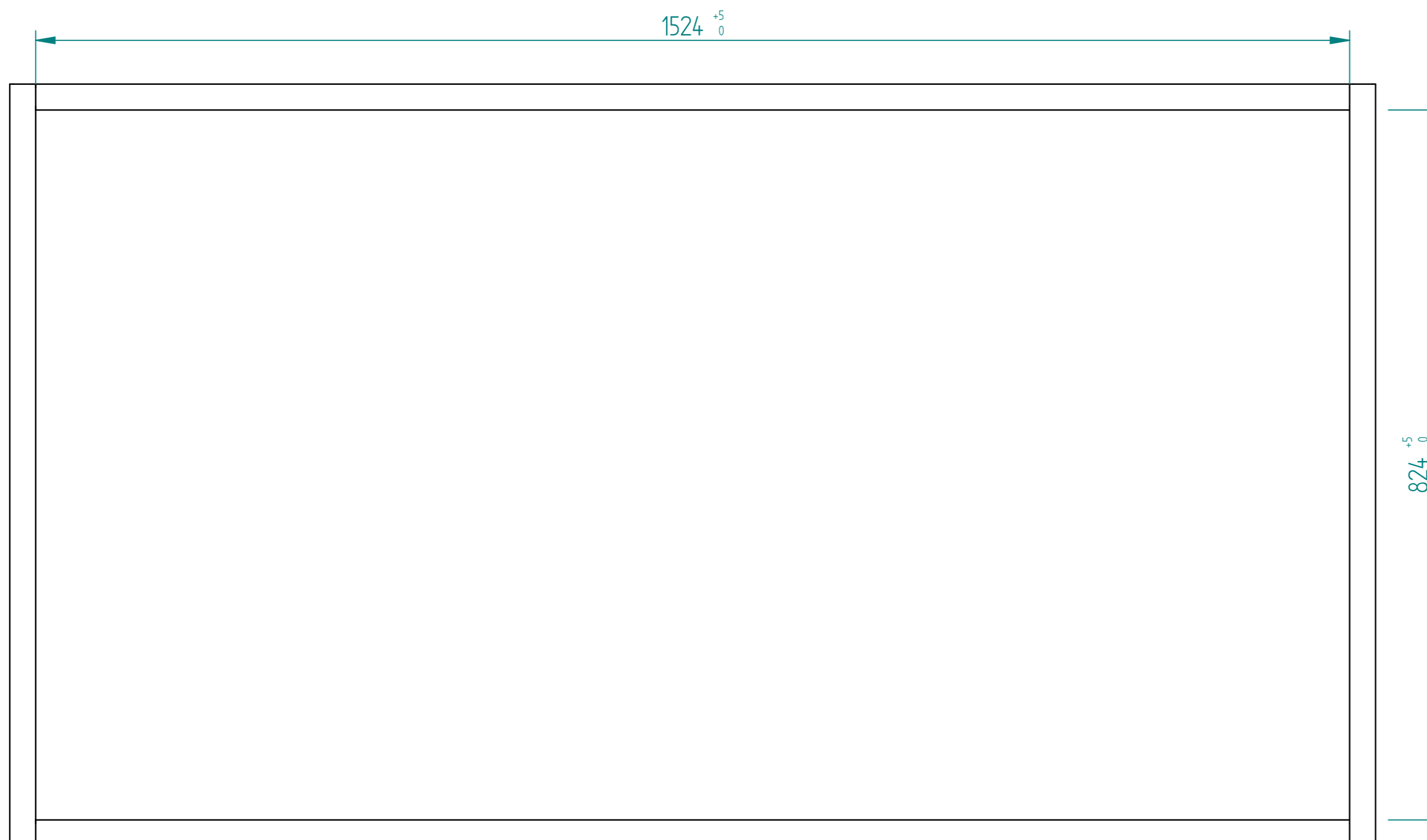


Pos. Stk.	Popis	Beschreibung	Typ	Dimension	Material	Zeichnung	
6	1	Rám	Rahm	ČSN 10219	1580x880x30	11375	21022014_00_02
5	4	Podpěra rámu	Rahmstütze	Platte_Simona	100x20x6	PP-H_Grau	21022014_00_03
4	2	Profil opláštění	Bedeckte Profil	U_Simona	49x44x4x910	PP-DWU_Grau	-
3	2	Profil opláštění	Bedeckte Profil	U_Simona	49x44x4x1610	PP-DWU_Grau	-
2	1	Korpus	Korpus	Vierkant	816x1516x300	PP-H_Grau	-
1	1	Deska dna	Bodenplatte	Platte_Simona	1556x856x12	PP-H_Grau	-

