

# **Vliv nízkých teplot na pevnost materiálu ocelové konstrukce v zamrazovacích tunelech**

Jan Rychnovský

---

Bakalářská práce  
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

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

Jméno a příjmení: **Jan Rychnovský**  
Osobní číslo: **T16526**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Vliv nízkých teplot na pevnost materiálu ocelové konstrukce v zamrazovacích tunelech**

### Zásady pro vypracování

1. Vypracování literární rešerše v dané oblasti
2. Příprava zkušebních těles pro mechanické zkoušky
3. Provedení experimentálních zkoušek
4. Vyhodnocení výsledků z hlediska praktických aplikací

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. M. Hluchý, O. Modráček, R. Paňák Strojírenská technologie 1. 2. díl, Metalografie a tepelné zpracování, 173 s. ISBN: 80-7183-265-0
2. PTÁČEK L. a kol. Nauka o materiálu II. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 1999. 350 s. ISBN 80-7204-130-4

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Žaludek, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 15. dubna 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta: Jan Rychnovský

.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora: Jan Rychnovský

Název bakalářské práce: Vliv nízkých teplot na pevnost materiálu ocelové konstrukce v zamrazovacích tenelech

Název v angličtině: Influence of low teperatures on the strength of the supporting steel structure in freezing tunnels

Studijní obor: Procesní inženýrství – Technologická zařízení

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

Rok obhajoby: 2020

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá studiem pevnosti materiálu nerezové ocelové konstrukce a jejích částí pro přesun produktů ve visu a pohybu údržby v zamrazovacích tunelech, kde na ni působí nízké teploty a zatížení při manipulaci s produkty.

V teoretické části je uvedena problematika chování materiálu při nízkých teplotách a při změně teplot a princip mechanických zkoušek.

Praktická část se zabývá postupem mechanických zkoušek a měřením na zařízeních pro statickou a cyklickou únavu.

Klíčová slova: zamrazovací tunely, ocelová konstrukce, mechanické zkoušky, statická a cyklická únava materiálu

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with a study of strength of the stainless supporting steel structure and its parts which is used to move hanging products and a movement of maintenance in freezing tunnels, where low temperatures and a load during manipulation with products operates.

In the theoretical part, a problem of behaving of the material at low temperatures, changes between temperatures and a principal of mechanical testing, is mentioned.

The practical part deals with a process of the mechanical testing and the measurement on the machines for a static and a cyclic fatigue.

Keywords: freezing tunnels, a steel structure, mechanical tests, a static and a cyclic fatigue

## **Poděkování**

Děkuji panu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady, ochotu, vstřícnost při konzultacích během vypracovávání bakalářské práce a v neposlední řadě za velkou pomoc během realizování zkoušek.

Chtěl bych také velmi poděkovat své rodině a přítelkyni, za obrovskou pomoc a oporu, kterou mi za celou dobu studia poskytli.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne:

.....

Podpis

## OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>16</b>
<b>1 MATERIÁLY VE STROJÍRENSTVÍ .....</b>	<b>17</b>
1.1 KOVY .....	17
1.1.1 Vlastnosti kovů a slitin .....	17
1.1.2 Krystalická stavba kovů.....	17
<b>2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU.....</b>	<b>18</b>
2.1 MECHANICKÉ ZKOUŠKY – ROZDĚLENÍ.....	18
2.2 MECHANICKÉ ZKOUŠKY STATICKÉ .....	19
2.2.1 Zkouška tahem .....	20
2.3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY DYNAMICKÉ .....	26
2.3.1 Zkouška opětovným namáháním.....	26
2.4 ZVLÁŠTNÍ TECHNICKÉ ZKOUŠKY .....	28
2.4.1 Zkoušky za snížených teplot .....	28
<b>3 OCELI .....</b>	<b>29</b>
3.1 OCELI TŘ. 11 .....	29
3.1.1 Oceli pevnostní řady 34 až 45 .....	29
3.2 OCELI TŘ. 17.....	29
<b>4 PŘEHLED TECHNOLOGIE – SVAŘOVÁNÍ.....</b>	<b>30</b>
4.1 SVAŘITELNOST.....	30
4.1.1 Plamenové svařování .....	30
4.1.2 Svařování elektrickým obloukem.....	30
<b>5 POVRCHOVÁ ÚPRAVA MATERIÁLU .....</b>	<b>31</b>
5.1 OCHRANA PROTI KOROZI .....	31
5.1.1 Žárové zinkování .....	31
<b>6 OCELI DO NÍZKÝCH A KRYOGENNÍCH TEPLOT .....</b>	<b>32</b>
6.1 KOROZIVZDORNÉ OCELI DO NÍZKÝCH TEPLOT.....	32
6.2 UHLÍKOVÉ OCELI DO NÍZKÝCH TEPLOT .....	32
<b>7 ZAMRAŽOVACÍ TUNELY.....</b>	<b>33</b>
7.1 Odstávky, sanitace, údržba .....	33
7.2 BEZPEČNOST PRÁCE .....	33
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>34</b>
<b>8 VÝBĚR MATERIÁLU A VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES .....</b>	<b>35</b>
8.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES .....	35
8.2 ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES .....	35
8.2.1 Zkušební tělesa z tyče kruhového průřezu.....	35
8.2.2 Zkušební tělesa z ploché tyče obdélníkového průřezu .....	36
<b>9 MECHANICKÉ ZKOUŠKY TĚLES.....</b>	<b>37</b>



9.1	ZAŘÍZENÍ PRO PROVEDENÍ ZKOUŠEK.....	37
9.2	STATICÁ ZKOUŠKA TAHEM .....	38
9.2.1	Zkouška tahem pro tělesa s obdélníkovým průřezem o teplotě 20°C a -30°C .....	39
9.2.2	Naměřené hodnoty po provedení zkoušky tahem těles s obdélníkovým průřezem o teplotě 20°C a -30°C .....	40
9.2.3	Zkouška tahem pro tělesa s kruhovým průřezem při teplotě 20°C a -30°C .....	43
9.2.4	Naměřené hodnoty po provedení zkoušky tahem těles s kruhovým průřezem o teplotě 20°C a -30°C .....	44
9.2.5	Vyhodnocení výsledků po statické zkoušce tahem .....	47
9.2.6	Průměrná hodnota modulu pružnosti v tahu E pro tělesa s plochým a kruhovým průřezem.....	47
9.2.7	Průměrná hodnota meze pevnosti v tahu $R_m$ pro tělesa s plochým a kruhovým průřezem.....	48
9.2.8	Průměrná hodnota poměrného prodloužení $\epsilon$ na mezi pevnosti.....	49
9.2.9	Vyhodnocení vlivu teploty těles na modul pružnosti v tahu, mez pevnosti a poměrné prodloužení na mezi pevnosti po statické zkoušce tahem.....	50
9.2.10	Vyhodnocení vlivu průřezu těles na modul pružnosti v tahu, mez pevnosti a poměrné prodloužení na mezi pevnosti po statické zkoušce tahem.....	51
9.3	CYKlickÁ ÚNAVovÁ ZKOUŠKA .....	52
9.3.1	Parametry a uspořádání cyklické zkoušky .....	52
9.3.2	Cyklická únavová zkouška pro těleso s obdélníkovým průřezem při teplotě 20°C.....	53
9.3.3	Vyhodnocení naměřených dat .....	53
9.3.4	Cyklická únavová zkouška pro těleso s kruhovým průřezem při teplotě 20°C .....	56
9.3.5	Vyhodnocení naměřených dat .....	56
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>68</b>

## ÚVOD

Pro svoji bakalářskou práci na téma Vliv nízkých teplot na pevnost materiálu ocelové konstrukce v zamrazovacích tunelech jsem využil podkladu pro přednášku Oceli do nízkých a kryogenních teplot.

Vzhledem ke skutečnosti, že v zamrazovacích tunelech se teplota pohybuje v rozmezí  $-36$  až  $-38^{\circ}\text{C}$ , jsem se zaměřil na problematiku pevnosti nerezové ocelové konstrukce, ze které jsou vyhotoveny pochozí rošty lávek, závěsy podhledů a třmeny drah včetně kotevniho a spojovacího materiálu, který drží hliníkové pojezdové dráhy na konstrukci hlavní.

Hlavní nosná ocelová konstrukce je zároveň zinkovaná a je k sobě přivařena nebo sešroubována. Na některých místech konstrukce se již projevuje poškozené zinkování z důvodu sanitace a osekávání ledu, tedy i výskyt koroze. Při provádění odstávky se v tunelu vypne chlazení a teplota dosáhne  $0^{\circ}\text{C}$ , při které mohou lépe provézt nutné úkony spojené s údržbou, sanitací atd.

Z důvodu nízkých provozních teplot v tunelech a zatížení konstrukce, ale i měnících se teplot při provádění údržby a sanitace, bych rád ověřil, že tyto parametry nebudou způsobovat v budoucnu problémy při manipulaci s produktem ve visu, pohybu ručně vedených a vysokozdvíhových paletových vozíků a bezpečnosti práce, při uvedení tunelů zpět na provozní teplotu a vnitřní manipulaci s produkty.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 MATERIÁLY VE STROJÍRENSTVÍ

## 1.1 Kovy

Charakteristické vlastnosti pro kovové materiály jsou vysoké moduly pružnosti, možnosti zpevnění přidáním dalších prvků (legováním) a tepelným zpracováním. Jsou houževnaté a dobře se tvarují, disponují dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí. [1]

### 1.1.1 Vlastnosti kovů a slitin

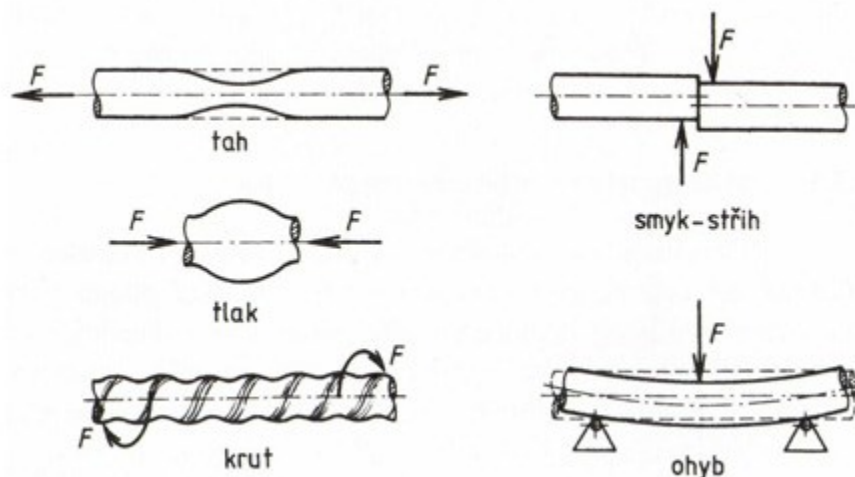
Abychom mohli posoudit technické využití a správně zvolit způsob výroby, je třeba znát jejich fyzikální, mechanické, technologické a chemické vlastnosti. Vlastnost materiálu závisí na stavu, který charakterizuje jeho výslednou strukturu po určitém zpracování. Fyzikální vlastnosti jsou například modul pružnosti v tahu, hustota, tepelná vodivost a jiné. Posouzení chemických vlastností je důležité, aby bylo zjištěno chování materiálu při normálních nebo zvýšených teplotách v prostředí různých látek. Mechanické vlastnosti jsou určovány působením různých faktorů a jsou zjišťovány na zkušebních zařízeních a strojích. Tvar, rozměry a způsoby zkoušení nám stanovují normy. Technologické vlastnosti jsou závislosti souborů fyzikálních, chemických a mechanických vlastností, patří sem například slévateľnost, tvařitelnost, svařitelnost, obrobiteľnost. [1]

### 1.1.2 Krystalická stavba kovů

Kovy jsou v tuhém stavu krystalické látky. Tyto látky se vyznačují zákonitým prostorovým uspořádáním svých stavebních částí (atomů). Krystalické mřížky mají v různých rovinách a směrech rozdílné vlastnosti (anizotropie). Kovy a jejich slitiny nejčastěji krystalizují v krystalických soustavách: kubické prostorově centrované, kubické plošně centrované, hexagonální. [1],[10],[11],[16]

## 2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU

Materiály jsou při zpracování i při používání vystaveny různým druhům namáhání. Jedná se tah, tlak, ohyb, krut a stříh. Uvedená namáhání většinou nepůsobí pouze samostatně, ale také v různých kombinacích. Materiál je například namáhán současně tahem a tlakem nebo tahem, ohybem i krutem. Z důvodu, aby mohl materiál těmto namáháním odolávat, musí mít určité vlastnosti a těmi jsou pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost a jiné. Teplota má také značný vliv na mechanické vlastnosti materiálů. Při působení určitých teplot se mění krystalická struktura materiálů, a tím i mechanické vlastnosti materiálu. Například díky tváření kovů za studena se deformují krystalické mřížky, a tak v nich vzniká vnitřní pnutí. Tím se zvětšuje jejich pevnost, ale zmenšuje tažnost. [2]



Obrázek 1 - Únavová křivka napětí

### 2.1 Mechanické zkoušky – rozdělení

Mechanickými zkouškami získáváme potřebné údaje, které jsou nutné pro návrh tvaru, rozměrů a materiálů strojních součástí.

Z hlediska, jak nám působí síly na zkušební těleso, rozdělujeme mechanické zkoušky takto:

- Statické zkoušky – zvětšujeme při nich zatížení poměrně zvolna. Působí obvykle několik minut, při dlouhobých zkouškách několik dní až let.
- Dynamické zkoušky rázové a cyklické – síla zde působí nárazově po zlomek sekundy. Při cyklických únavových zkouškách (tzv. zkoušky na únavu materiálu) se proměnné zatížení opakuje od mnoha cyklů za sekundu až do milionů jejich celkového počtu.

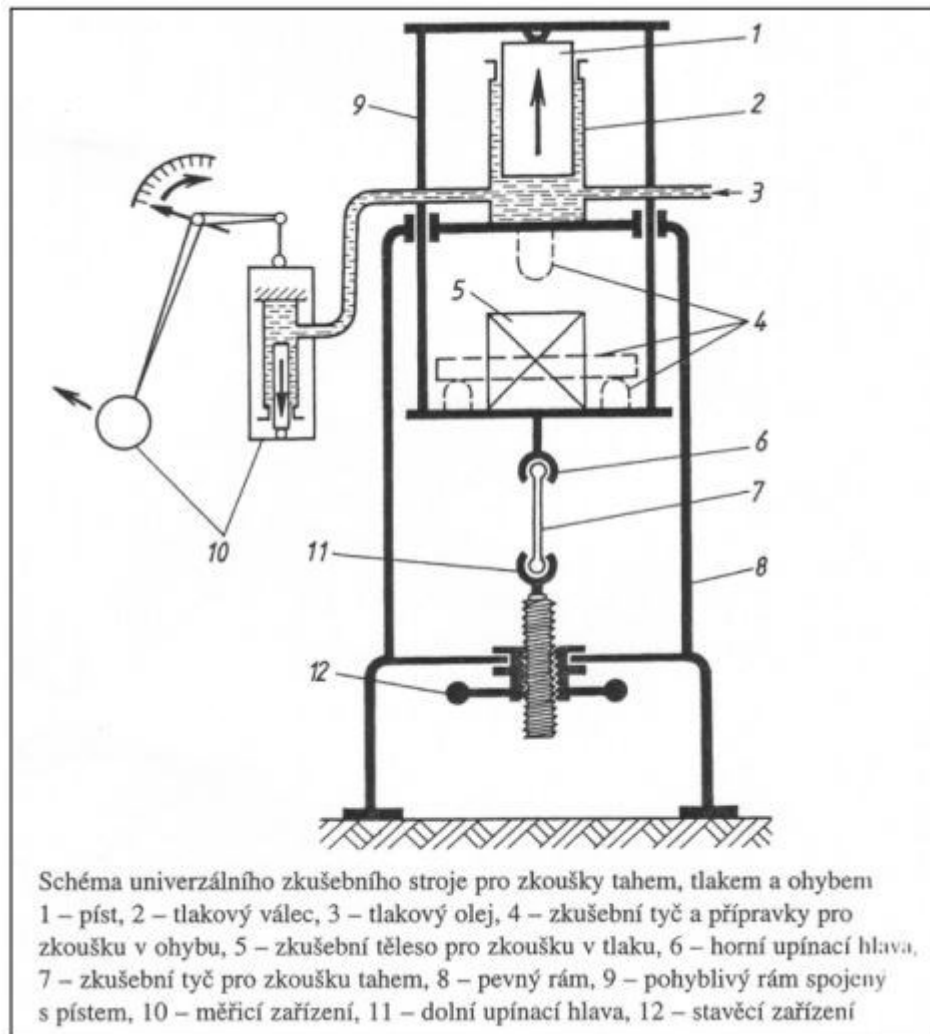
- Zkoušky podle teplot, kde je dělíme na zkoušky za normálních teplot, zvýšených teplot nebo snížených teplot. [2]

## 2.2 Mechanické zkoušky statické

Jedná se o základní zkoušky mechanického zkoušení materiálu. Materiál zatěžujeme pozvolna a bez rázu. Buď zatěžujeme materiál pouze jednou, nebo zatěžování několikrát opakujeme. Podle toho, jak nám působí zatěžující síla, rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu.

Zkušební stroje existují buď jednoúčelové (používají se pro jeden druh zkoušek), nebo univerzální, kde pomocí vhodných přípravků lze provádět různé druhy zkoušek. [2]

Zde na obrázku 2 je zobrazeno schéma univerzálního zkušebního stroje. Přivádíme tlakový olej do tlakového válce a tím se zvedá pohyblivý rám stroje. Zkušební tyče při tahové zkoušce se upínají do upínacích hlav. Zkouška pevnosti v tlaku se provádí na zkušební kostce nebo válečku, který je položen na desce pohyblivého rámu. Při zkoušce pevnosti v ohybu pokládáme zkušební vzorek na dvě podpěry a namáhání je vyvozeno ohýbacím trnem připevněným na horní desku pevného rámu. Měřicí zařízení – tzv. kyvadlový manometr, je spojeno potrubím s pracovním prostorem tlakového válce. Tlak působící na píst měřicího tlakového válečku je vyvážen kyvadlem se závažím. Ručička na ramenu páky kyvadla ukazuje na stupnici měřicího zařízení zatížení v jednotkách síly, tj. v newtonech. [2]



Obrázek 2 - Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušky tahem, tlakem a ohybem

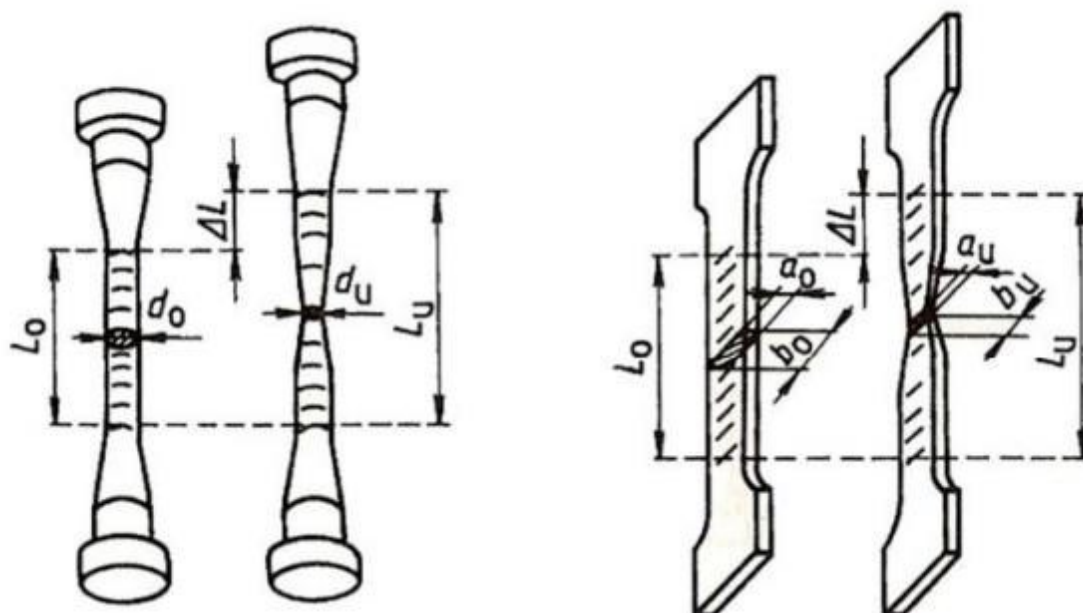
### 2.2.1 Zkouška tahem

Zkouška tahem patří mezi nejrozšířenější statické zkoušky. Je normalizována podle normy ČSN EN 10002-1 (42 0310):1994.

Je nutná takřka u všech technických materiálů, z důvodu, že díky ní získáváme základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu.

Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, které mají tvar a rozměry podle normy. Počáteční délka  $L_0$  zkušební tyče závisí na průřezu zkušební tyče a je při kruhovém průřezu u dlouhé tyče  $10 d_0$  a u tyče krátké  $5 d_0$  ( $d_0$  = průměr zkušební tyče). Z důvodu, abychom mohli změřit prodloužení zkušební tyče po přetržení,

vyznačíme na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10 mm. Zkouškou tahem zjišťujeme pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a kontrakci (zúžení) zkoušeného materiálu. [2]



zkušební tyč kruhová

zkušební tyč plochá

Obrázek 3 - Zkušební tyče pro zkoušku tahem

Při všech statických zkouškách vzniká v zatížené součásti napětí. Rozeznáváme dva druhy napětí, a to normálové napětí  $\sigma$  a tečné napětí  $\tau$ . Běžně jsou používány hodnoty smluvních napětí, protože zatížení vztahujeme na původní průřez  $S_0$ .

Pevnost v tahu (mez pevnosti v tahu)  $R_m$  je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly  $F_m$ , kterou snese zkušební tyč, a počátečního průřezu zkušební tyče  $S_0$ :

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

Byla-li počáteční délka zkušební tyče  $L_0$  a konečná délka po přetržení  $L_u$ , je celkové (absolutní) prodloužení (změna délky)



Poměrné prodloužení  $\varepsilon$  je dáno poměrem změny délky  $\Delta L$  k počáteční délce zkušební tyče  $L_0$ :

$$\Delta L = L_u - L_0$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0}$$

Tažnost  $A$  je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech počáteční délky:

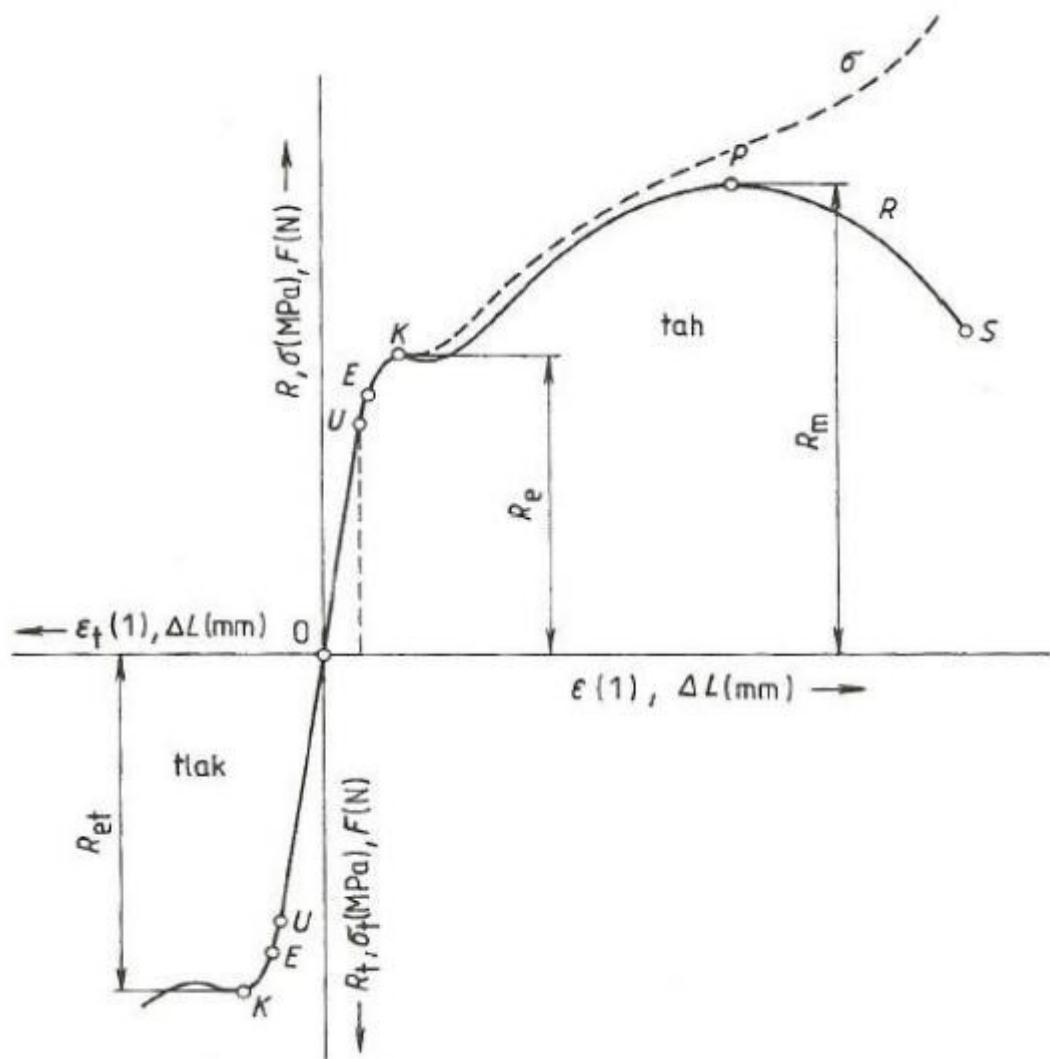
$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

U tažnosti uvádíme indexem ( $A_5$ ,  $A_{10}$ ), zde byla získána na krátké či dlouhé zkušební tyči.

Kontrakce (zúžení)  $Z$  je poměr rozdílu počáteční plochy  $S_0$  a nejmenší plochy  $S_u$  příčného průřezu zkušební tyče po přetržení k počáteční ploše průřezu:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

Při zkoušce tahem kreslí zapisovací zařízení trhacího stroje na milimetrový papír upnutý na buben, pracovní diagram, který udává závislost poměrného prodloužení  $\varepsilon$  na napětí  $R$  (nebo celkového prodloužení  $\Delta L$  na zatěžující síle  $F$ ). Pro výpočty namáhání má význam pouze diagram  $\varepsilon - R$  (prodloužení – napětí). [2]



Obrázek 4 - Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem u měkké nelegované oceli  
Zpočátku je prodloužení ty přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení (průběh lze znázornit přímkou), a to až do bodu U. Napětí odpovídající bodu U definujeme jako napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (Hookův zákon).

V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až do bodu E je deformace pružná, tj. po odlehčení nabývá tyč počáteční délky. Napětí odpovídající bodu E je mez pružnosti a definujeme ji jako mezní napětí, které po odlehčení nevyvolává trvalé deformace.

Zvětšuje-li se zatížení dál, nastává přetváření trvalé (plastické) a tyč po odlehčení nena-bude počáteční délky. Napětí odpovídající bodu K definujeme jako pevnost v kluzu (mez kluzu v tahu)  $R_e$ . Je to napětí, při němž se zkušební tyč počne výrazně deformovat, aniž by

se zvyšovala zatěžující síla, nebo při němž nastává deformace provázená poklesem zatěžující síly.