Project number:	Tolerances:	Scale:	Weight:	Part-nr.:
*	DIN ISO 2768 v	1:10	39 kg	-
Date:		Material:		
07	Date	PP-H / CSN 11 375		
06	Drawn	Záchytná vana_0,36m3		
05	Checked	21022014_00_01_Rev00		
04		Sheet		
03		1/1		
02		Západočeská univerzita v Plzni		
01		Fakulta strojní		
00		Katedra konstruování strojů		
Rev	Date	Solid Edge drawing		
00	21022014	21022014_00_01_Rev00.dft		

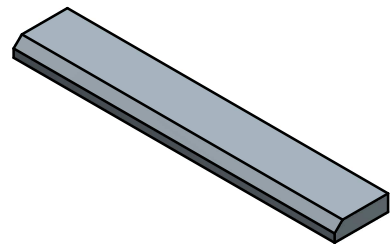
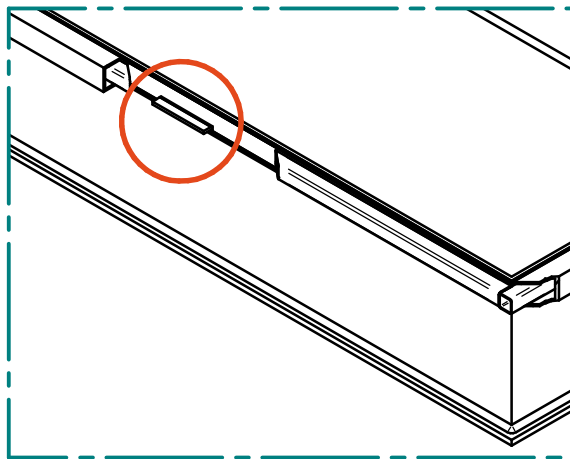
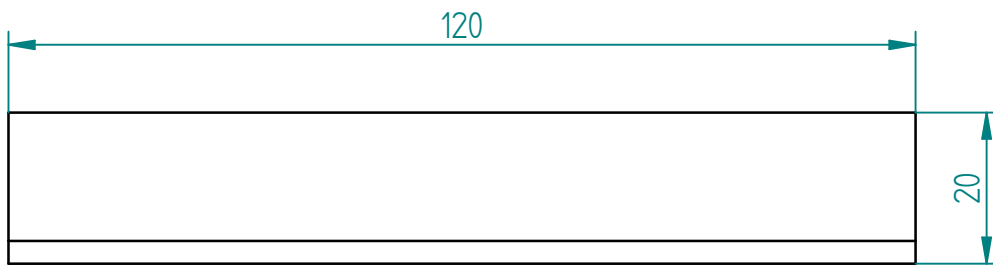
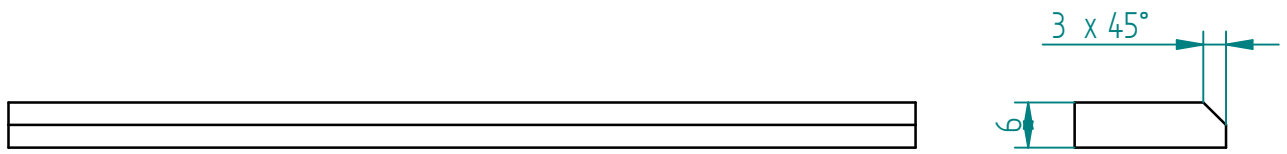


ŘEZ A-A



Pos.	Stk.	Popis	Beschreibung	Typ	Dimension	Material
2	2	Čtvercový profil	Rahm	Ferona_ČSN 10219	30x30x2mm_L= 824mm	11.375
1	2	Čtvercový profil	Rahmstůžce	Ferona_ČSN 10219	30x30x2mm_L=1524mm	11.375

Project number:		Tolerances:		Scale: 1:5	Weight: 8 kg	Part-nr.: -
•		CSN EN ISO 13 920 B		Material: CSN 11 375		
07		Date	Name	Rám záchytné vany_0,36m <sup>3</sup>		
06		Drawn 21.02.2014	Cink M.			
05		Checked 21.02.2014	Krónarová			
04						
03						
02		Západočeská univerzita v Plzni Fakulta strojní Katedra konstruování strojů		21022014_00_02_Rev00		Sheet 1/1
01						
00	New drawing	21.02.2014	Cink M.			
Rev	Modification	Date	Name	Solid Edge drawing   21022014_00_02_Rev00.dft		



**4 ks**

Project number: *			Tolerances: DIN ISO 2768 v		Scale: 1:1	Weight: 0,013 kg	Part-nr.: -	
					Material: PP			
07				Date	Podpěra rámu záchytná vana_0,36m3  21022014_00_03_Rev00			
06			Drawn	21.02.2014				Cink M.
05			Checked	21.02.2014				Krónerová
04								
03								
02			Západočeská univerzita v Plzni Fakulta strojní Katedra konstruování strojů			Sheet		
01								1/1
00	New drawing	21.02.2014				Cink M.		
Rev.	Modification	Date	Name			Solid Edge drawing	21022014_00_03_Rev00.dft	