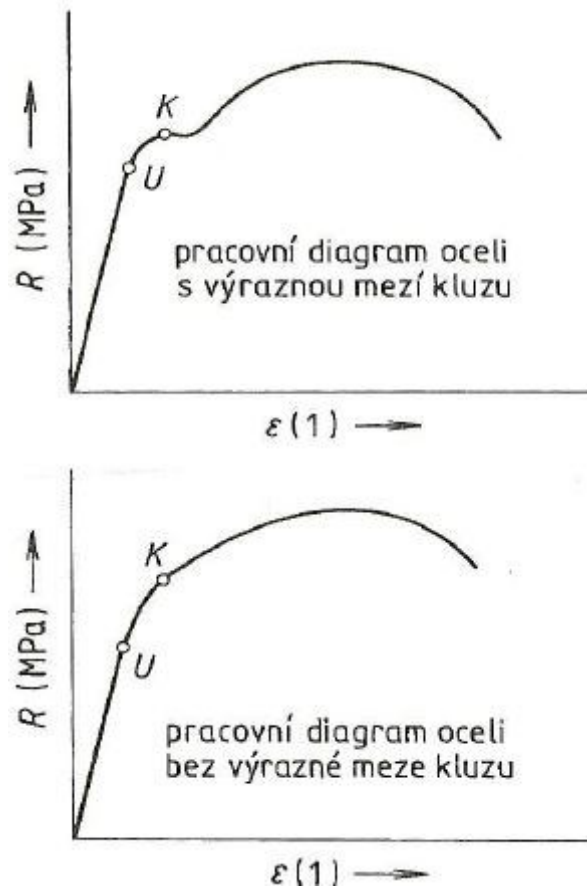
$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

U některých materiálů výrazná prodleva nenastane. Potom zavádíme smluvní mez kluzu, kterou určujeme z trvalé deformace pod zatížením  $R_p$ . Je to napětí, při kterém trvalá deformace zkušební tyče dosáhne předepsané hodnoty vyjádřené v % počáteční měrné délky (např. 0,2 % -  $R_{p 0,2}$ ).

$$R_{p 0,2} = \frac{F_{p 0,2}}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

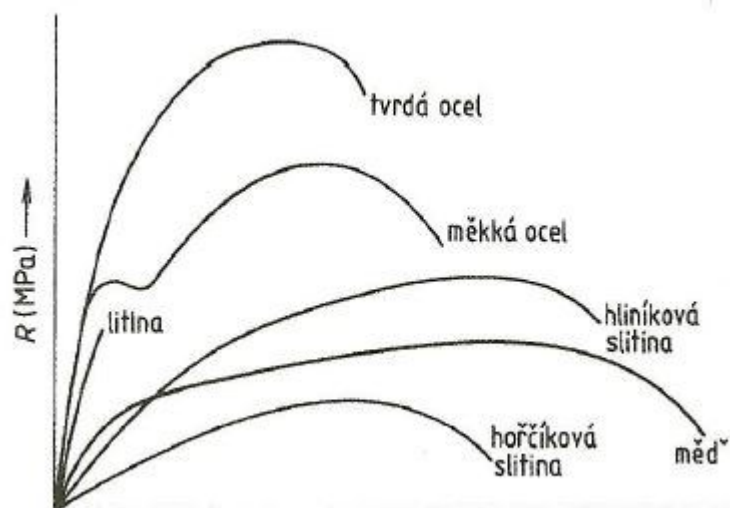
Zjišťujeme ji buď graficky, nebo měřicím zařízením (průtahoměry).

Od bodu K jde čára diagramu téměř vodorovně, aniž vzrůstá zatížení (kov jako by tekli, tyč se prodlužuje). Někdy se objeví i malý pokles napětí. Při dalším zvětšování zatížení se zkušební tyč prodlužuje mnohem rychleji, než vzrůstá zatížení. Bodu P na vrcholu křivky odpovídá největší napětí  $R_m$  – mez pevnosti v tahu (pevnost v tahu). Při napětí odpovídajícím bodu S se zkušební tyč přetrhne. [2] [18]



Obrázek 5 - Pracovní diagram oceli s výraznou mezí kluzu a oceli bez výrazné meze kluzu

Tvar pracovního diagramu se mění podle druhu materiálu.



Obrázek 6 - Pracovní diagram pro různé pracovní materiály

## 2.3 Mechanické zkoušky dynamické

V praxi jsou většinou strojní součásti namáhány zatížením, jehož velikost a smysl se prudce nebo opakovaně mění. Pokud potřebné údaje o chování takto namáhaného materiálu nemůžeme zjistit statickými zkouškami, zjišťujeme zkouškami dynamickými. Při tomto namáhání dochází často k náhlému porušení součásti, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu. [2]

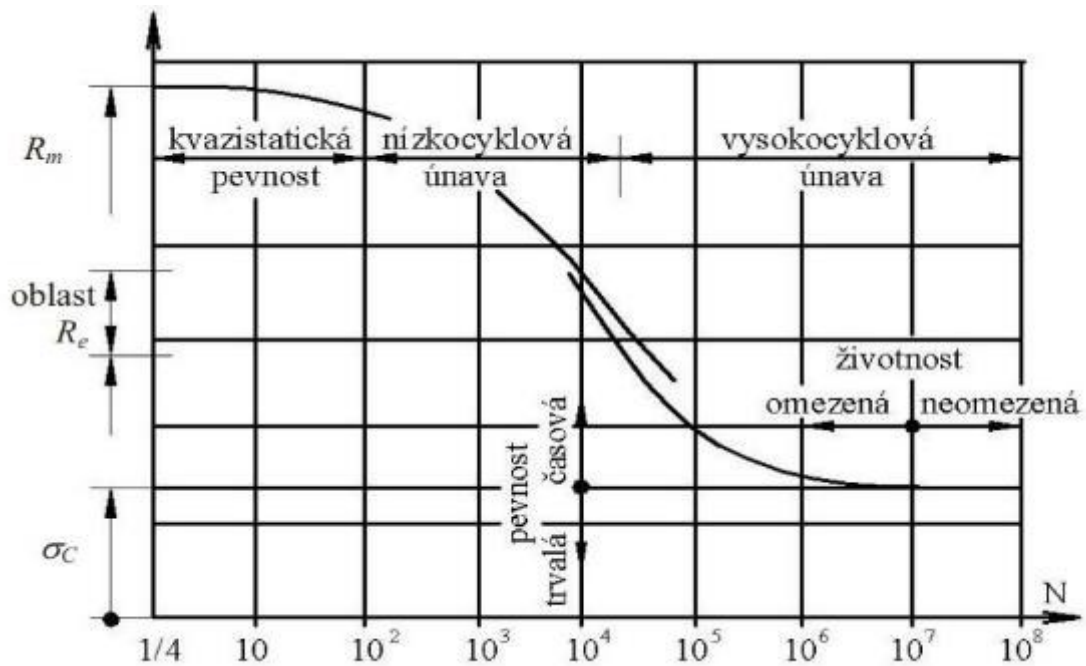
### 2.3.1 Zkouška opětovným namáháním

Nazýváme je také jako cyklické únavové zkoušky neboli zkoušky únavy materiálu a ty nám dávají opět jiný pohled o chování kovů. Při namáhání součástí vznikají často poruchy dříve, než namáhání odpovídá jeho statické pevnosti. Tomuto jevu se říká únava materiálu.

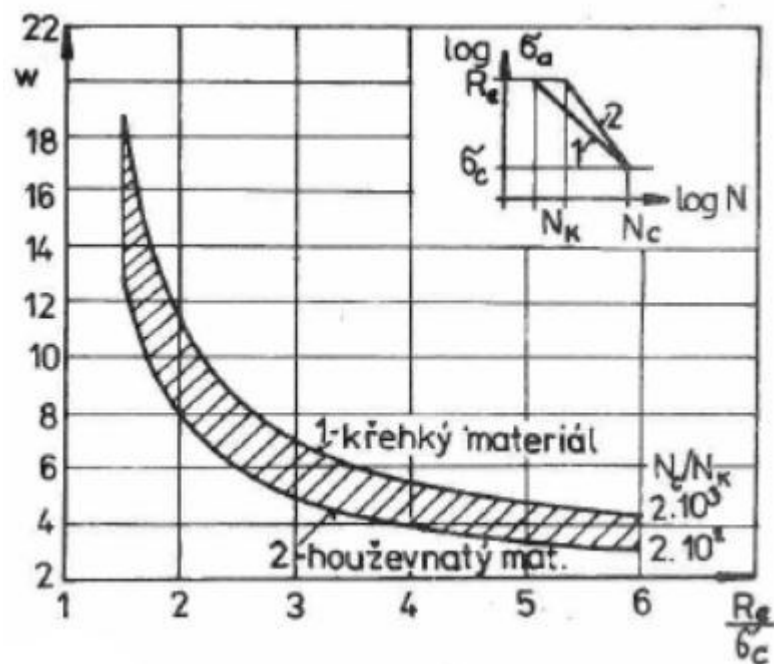
Při zjišťování meze únavy je součást namáhána napětím cyklickým, tj. napětím měnícím se periodicky od horní hodnoty po dolní hodnotu. Zatěžovací cyklus neboli perioda je průběh napětí za jednu dobu kmitu. Doba kmitu je nejmenší časový úsek, za který se opakuje týž průběh namáhání.

Mez únavy zjišťujeme na speciálních zkušebních strojích. Pro střídavé napětí souměrné a nesouměrné stanovíme mez v kombinaci tah – tlak ( $\sigma_c$ ), v ohybu ( $\sigma_{co}$ ) a v krutu ( $\tau_c$ ). Při napětí pulsujícím a míjivém určujeme mez únavy v tahu, ohybu a krutu. Provedení těchto zkoušek a velikost a tvar tyčí určuje norma ČSN 42 0363.

Pro tyto zkoušky se používá několika stejných zkušebních tyčí ze zkoušeného materiálu a zatěžují se jedním z uvedených způsobů. U první tyče volíme napětí něco málo pod mezí kluzu a po porušení tyče se odečte příslušný počet cyklů změn zatížení. U dalších tyčí volíme stále nižší napětí, takže se dosáhne většího počtu cyklů před porušením. Těmito body se proloží křivka udávající závislost mezi napětím a počtem cyklů, která se nazývá Wöhlerova křivka.



Obrázek 7 - Únavová křivka napětí



Závislost exponentu Wöhlerovy křivky na poměru meze kluzu k mezi únavy (hodnoty  $R_e, \sigma_c$  volit podle druhu namáhání - tah, ohyb, krut)

Obrázek 8 - Wöhlerova křivka

Tato křivka se po určitém počtu cyklů blíží asymptoticky k napětí, které je mezi únavy  $\sigma_c$ . Mez únavy  $\sigma_c$  (MPa) definujeme jako největší napětí, při kterém součást zhotovená z tohoto materiálu vydrží teoreticky neomezený počet cyklů změn zatížení. Pro většinu konstrukčních ocelí je možné pro odhad  $\sigma_c$  vycházet ze vztahu  $\sigma_c \approx (0,33 \text{ až } 0,43) R_m$ . Pro nelegované oceli lze použít  $\sigma_c \approx 0,38R_m$ . Únava materiálu souvisí nejen s jeho vlastnostmi, ale i se stavem jeho povrchu. Drsnost, vruby, povrchová koroze apod. nám snižují mez únavy. Leštění, povrchové tvrzení nebo mechanické zpevnění povrchu naopak zvyšují mez únavy. [2]

## 2.4 Zvláštní technické zkoušky

Podle teplot, při kterých zkoušky provádíme, je dělíme na zkoušky za normálních teplot, zvýšených teplot a snížených teplot. Mechanické zkoušky většinou neprovádíme na součásti samé, ale na zvláštních vzorcích, které jsou zhotoveny buď přímo ze součásti, nebo z téhož materiálu. Podrobné údaje o mechanických zkouškách obsahují příslušné normy, výběr je v literatuře. [2]

### 2.4.1 Zkoušky za snížených teplot

Chování kovů za snížené teploty je opakem chování za teploty zvýšené. Pevnost vzrůstá, zmenšuje se však tažnost a houževnatost. Praktickou důležitost mají tyto zkoušky např. pro materiály vozidel, kde teplota okolí může klesat až na  $-50^\circ\text{C}$ , nebo u materiálů pro kompresory a čerpadla (až  $-180^\circ\text{C}$ ). Důležité jsou tyto zkoušky u materiálů pro zařízení a přístroje určené k dosažení velikých výšek (letadla, střely, družice). Nejčastější zkouškou je **zkouška tahem při určité teplotě**. Definice a rozměry jsou obdobné jako u zkoušky tahem za normální teploty, připisuje se jen teplota, při níž se zkouška koná, např.  $R_m/-100 = 200 \text{ MPa}$  (pevnost v tahu při teplotě  $-100^\circ\text{C}$ ). Kromě zkoušky tahem se provádí i zkouška vrubové houževnatosti. [2],[11]

### 3 OCELI

Nejdůležitější a v průmyslu nejpoužívanější jsou technické slitiny, v nichž převládá železo. Je to slitina železa s uhlíkem a jinými prvky, která se používá v technické praxi. Dělíme ji na surová železa a oceli. Pro své mechanické a technologické vlastnosti je ocel dodnes jedním z nejdůležitějších technických materiálů. Její materiálová všestrannost je vynikající pro stavbu strojů, zařízení, nástrojů apod. a vede k výrobě oceli o nejrůznějších vlastnostech. [2],[3],[12]

#### 3.1 Oceli tř. 11

Mají předepsanou čistotu, zaručenou pevnost v tahu, mez kluzu a tažnost. Někdy se zaručují i jiné vlastnosti. Vyžaduje se od nich, aby nebyly náchylné k lámavosti za studena i za červeného žáru. Jsou odstupňovány podle obsahu uhlíku, s nejmenší pevností v tahu od 280 MPa do 900 MPa. Jsou dodávány ve formě tvářených profilů, drátů, plechů, výkovek a výlisků. [2],[13],[14],[15]

##### 3.1.1 Oceli pevnostní řady 34 až 45

Mají max. obsah C = 0,24 %, většinou jsou zaručeně svařitelné, dobře tvárné za studena i za tepla. Vyrábějí se z nich výlisky, výkovky, výtažky. Nejvýznamnější a nejrozšířenější jsou oceli 11 343, 11 373, 11 423, ze kterých se vyrábějí veškeré druhy polotovarů. Používají se na svařované konstrukce strojů, které jsou namáhány staticky popř. mírně dynamicky (čepy, páky, svorníky, pouzdra, součásti parních kotlů (11 364.1)) a vodních turbín (11 373, na hřídele, osy, ozubená kola, železniční vozidla (11 423)). Některé oceli 11 369, 11 419 se hodí na součásti pro nízké teploty (do -50°C). [2], [7],[12]

#### 3.2 Oceli tř. 17

Středně vysoko legované oceli. Rozdělení na korozivzdorné, žárovzdorné, žárovevné, odolné proti opotřebení, pro nízké teploty, se zvláštními fyzikálními vlastnostmi. Odlišné označování této třídy vedlo ke zlepšení orientace díky vyjádření chemického složení, tedy označování procenty uhlíku a legujících prvků. Dle ČSN je až 50 druhů těchto ocelí. Většinou jsou určeny pro součásti a zařízení v potravinářském, farmaceutickém a chemickém průmyslu. [2],[12][13],[14],[15]



## 4 PŘEHLED TECHNOLOGIE – SVAŘOVÁNÍ

Svařováním vznikají pevná a nerozebíratelná spojení kovových součástí. Jejich výhodou je těsnost a trvanlivost. Zvyšuje se produktivita práce, zmenšuje se spotřeba konstrukčního materiálu, zjednodušuje se konstrukce a podstatně se zkracují výrobní časy. Používá se téměř ve všech oborech. Svařované součásti nahrazují odlitky a výkovky. Nevýhodou je nerozebíratelnost spojů a potřeba kvalifikovaných pracovníků. [4],[6]

### 4.1 Svařitelnost

Kovy, které navzájem svařujeme, musí být svařitelné. Svařitelnost je tedy schopnost materiálu vytvořit svarem spojení požadované jakosti. [4]

#### 4.1.1 Plamenové svařování

U plamenového svařování používáme jako zdroje tepla plamene, který vzniká spalováním acetylénu. Místo acetylénu lze používat i jiných hořlavých plynů (vodík, svítiplyn, propan-butan aj.). Plamenem lze svařovat téměř všechny kovy železné i neželezné. [4]

#### 4.1.2 Svařování elektrickým obloukem

Při svařování elektrickým obloukem je zdrojem tepla elektrický oblouk, který vznikne mezi elektrodou a svařovaným předmětem nebo mezi dvěma elektrodami, když je zapojíme na vhodný elektrický zdroj. Používáme stejnosměrného nebo střídavého proudu o napětí 10 až 70 V a o intenzitě 30 až 500 A i více. Nelze proto odebírat přímo ze sítě (230 nebo 400 V), ale ze svařovacího agregátu (tj. třífázový motor a dynamo – motorgenerátor), který dává stejnosměrný proud, nebo z transformátoru na střídavý proud. [4]

## 5 POVRCHOVÁ ÚPRAVA MATERIÁLU

Kovy a slitiny jsou spolehlivým pomocníkem člověk. Vyžadují však pečlivé ošetřování, neboť stykem s korozním prostředím se rozrušují – korodují.

Koroze začíná obvykle na povrchu kovového předmětu a postupuje dovnitř materiálu. Na povrchu vznikají produkty koroze, které již nemají kovový vzhled, ani vlastnosti kovů. U některých kovů (např. zinku, olova, mědi aj.) oxiduje je povrch, neboť povlak vzniklý oxidací chrání spodní vrstvy kovu před další oxidací. U jiných kovů (např. železa) pokračuje oxidace dále, až se všechnen kov rozruší. Prakticky nejsou kovy a slitiny, které by korozi nepodléhali. [5]

### 5.1 Ochrana proti korozi

Proti korozi můžeme chránit součásti různým způsobem. Velmi častá je ochrana povrchu kovovými nebo nekovovými povlaky. Kovové povlaky získáváme buď namáčením v roztavených kovech, galvanickým pokovováním nebo stříkáním (metalizace).

Nekovové povlaky mohou být organické (nátěrové hmoty a konzervační prostředky) nebo anorganické (např. keramické smalty). Velmi slibnou ochranou kovových součástí jsou plastické materiály, které jsou velmi trvanlivé. Získáváme je nanášením ve formě prášků a natavováním nebo stříkáním. [5] [8]

#### 5.1.1 Žárové zinkování

Nejrozšířenější způsob ochrany proti atmosférickým vlivům. Zinkování se provádí u plechů, pásů, drátů, řetězů, konstrukcí, odlitků aj. [5]

## 6 OCELI DO NÍZKÝCH A KRYOGENNÍCH TEPLŮT

Na počátku 20. století nastal největší vývoj nízkoteplotních ocelí. Hlavním důvodem byla nutnost nalezení vhodných materiálů pro skladování a dopravu zkapalněných plynů. Podle minimální pracovní teploty můžeme konstrukční materiály pracující v oblasti kryogenních teplot rozdělit do tří skupin. [17]

- 1) Konstrukční jemnozrnné mikrolegované oceli.
- 2) Nízkolegované oceli s obsahem niklu od 2,5 do 6 %.
- 3) 9% Ni oceli martenziticky vytvrditelné, manganové oceli, austenitické oceli CrNi, či MnCr oceli a slitiny.

### 6.1 Korozivzdorné oceli do nízkých teplot

Nejvhodnějším materiálem jsou austenitické korozivzdorné oceli. Základní představitel je ocel typu Cr18Ni10 (AISI 304). Austenitické oceli můžeme dělit stabilní a nestabilní podle toho, zdali u nich vlivem působení deformace a poklesu teploty dochází k martenzitické přeměně nebo si zachovají austenitickou strukturu. [17]

### 6.2 Uhlíkové oceli do nízkých teplot

V celé řadě případů se vzhledem k pevnostním vlastnostem a ceně používá vybraných uhlíkových nebo nízkolegovaných ocelí. Mohou se použít například jemnozrnné oceli dokonale uklidněné uhlíkem nebo jemnozrnné nízkolegované oceli. Uhlíkové oceli do nízkých teplot se vyznačují nízkým obsahem uhlíku a jemnou strukturou. [17]

## 7 ZAMRAŽOVACÍ TUNELY

Zamrazovací tunely pracují na principu šokového zamrazování produktu. Produkt, který je do tunelů přivážen v papírových kartonech, nerezových vaničkách uložených v přepravních rámech nebo klecích, popř. produkt, který je zavěšen na háku a dopraven po pojezdové dráze, musí být před uložením do mrazírenských skladů šokově zamražen v horizontu 24 hodin.

### 7.1 Odstávky, sanitace, údržba

Odstávky jednotlivých nebo více tunelů probíhají dle požadavků výroby nebo údržby. V tunelech se vypne chlazení a teplota se postupně zvyšuje z  $-38^{\circ}\text{C}$  až na  $0^{\circ}\text{C}$  (samovolně nebo elektrickými topidly). Odstávky se provádí z důvodu sanitace, osekání ledu, údržby chlazení, popřípadě údržbě stavební či zámečnické. Sanituje se tlakovou vodou a díky tomu může dojít na částech konstrukce k porušení povrchové úpravy a vzniká koroze. Údržba se pohybuje na ocelových lávkách nebo roštích upevněných ke konstrukci nebo dle situace je pohyb a manipulace pod samotnou konstrukcí.

### 7.2 Bezpečnost práce

Péče o bezpečnost a ochranu zdraví při práci (BOZP) a stálé zlepšování pracovních podmínek je rovnocennou a neoddelitelnou součástí plnění a ostatních pracovních úkolů i rozvoje techniky. Na péči o BOZP se podílí: zaměstnavatel, stát, odbory. [4][9]

Z důvodů odstávek, při kterých se v tunelech mění teplota a sanitaci tlakovou vodou bude prověřeno, zdali je a bude bezpečné se v tunelech i nadále pohybovat a manipulovat s produkty, případně i ve visu po drahách a pomocí vysokozdvížných vozíků nebo ručně vedených paletových vozíků.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 8 VÝBĚR MATERIÁLU A VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Pro testování těles v praktické části jsem zvolil tělesa, která jsou z materiálu používaného v tunelech. Konkrétně se jedná o ocel 17 240 (1.4301). Tělesa byla rozdělena do dvou skupin podle průřezu. Jedna skupina byla vyrobena z tyče kruhového průřezu, druhá skupina byla vyrobena z ploché tyče obdélníkového průřezu. Materiál na výrobu těles byl použit z demontovaných částí konstrukce, která byla vystavena vlivům teploty a zatížení v provozu po dobu minimálně 10 let, poté byla demontována a uložena do skladu.

### 8.1 Příprava zkušebních těles

Obě skupiny těles byly rozděleny na poloviny. Jedna polovina byla ponechána, aby měla pokojovou teplotu (teplotu v dílně), tedy cca 20°C. Vzhledem k tomu, že v čase, kdy probíhalo měření s jednou dávkou vzorků, a ke zkušebnímu stroji nebyla k dispozici teplotní komora, byla tato dávka umístěna do mrazáku, kde byla ponechána 1 týden při teplotě -30°C.

### 8.2 Rozměry zkušebních těles

#### 8.2.1 Zkušební tělesa z tyče kruhového průřezu

Tyč byla rozřezána na stejně dlouhé kusy, průřez byl po celé délce konstantní.

*Tabulka 1 - Rozměry tělesa kruhového průřezu*

Délka L [mm]	průměr d [mm]
150	12



Obrázek 9 - Zkušební těleso kruhového průřezu

### 8.2.2 Zkušební tělesa z ploché tyče obdélníkového průřezu

Tyč byla rozřezána na stejně dlouhé kusy, průřez byl po celé délce konstantní.

*Tabulka 2 - Rozměry tělesa obdélníkového průřezu*

Délka L [mm]	šířka [mm]	tloušťka t [mm]
120	30	3



Obrázek 10 - Zkušební těleso obdélníkového průřezu

## 9 MECHANICKÉ ZKOUŠKY TĚLES

Na zkušebních tělesech byla nejprve provedena statická zkouška tahem. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN 100002-1 (42 0310):1994. Jediný rozdíl byl v ponechání konstantního průřezu tělesa v celé jeho délce.

Jako další byla provedena cyklická únavová zkouška podle normy ČSN 42 0363. I v tomto případě byl průřez tělesa konstantní po celé jeho délce.

### 9.1 Zařízení pro provedení zkoušek

Měření probíhalo v prostoru dílen budovy U5 na Fakultě aplikované informatiky UTB ve Zlíně. Pro provedení obou zkoušek byl zvolen zkušební dynamický vibrační stroj Zwick/Roell Vibrophore 100. Stroj je určen pro dynamické testování a zjišťování únavové životnosti, může ale také být použit pro statické testování.



Obrázek 11 - Stroj Zwick/Roell Vibrophore 100



Tabulka 3 - Parametry zkušebního stroje Zwick/Roell Vibrophore 100

Maximální síla:	100 kN
Maximální amplituda síly:	50 kN
Maximální oscilační posun:	4 ( $\pm 2$ ) mm
Testovací frekvenční rozsah:	(30 – 285) Hz
Maximální testovací výška:	2005 mm
Testovací SW:	testXpert R

## 9.2 Statická zkouška tahem

Jedná se o zkoušku jednoosým tahem, díky níž byly po přetržení zkušebních těles zjištěny potřebné charakteristiky materiálu, jako jsou modul pružnosti v tahu, mez kluzu, mez pevnosti, a maximální tahová síla. Při této statické zkoušce byl modul pružnosti v tahu měřen extenzometrem, který byl umístěn na zkušebním tělese s hodnotou délky  $l_0 = 50$  mm při rychlosti posunu  $v = 1$  mm/min. Po změření modulu pružnosti v tahu se extenzometr odpojí. Z výsledné průměrné maximální síly se poté určila hodnota zatížení pro cyklické zkoušky.

### 9.2.1 Zkouška tahem pro tělesa s obdélníkovým průřezem o teplotě 20°C a -30°C

Těleso bylo uchyceno v čelistech do 2/3 jejich výšky, aby byla pokryta dostatečně velká plocha a těleso při zkoušce nevyklouzlo nebo nebylo vytrženo z čelistí. Délka mezi čelistmi byla 97 mm. Ze skupiny těles s obdélníkovým průřezem bylo testováno 5 těles o teplotě 20°C a 5 těles, která byla v mrazáku a měla teplotu -30°C.



Obrázek 12 - Zkušební těleso - Zwick/Roell Vibroprore 100



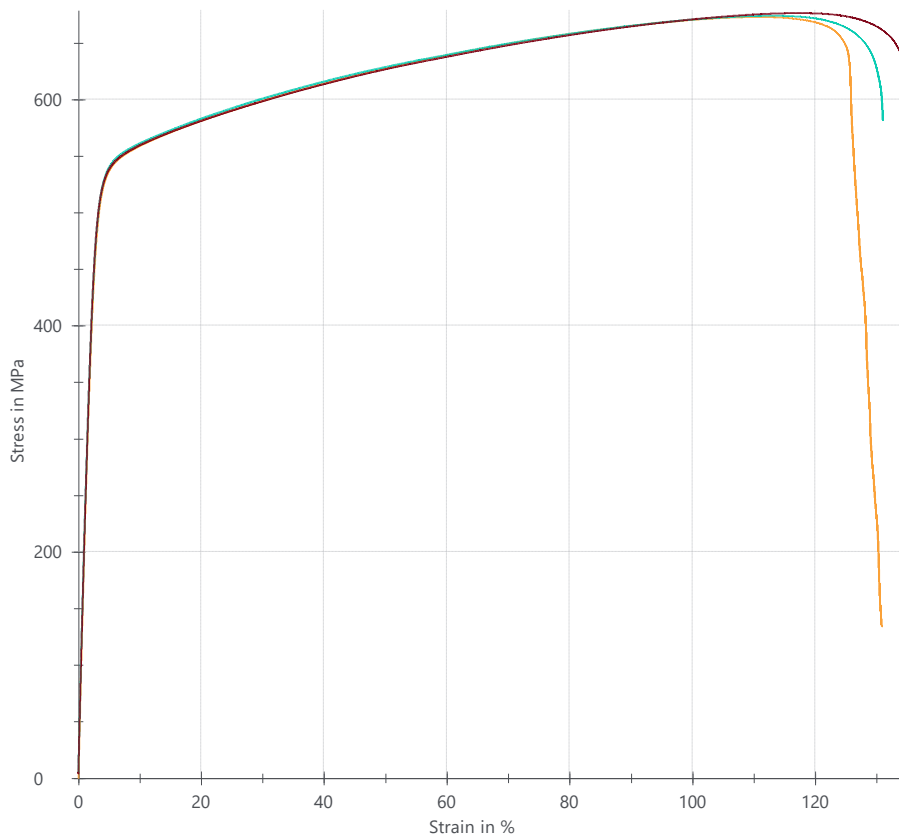
Obrázek 13 - Zkušební těleso - Zwick/Roell Vibroprore 100

### 9.2.2 Naměřené hodnoty po provedení zkoušky tahem těles s obdélníkovým průřezem o teplotě 20°C a -30°C

V tabulce 4 jsou uvedeny naměřené hodnoty statické zkoušky tahem zkušebních těles obdélníkového průřezu a na obrázku 14 je zobrazen pracovní diagram závislosti napětí na poměrné deformaci. Uvedené hodnoty jsou pro tělesa o teplotě 20°C.

Tabulka 4 - Hodnoty po provedení tahové zkoušky – těleso o teplotě 20°C

tyč plochá (20°C) n=5	E [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	F <sub>max</sub> [N]	W [J]	ε <sub>Rm</sub> [%]	S [mm <sup>2</sup> ]
1	155404,4	672,89	100930	3087	130,8	150
2	142766,5	673,96	101090	3146	131	150
3	178556,2	676,34	101450	3274	134,7	150
4	150655,6	671,48	100720	3065	130,2	150
5	173187,6	675,72	101360	3214	133,8	150
$\bar{x}$	160114,1	674,078	101110	3157,2	132,1	150
s	15195,5	2,0	301,2	87,2	2,0	0,0
v	9,49	0,26	0,02	3,02	2,78	0

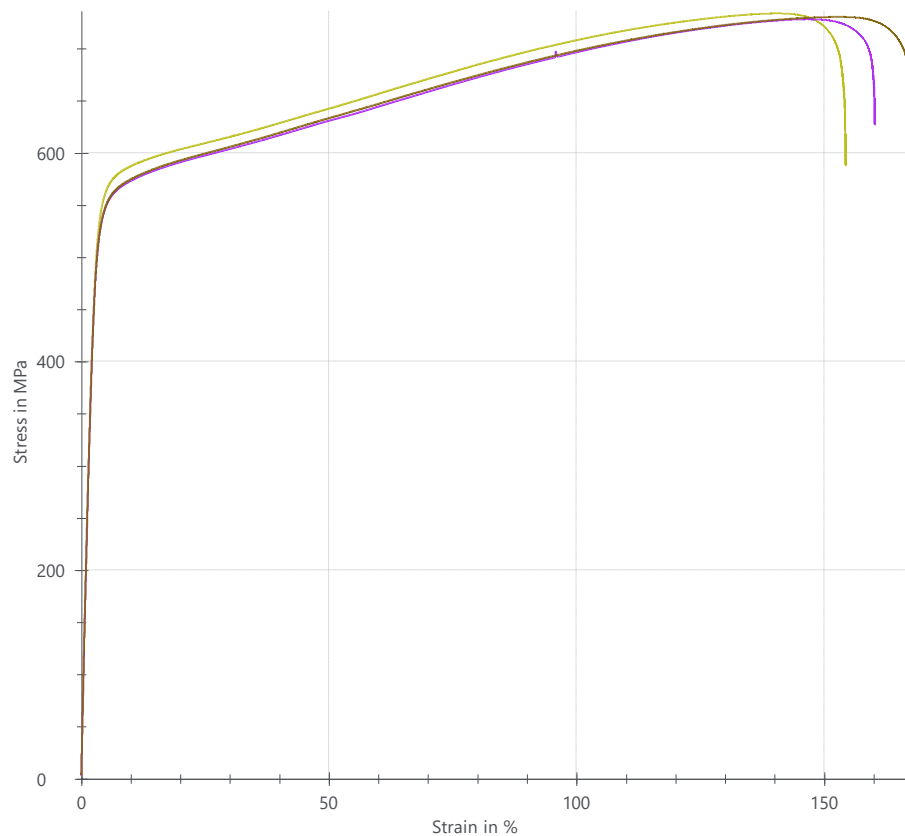


Obrázek 14 - Pracovní diagram zkoušky tahem závislosti napětí na poměrné deformaci pro těleso o teplotě 20°C

V tabulce 5 jsou uvedeny naměřené hodnoty statické zkoušky tahem zkušebních těles obdélníkového průřezu a na obrázku 15 je zobrazen pracovní diagram závislosti napětí na poměrné deformaci. Uvedené hodnoty jsou pro tělesa o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Tabulka 5 - Hodnoty po provedení tahové zkoušky – těleso o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$

tyč plochá ( $-30^{\circ}\text{C}$ ) n=5	E [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	F <sub>max</sub> [N]	W [J]	ε <sub>Rm</sub> [%]	S [mm <sup>2</sup> ]
1	173780	733,86	110080	4169	154,3	150
2	128793,4	728,32	109250	4299	160,1	150
3	206660,5	730,47	109570	4524	167,1	150
4	111369,5	725,64	108850	4146	151,2	150
5	162852,6	729,71	109460	4369	162,4	150
$\bar{x}$	156691,2	729,6	109442	4301,4	159,02	150
s	37614,0	3,0	450,3	154,8	6,4	0,0
v	21,39	0,38	0,02	4,14	4,31	0



Obrázek 15 - Pracovní diagram zkoušky tahem závislosti napětí na poměrné deformaci pro těleso o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$



Obrázek 16 - Přetržená tělesa obdélníkového průřezu po tahové zkoušce – vlevo zkoušená tělesa o teplotě 20°C, vpravo o teplotě -30°C

### 9.2.3 Zkouška tahem pro tělesa s kruhovým průřezem při teplotě 20°C a -30°C

I v tomto případě bylo těleso uchyceno v čelistech do 2/3 jejich výšky, aby byla pokryta dostatečně velká plocha a těleso při zkoušce nevyklouzlo nebo nebylo vytrženo z čelistí. Délka mezi čelistmi zde byla 99 mm. Ze skupiny těles s kruhovým průřezem bylo testováno 8 těles o teplotě 20°C a 5 těles, která byla v mrazáku a měla teplotu -30°C.



Obrázek 17 - Zkušební těleso Zwick/Roell Vibroprore 100



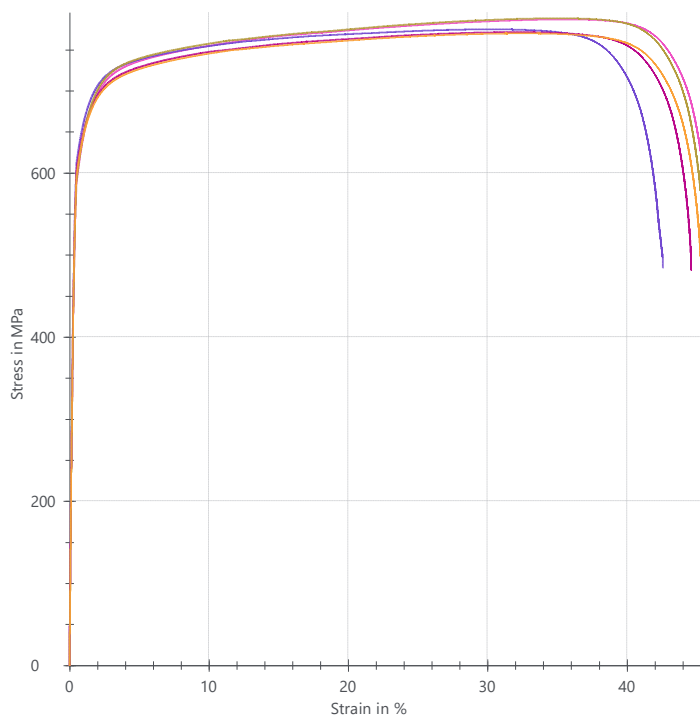
Obrázek 18 - Zkušební těleso Zwick/Roell Vibroprore 100

### 9.2.4 Naměřené hodnoty po provedení zkoušky tahem těles s kruhovým průřezem o teplotě 20°C a -30°C

V tabulce 6 jsou uvedeny naměřené hodnoty statické zkoušky tahem zkušebních těles obdélníkového průřezu a na obrázku 19 je zobrazen pracovní diagram závislosti napětí na poměrné deformaci. Uvedené hodnoty jsou pro tělesa o teplotě 20°C.

Tabulka 6 - Hodnoty po provedení tahové zkoušky – těleso o teplotě 20°C

tyč kruhová (20°C) n=5	E [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	F <sub>max</sub> [N]	W [J]	ε <sub>Rm</sub> [%]	S [mm <sup>2</sup> ]
1	161488	805,43	91093	1512	53,3	113,1
2	163482	809,52	91554	1371	51,9	113,1
3	155778	813,48	92003	1630	56,1	113,1
4	152041	787,01	89010,83	1519	35,5	113,1
5	159364	774,9	87641,19	1272	30	113,1
6	156249	771,43	87248,73	1358	32,3	113,1
7	156778	788,35	89162,39	1509	35,2	113,1
8	160915	769,94	87080,21	1359	32,4	113,1
$\bar{x}$	158430,6	798,068	90260,4	1460,8	45,36	113,1
s	4571,6	4,0	4,0	129668,1	2,8	0,0
v	5,08	0,5	0,02	8,62	7,99	0

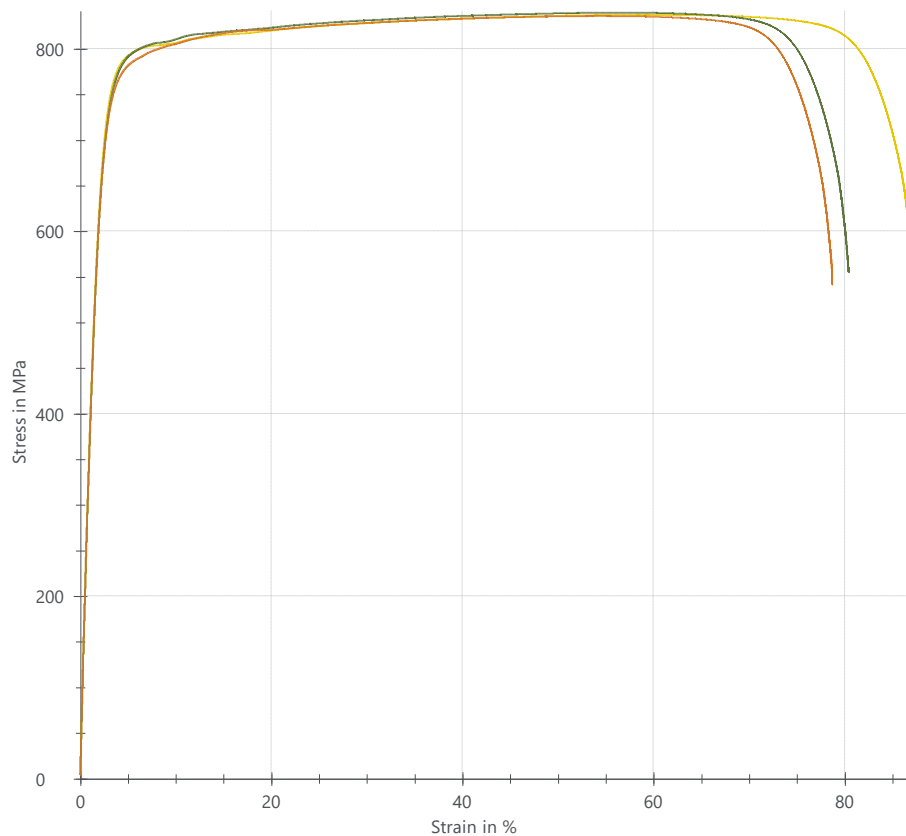


Obrázek 19 - Pracovní diagram zkoušky tahem závislosti napětí na poměrné deformaci pro těleso o teplotě 20°C

V tabulce 7 jsou uvedeny naměřené hodnoty statické zkoušky tahem zkušebních těles obdélníkového průřezu a na obrázku 20 je zobrazen pracovní diagram závislosti napětí na poměrné deformaci. Uvedené hodnoty jsou pro tělesa o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$

Tabulka 7 - Hodnoty po provedení tahové zkoušky – těleso o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$

tyč kruhová ( $-30^{\circ}\text{C}$ ) n=5	E [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	F <sub>max</sub> [N]	W [J]	ε <sub>Rm</sub> [%]	S [mm <sup>2</sup> ]
1	162782,9	837,48	94717	2708	86,9	113,1
2	166308	839,82	94981	2603	80,4	113,1
3	154828	836,12	94561	2460	78,7	113,1
4	180551,8	841,86	95214	2858	81,7	113,1
5	165897,3	838,47	94830	2597	79,8	113,1
$\bar{x}$	166073,6	838,75	94860,6	2645,2	81,5	113,1
s	9313,9	2,2	250,4	148,0	3,2	0,0
v	5,61	0,22	0,02	4,81	4,54	0



Obrázek 20 - Pracovní diagram zkoušky tahem závislosti napětí na poměrné deformaci pro těleso o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$





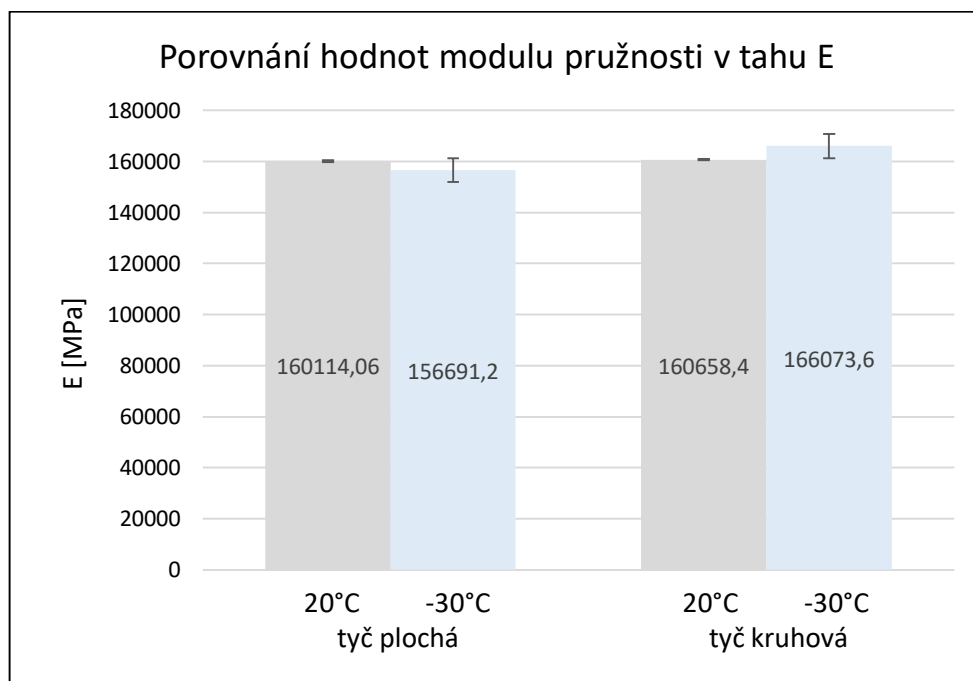
Obrázek 21 - Přetržená tělesa kruhového průřezu po tahové zkoušce – vlevo zkoušená tělesa o teplotě 20°C, vpravo o teplotě -30°C

### 9.2.5 Vyhodnocení výsledků po statické zkoušce tahem

Výsledky po provedení statické tahové zkoušky jsou vyhodnoceny tak, aby bylo možné vidět vliv teploty na hodnotách modulu pružnosti v tahu, meze pevnosti, tažnosti a jejich rozdílů u jednotlivých průřezů těles.

### 9.2.6 Průměrná hodnota modulu pružnosti v tahu E pro tělesa s plochým a kruhovým průřezem

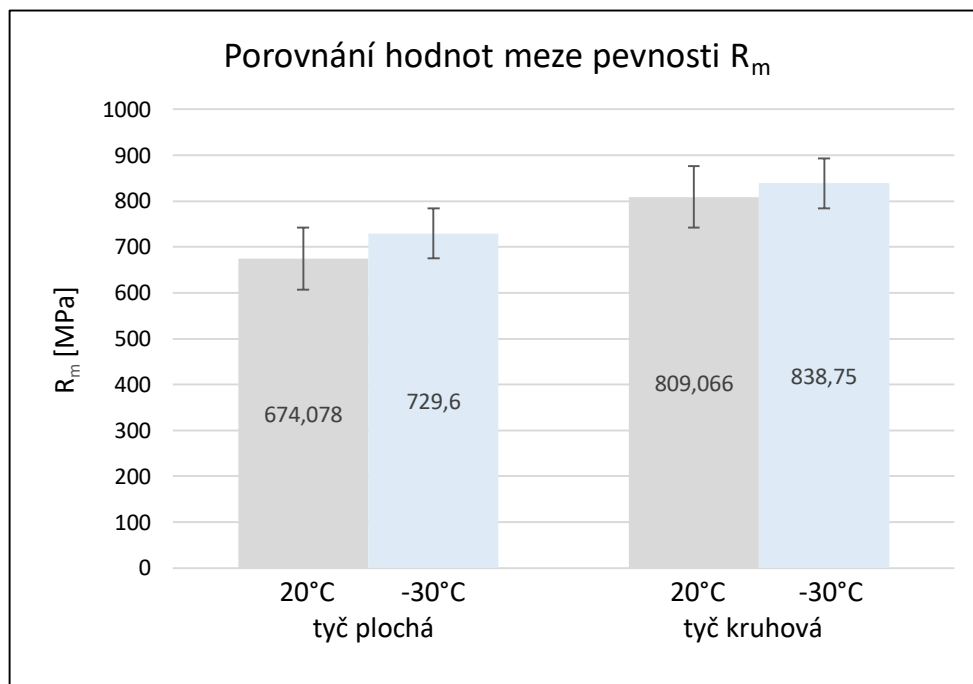
V grafu na obrázku 22 můžeme vidět srovnání průměrných hodnot modulu pružnosti v tahu E pro tělesa s obdélníkovým průřezem a s kruhovým průřezem. Nejvyšší průměrnou hodnotu modulu pružnosti vykazují tělesa kruhového průřezu o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$ . Směrodatná odchylka u těles o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$  obou průřezů nám ukazuje hodnoty, které jsou nejvíce rozptýlené od hodnoty průměrné.



Obrázek 22 - Grafické zobrazení srovnání průměrných hodnot modulu pružnosti v tahu u obou průřezů zkušebních těles

### 9.2.7 Průměrná hodnota meze pevnosti v tahu $R_m$ pro tělesa s plochým a kruhovým průřezem

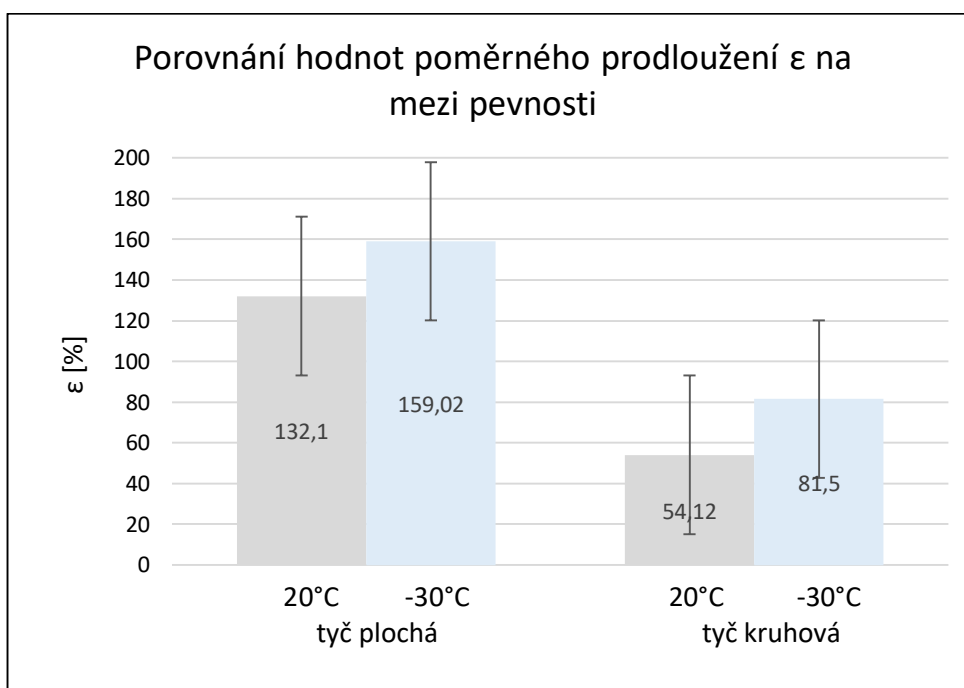
V grafu na obrázku 23 vidíme srovnání průměrných hodnot meze pevnosti  $R_m$  pro tělesa s obdélníkovým a kruhovým průřezem. Nejvyšší průměrnou hodnotu meze pevnosti vykazují tělesa o teplotě  $-30^\circ\text{C}$  a to u obou průřezů, mají také menší směrodatnou odchylku, než tělesa která měla teplotu  $20^\circ\text{C}$ .



Obrázek 23 - Grafické zobrazení srovnání průměrných hodnot meze pevnosti u obou průřezů zkušebních těles

### 9.2.8 Průměrná hodnota poměrného prodloužení $\varepsilon$ na mezi pevnosti

V grafu na obrázku 24 vidíme srovnání průměrných hodnot poměrného prodloužení  $\varepsilon$  na úrovni meze pevnosti pro tělesa s obdélníkovým a kruhovým průřezem. V porovnání poměrného prodloužení u dvou měřených teplot, vykazují zkušební tělesa o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$  vyšší hodnoty, nežli tělesa, která měla teplotu  $20^{\circ}\text{C}$  a to u obou průřezů. U těles o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$  je také vidět větší směrodatná odchylka.



Obrázek 24 - Grafické zobrazení srovnání průměrných hodnot poměrného prodloužení na mezi pevnosti u obou průřezů zkušebních těles

### 9.2.9 Vyhodnocení vlivu teploty těles na modul pružnosti v tahu, mez pevnosti a poměrné prodloužení na mezi pevnosti po statické zkoušce tahem

V tabulce 8 můžeme vidět porovnání vlivu teploty těles na hodnoty modulu pružnosti v tahu, meze pevnosti a poměrného prodloužení na mezi pevnosti pro těleso s plochým průřezem. Vliv teploty je vyjádřen v procentech a je zde uvedena vždy větší hodnota při porovnání průměrných hodnot těchto vlastností. Jak vidíme, vliv teploty na modul pružnosti v tahu je větší u tělesa o teplotě 20°C, ale mez pevnosti a poměrné prodloužení na mezi pevnosti je znatelně větší u tělesa o teplotě -30°C. Nízká teplota tělesa tedy má vliv na velikost meze pevnosti a poměrného prodloužení.

Tabulka 8 – Vliv teploty na hodnoty  $E$ ,  $R_m$  a  $\epsilon_{Rm}$  – ploché těleso

tyč plochá	teplota tělesa		Vliv teploty [%]
	20°C	-30°C	
$E$ [MPa]	160114,1	156691,2	$E$ je u tělesa o teplotě 20°C větší o 2,18%
$R_m$ [MPa]	674,078	729,6	$R_m$ je u tělesa o teplotě -30°C větší o 8,24%
$\epsilon_{Rm}$ [%]	132,1	159,02	$\epsilon_{Rm}$ je u tělesa o teplotě -30°C větší o 20,38%

V tabulce 9 můžeme vidět porovnání vlivu teploty těles na hodnoty modulu pružnosti v tahu, meze pevnosti a poměrného prodloužení na mezi pevnosti pro těleso s kruhovým průřezem. Vliv teploty je vyjádřen v procentech a je zde uvedena vždy větší hodnota při porovnání průměrných hodnot těchto vlastností. Zde vidíme, že vliv teploty na modul pružnosti, mez pevnosti a poměrné prodloužení na mezi pevnosti je větší u těles o teplotě -30°C. V tomto případě má nízká teplota tělesa vliv na tyto uvedené vlastnosti. Velikost vlivu teploty u modulu pružnosti a meze pevnosti je menší, než u poměrného prodloužení, jehož velikost je znatelně větší.

Tabulka 9 – Vliv teploty na hodnoty  $E$ ,  $R_m$  a  $\epsilon_{Rm}$  – kruhové těleso

tyč kruhová	teplota tělesa		Vliv teploty [%]
	20°C	-30°C	
$E$ [MPa]	158430,6	166073,6	$E$ je u tělesa o teplotě -30°C větší o 4,82%
$R_m$ [MPa]	798,068	838,75	$R_m$ je u tělesa o teplotě -30°C větší o 5,10%
$\epsilon_{Rm}$ [%]	45,36	81,5	$\epsilon_{Rm}$ je u tělesa o teplotě -30°C větší o 79,67%

### 9.2.10 Vyhodnocení vlivu průřezu těles na modul pružnosti v tahu, mez pevnosti a poměrné prodloužení na mezi pevnosti po statické zkoušce tahem

V tabulce 10 vidíme porovnání vlivu průřezu těles na hodnoty modulu pružnosti v tahu, meze pevnosti a poměrného prodloužení na mezi pevnosti pro tělesa o teplotě 20°C. Vliv teploty je vyjádřen v procentech a je zde uvedena vždy větší hodnota při porovnání průměrných hodnot těchto vlastností. Zde vidíme, že vliv průřezu těles na modul pružnosti v tahu je větší u tělesa plochého, ale vzhledem k jeho velikosti je zanedbatelný. Průřez má vliv na větší velikost meze pevnosti u kruhového tělesa oproti plochému, na druhou stranu, průřez plochého tělesa vykazuje několika násobně větší velikost poměrného prodloužení. Průřez tělesa má tedy vliv především na velikost meze pevnosti a poměrného prodloužení.

Tabulka 10 – Vliv průřezu na hodnoty  $E$ ,  $R_m$  a  $\epsilon_{Rm}$  – tělesa o teplotě 20°C

tělesa o teplotě 20°C	průřez tělesa		Vliv průřezu [%]
	plochý	kruhový	
$E$ [MPa]	160114,1	158430,6	Vliv průřezu tělesa na $E$ je větší o 1,06% u průřezu plochého
$R_m$ [MPa]	674,078	798,068	Vliv průřezu tělesa na $R_m$ je větší o 18,39% u průřezu kruhového
$\epsilon_{Rm}$ [%]	132,1	45,36	Vliv průřezu tělesa na $\epsilon_{Rm}$ je větší o 191,23% u průřezu plochého

V tabulce 10 vidíme porovnání vlivu průřezu těles na hodnoty modulu pružnosti v tahu, meze pevnosti a poměrného prodloužení na mezi pevnosti pro tělesa o teplotě -30°C. Vliv teploty je vyjádřen v procentech a je zde uvedena vždy větší hodnota při porovnání průměrných hodnot těchto vlastností. V tomto případě je vliv průřezu těles na modul pružnosti v tahu a mez pevnosti větší u tělesa kruhového. Průřez plochého tělesa má i pro tento případ větší velikost poměrného prodloužení. Také zde má průřez tělesa vliv na velikosti uvedených vlastností.

Tabulka 11 – Vliv průřezu na hodnoty  $E$ ,  $R_m$  a  $\epsilon_{Rm}$  – tělesa o teplotě -30°C

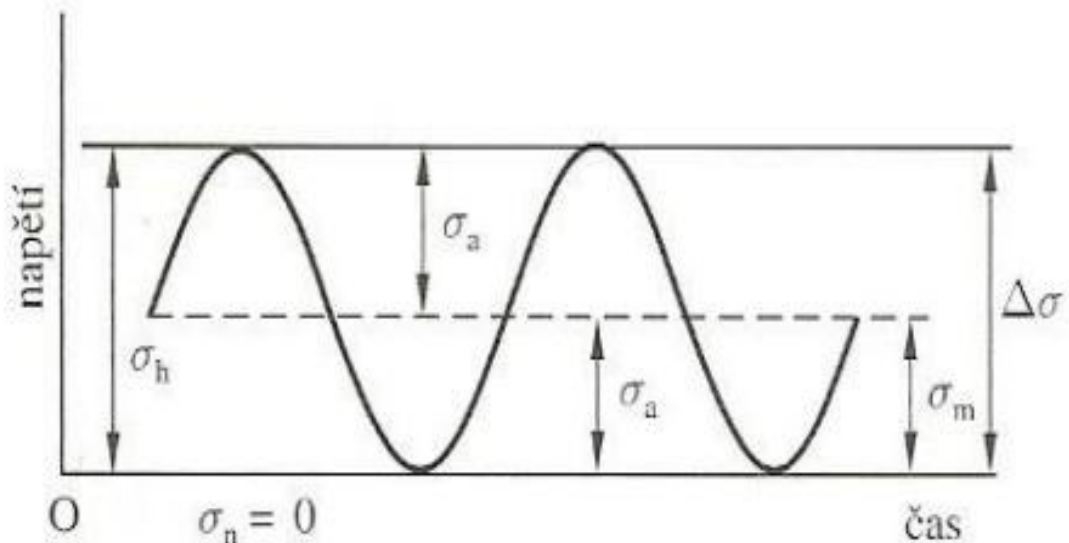
tělesa o teplotě -30°C	průřez tělesa		Vliv průřezu [%]
	plochý	kruhový	
$E$ [MPa]	156691,2	166073,6	Vliv průřezu tělesa na $E$ je vyšší o 5,99% u průřezu kruhového
$R_m$ [MPa]	729,6	838,75	Vliv průřezu tělesa na $R_m$ je vyšší o 14,96% u průřezu kruhového
$\epsilon_{Rm}$ [%]	159,02	81,5	Vliv průřezu tělesa na $\epsilon_{Rm}$ je vyšší o 95,12% u průřezu plochého

### 9.3 Cyklická únavová zkouška

Zkouška byla provedena pro střídavý tah a tlak. Pro jednotlivé průřezy těles byla zvolena optimální frekvence, vzdálenost mezi čelistmi a vhodná hodnota zatížení. Zde byla zkouška prováděna pouze při teplotě 20°C, protože nebyla k dispozici temperační komora. Výsledkem zkoušky je hodnota počtu cyklů, při které došlo k porušení zkoušeného tělesa.

#### 9.3.1 Parametry a uspořádání cyklické zkoušky

Testovací software pro cyklickou zkoušku byl testXpert R. Před zkouškou samotnou byla určena velikost zatížení z průměrné hodnoty maximální tahové síly a provedeno testovací měření, ze kterého se určila frekvence pro jednotlivé průřezy. Zatěžovací křivka měla míjivý průběh. Tělesa byla testována v rozmezí zatížení od 40% do 80% podle průřezu. Pro plochou tyč byla frekvence 98 Hz, pro kruhovou tyč 87 Hz. Minimální hodnota amplitudy zatížení byla vždy 200 N, maximální hodnota  $F_a$  byla rozdílná a rovnala se procentuálnímu zatížení.



Obrázek 25 - Míjivý průběh zatížení

### 9.3.2 Cyklická únavová zkouška pro těleso s obdélníkovým průřezem při teplotě 20°C

Těleso bylo upnuto stejně jako při provádění tahové zkoušky, vzdálenost čelistí zůstala také stejná, tedy 97 mm. V tabulce 12 jsou uvedeny vstupní hodnoty velikosti zatížení, frekvence a průměrné hodnoty tahové síly určené ze statické tahové zkoušky.

Tabulka 12 - Parametry pro cyklickou zkoušku ploché tyče při teplotě 20°C

tyč plochá	Velikost zatížení [%]				
	40	45	50	55	60
frekvence [Hz]	98	98	98	98	98
F [N]	101110	101110	101110	101110	101110
Fa [N]	40464	45522	50580	55638	60696

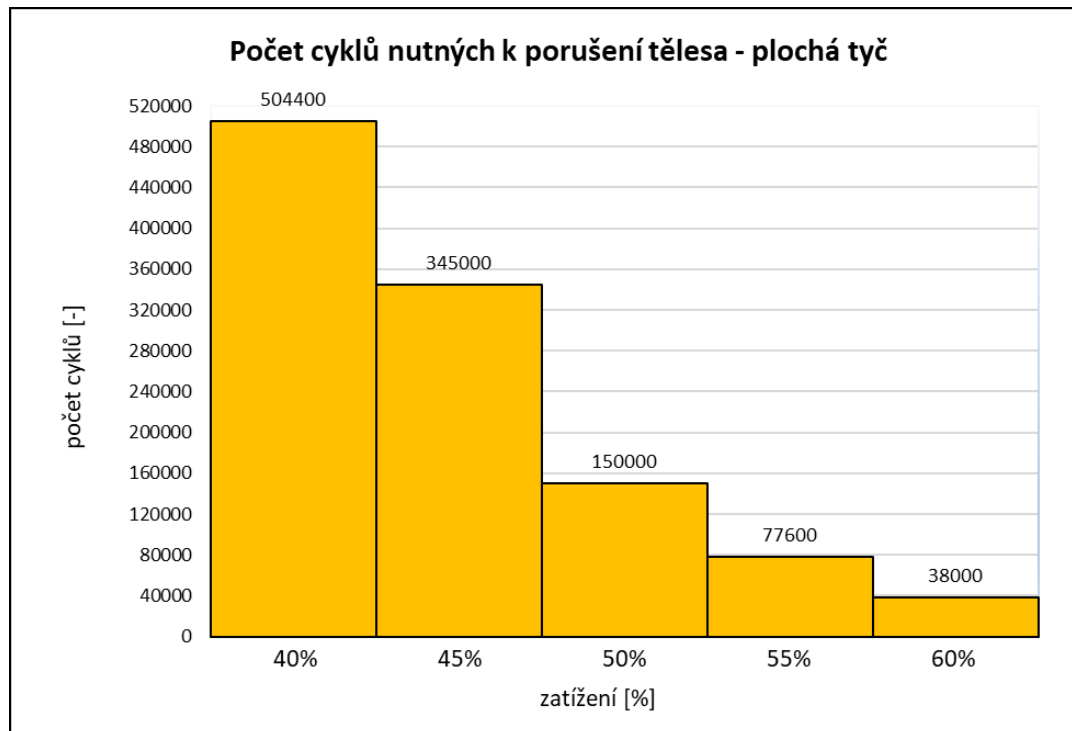
### 9.3.3 Vyhodnocení naměřených dat

Tělesa byla testována až do úplného porušení nebo v několika případech do vypnutí stroje následkem překročení velikosti proudu. Tělesa byla i tak porušena a byl zaznamenán počet cyklů. V tabulce 13 jsou k vidění hodnoty velikosti zatížení a počtů cyklů zaznamenaných při částečném nebo úplném porušení tělesa, které byly následně použity k sestrojení Wöhlerovy křivky.

Tabulka 13 - Počet cyklů potřebných pro porušení ploché tyče pro dané zatížení při teplotě 20°C

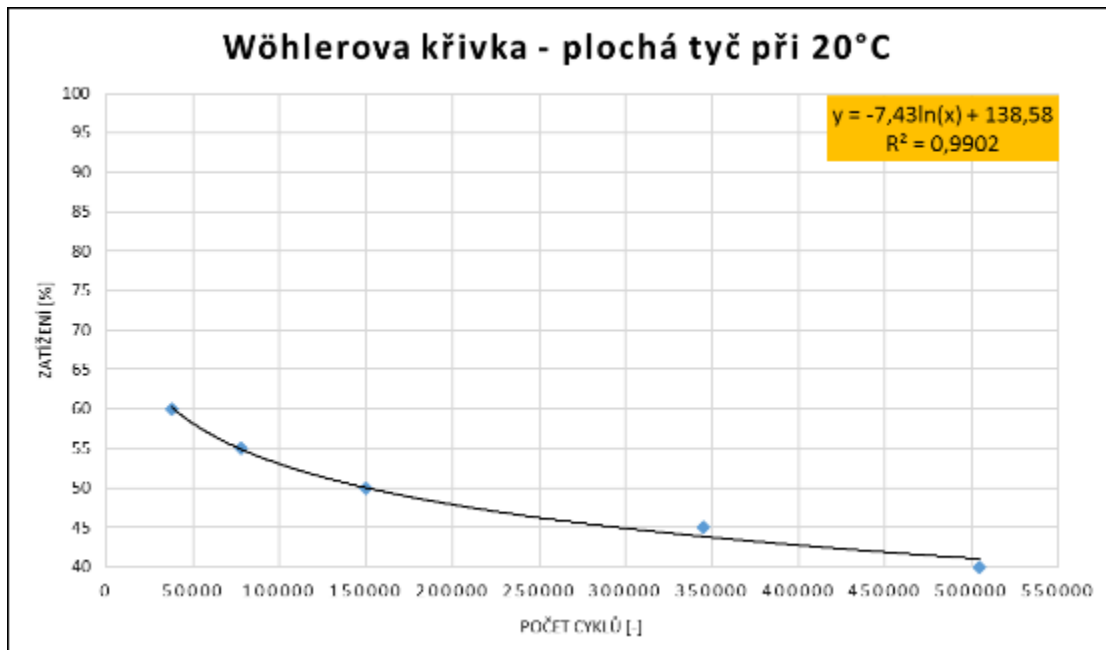
F = 101110 N	Počet cyklů při procentuálním zatížení [-]				
	40%	45%	50%	55%	60%
tyč plochá	504400	345000	150000	77600	38000





Obrázek 26 - Grafické znázornění jednotlivých počtů cyklů pro porušení ploché tyče

Jak můžeme vidět v grafu na obrázku 26, s rostoucí velikostí zatížení klesá počet cyklů nutných k porušení tělesa. Z důvodů menších rozdílů cyklů při větším zatížení, nebylo nutné použít více než 5 zkušebních těles. Z těchto hodnot počtu cyklů a hodnoty zatížení byla následně sestrojena Wöhlerova křivka.



Obrázek 27 - Wöhlerova křivka pro tělesa obdélníkového průřezu

V grafu na obrázku 27 vidíme Wöhlerovu křivku pro zkušební těleso obdélníkového průřezu. Aby byla tato křivka přesnější, bylo by nutné provést více zkoušek s více tělesy a zatíženími, ale z důvodu nedostatku zkušebních těles to nebylo možné.



Obrázek 28 - Porušená tělesa po provedení cyklické zkoušky

### 9.3.4 Cyklická únavová zkouška pro těleso s kruhovým průřezem při teplotě 20°C

Těleso bylo upnuto stejně jako při provádění tahové zkoušky, vzdálenost čelistí zůstala stejná, tedy 99 mm. V tabulce 14 jsou uvedeny vstupní hodnoty velikosti zatížení, frekvence a průměrné hodnoty tahové síly určené ze statické tahové zkoušky.

Tabulka 14 - Parametry pro cyklickou zkoušku kruhové tyče při teplotě 20°C

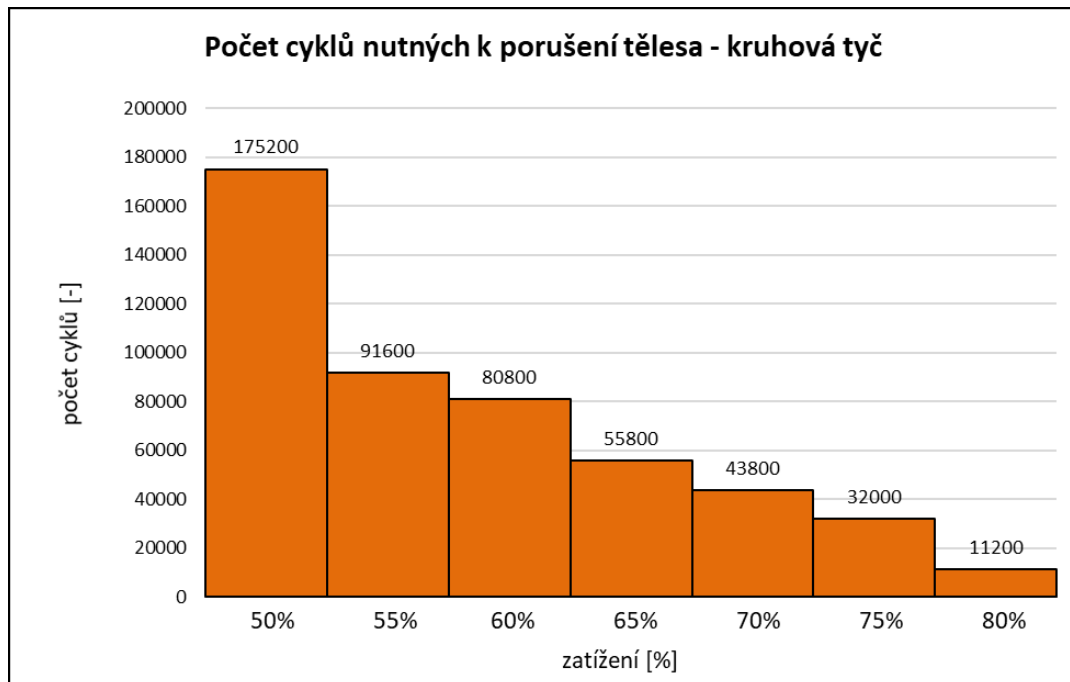
tyč kruhová	Velikost zatížení [%]						
	50	55	60	65	70	75	80
frekvence [Hz]	87	87	87	87	87	87	87
F [N]	91505	91505	91505	91505	91505	91505	91505
Fa [N]	45775	50350	54930	59500	64100	68660	73240

### 9.3.5 Vyhodnocení naměřených dat

Tělesa byla testována až do úplného porušení nebo v několika případech do vypnutí stroje následkem překročení velikosti proudu. Tělesa byla i tak porušena a byl zaznamenán počet cyklů. V tabulce 15 jsou k vidění hodnoty velikosti zatížení a počtů cyklů zaznamenaných při částečném nebo úplném porušení tělesa, které byly následně použity k sestrojení Wöhlerovy křivky.

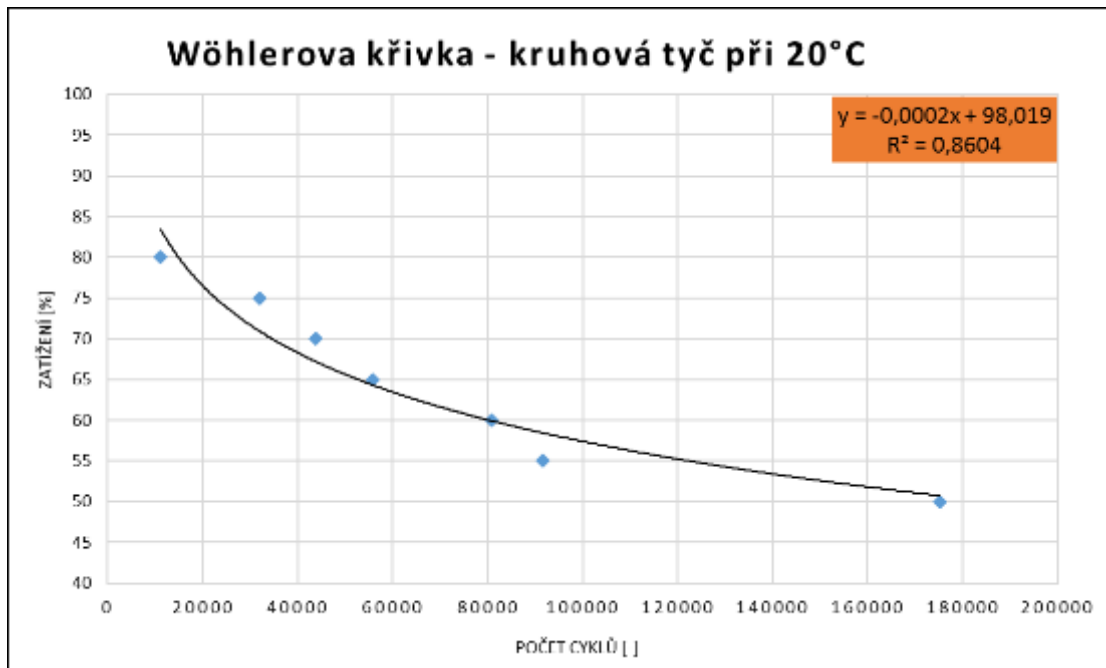
Tabulka 15 - Počet cyklů potřebných pro porušení kruhové tyče pro dané zatížení při teplotě 20°C

F = 91505 N	Počet cyklů při procentuálním zatížení [-]						
	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%
tyč kruhová	175200	91600	80800	55800	43800	32000	11200



Obrázek 29 - Grafické znázornění srovnání jednotlivých počtů cyklů pro porušení kruhové tyče testované při teplotě 20°C

V grafu na obrázku 29, můžeme vidět, že s rostoucí velikostí zatížení klesá počet cyklů nutných k porušení tělesa. U tohoto měření bylo z důvodů menších rozdílů cyklů při větším zatížení použito 7 zkušebních těles. Z těchto hodnot počtu cyklů a hodnoty zatížení byla následně sestrojena Wöhlerova křivka.



Obrázek 30 - Wöhlerova křivka pro tělesa z kruhové tyče testované při 20°C

V grafu na obrázku 30 vidíme Wöhlerovu křivku pro zkušební těleso z ploché tyče. I zde platí, že aby byla tato křivky přesnější, bylo by nutné provést více zkoušek s více tělesy a zatíženími, ale z důvodu nedostatku zkušebních těles to nebylo možné.



Obrázek 31 - Porušená tělesa po provedení cyklické zkoušky

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo studium pevnosti materiálu nerezové ocelové konstrukce a jejích částí, která se používá v zamrazovacích tunelech pro uchycení podhledů, na rošty pochozích lávek, třmeny drah, spojovací a kotevní materiálu. Byla vyrobena zkušební tělesa z austenitické nerezové oceli 17 240 (1.4301) ve formě tyčí ve variantách kruhového průřezu o průměru 12 mm a plochého obdélníkového průřezu o rozměrech 30 x 5 mm. Následně byl rozřezán na jednotlivá tělesa o délce 150 mm a 120 mm. Část těles byla uložena do mrazáku, aby bylo možné dosáhnout co nejbližší teploty, která je v zamrazovacích tunelech a to z důvodu, že k testovacímu stroji nebyla k dispozici temperační jednotka.

Jako první byla provedena statická zkouška tahem. Z této zkoušky byly určeny základní mechanické vlastnosti. Důležitá byla hodnota meze pevnosti v tahu, která se porovnávala s hodnotou v materiálovém listu této oceli. Jako další bylo třeba zjistit maximální tahovou sílu potřebnou k přetržení zkušební tělesa a její průměrnou hodnotu, ze které bylo následně určeno zatížení pro další zkoušku. Další zkouškou byla cyklická únavová zkouška, kde při určitém zatížení bylo dosaženo určitého počtu kmitů a došlo k porušení tělesa.

Po vyhodnocení tahové zkoušky byl také porovnán vliv teploty a průřezu na tělesa. Ukázalo se, že tělesa, která měla teplotu  $-30^{\circ}\text{C}$  vykazovala větší průměrné hodnoty modulu pružnosti v tahu, meze pevnosti a poměrného prodloužení na mezi pevnosti. Ojedinelý případ byl u plochého tělesa o teplotě  $20^{\circ}\text{C}$ , které mělo větší modul pružnosti v tahu než těleso o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$ . U vlivu průřezu se také projeví větší, či menší hodnoty modulu pružnosti, meze pevnosti a poměrného prodloužení na mezi pevnosti. Tělesa plochého průřezu vykazovala větší hodnoty modulu pružnosti a poměrného prodloužení, hodnota meze pevnosti byla ale menší. Toto bylo zjištěno u těles, která měla teplotu  $20^{\circ}\text{C}$ . Tělesa, která měla kruhový průřez a teplotu  $-30^{\circ}\text{C}$  měla hodnoty modulu pružnosti a meze pevnosti vyšší oproti plochému průřezu, ale poměrné prodloužení zůstalo vyšší jako v minulém případě. Tyto údaje jsou uvedeny po provedení tahové zkoušky, kde je vliv ohřevu těles minimální i vzhledem k absenci temperační jednotky. Vliv teploty a průřezu těles tedy ovlivňuje mechanické vlastnosti tohoto materiálu použitého u zkoušek.

U dynamické zkoušky bylo zvoleno zatížení pro tělesa s obdélníkovým průřezem od 40 do 60%, pro tělesa s kruhovým průřezem se zvolilo rozmezí zatížení od 50 do 80% z průměrné hodnoty maximální tahové síly. Cyklická zkouška probíhala pouze u těles, která měla teplotu  $20^{\circ}\text{C}$ . Pro tělesa o teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$  nemělo smysl cyklickou zkoušku provádět, když nebyla

k dispozici temperační jednotka, tělesa se po 1 tis. cyklů zahřála a vykazovala téměř stejné hodnoty jako tělesa o teplotě 20°C.

Materiál, ze kterého byla vyrobena zkušební tělesa, byl použit z demontovaných částí konstrukce, která byla vystavena vlivům teploty a zatížení v provozu tunelů po dobu minimálně 10 let, byl po provedení zkoušek a vyhodnocení výsledků, porovnán s hodnotami v materiálovém listu nového materiálu stejného typu. Závěr je takový, že testovaná tělesa z tohoto materiálu, vykazují hodnoty, které jsou v toleranci minimálních a maximálních hodnot meze pevnosti pro daný materiál. Tělesa s kruhovým průřezem mají dokonce vyšší hodnoty meze pevnosti, než je uvedeno v materiálovém listu. Materiál tedy vyhovuje teplotním a mechanickým podmínkám, které na něho v tunelech působí.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] NĚMEC, Milan. Základy strojírenské technologie I. ISBN 978-80-01-06056-8
- [2] Hluchý, Miroslav. Kolouch, Jan. Strojírenská technologie 1. 1. díl, Nauka o materiálu. ISBN: 80-7183-262-6
- [3] Hluchý, Miroslav. Modráček, Oldřich. Paňák, Rudolf. Strojírenská technologie 1. 2. díl, Metalografie a tepelné zpracování. ISBN 80-7183-2365-0
- [4] Hluchý, Miroslav. Kolouch, Jan. Paňák, Rudolf. Strojírenská technologie 2. 1. díl, Polotovary a jejich technologičnost. ISBN 80-7183-244-8
- [5] Hluchý, Miroslav. Haněk, Václav. Strojírenská technologie 2. 2. díl, Koroze, základy obrábění, výrobní postupy. ISBN 80-7183-245-6
- [6] Řasa, Jaroslav. Pokorný, Přemysl. Gabriel, Vladimír. Strojírenská technologie 3. 2. díl, Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění. ISBN 80-7183-336-3
- [7] Šenberger, Jaroslav. Bůžek, Zdeněk. Záděra, Antonín. Stránský, Karel. Kafka, Václav. Metalurgie oceli na odlitky. ISBN 978-80-214-3632-9
- [8] Grada Publishing, spol. s r.o., Práce s kovy. ISBN 80-7169-755-9
- [9] Švejda, Karel. a kolektiv. Úvod do strojnictví a elektrotechniky. 04-001-67
- [10] Fischer, Ulrich. a kol. Základy strojnictví. ISBN 80-86706-09-5
- [11] Ptáček, Luděk. a kolektiv. Nauka o materiálu I. ISBN 80-7204-193-2
- [12] Ptáček, Luděk. a kolektiv. Nauka o materiálu II. ISBN 80-7204-130-4
- [13] Leinveber, Jan. Vávra, Pavel. Strojnické tabulky, Třetí doplněné vydání. ISBN 80-7361-033-7
- [14] Leinveber, Jan. Vávra, Pavel. Strojnické tabulky, Šesté vydání. ISBN 978-80-7361-111-8
- [15] Řasa, Jaroslav. Švercl, Josef. Strojnické tabulky pro školu a praxi. ISBN 978-80-86960-20-3
- [16] Stránský, A. Korbař, T. Technický naučný slovník. 04-001-62
- [17] Oceli do nízkých a kryogenních teplot. Dostupné z: [https://www.opi.zcu.cz/download/nizke\\_teploty.pdf](https://www.opi.zcu.cz/download/nizke_teploty.pdf)



- [18] Zkoušky vlastností technických materiálů. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=14603&revision=-1&instance=2>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$F_m$	Zatěžující síla
$L_0$	Počáteční délka
$d_0$	Počáteční průměr
$S_0$	Počáteční průřez
$R_m$	Mez pevnosti v tahu
$L_u$	Absolutní délka
$\varepsilon$	Poměrné prodloužení
$\Delta L$	Poměr změny délky
$A$	Tažnost
$Z$	Kontrakce (zúžení)
$S_u$	Příčný průřez
$R$	Napětí
$R_e$	Mez kluzu
$R_p$	Smluvní mez kluzu
$\sigma$	Normálové napětí
$\tau$	Tečné napětí
MPa	Megapascal
mm	milimetr
Hz	Hertz
$F_a$	Amplituda zatěžování
V	Volt
A	Ampér
E	Modul pružnosti v tahu
W	Práce
S	Plocha

---

t	teplota
{ny}[%]	Variační koeficient
{no}[%]	Průměrná hodnota
N	Počet cyklů
n	Počet testových těles
s	Směrodatná odchylka

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 - Únavová křivka napětí.....	18
Obrázek 2 - Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušky tahem, tlakem a ohybem .....	20
Obrázek 3 - Zkušební tyče pro zkoušku tahem.....	21
Obrázek 4 - Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem u měkké nelegované oceli .	23
Obrázek 5 - Pracovní diagram oceli s výraznou mezí kluzu a oceli bez výrazné meze kluzu .....	25
Obrázek 6 - Pracovní diagram pro různé pracovní materiály .....	25
Obrázek 7 - Únavová křivka napětí.....	27
Obrázek 8 - Wöhlerova křivka.....	27
Obrázek 9 - Zkušební těleso kruhového průřezu .....	35
Obrázek 10 - Zkušební těleso obdélníkového průřezu .....	36
Obrázek 11 - Stroj Zwick/Roell Vibrophore 100.....	37
Obrázek 12 - Zkušební těleso - Zwick/Roell Vibroprore 100 .....	39
Obrázek 13 - Zkušební těleso - Zwick/Roell Vibroprore 100 .....	39
Obrázek 14 - Pracovní diagram zkoušky tahem závislosti napětí na poměrné deformaci pro těleso o teplotě 20°C .....	40
Obrázek 15 - Pracovní diagram zkoušky tahem závislosti napětí na poměrné deformaci pro těleso o teplotě -30°C .....	41
Obrázek 16 - Přetržená tělesa obdélníkového průřezu po tahové zkoušce – vlevo zkoušená tělesa o teplotě 20°C, vpravo o teplotě -30°C .....	42
Obrázek 17 - Zkušební těleso Zwick/Roell Vibroprore 100 .....	43
Obrázek 18 - Zkušební těleso Zwick/Roell Vibroprore 100 .....	43
Obrázek 19 - Pracovní diagram zkoušky tahem závislosti napětí na poměrné deformaci pro těleso o teplotě 20°C .....	44
Obrázek 20 - Pracovní diagram zkoušky tahem závislosti napětí na poměrné deformaci pro těleso o teplotě -30°C .....	45
Obrázek 21 - Přetržená tělesa kruhového průřezu po tahové zkoušce – vlevo zkoušená tělesa o teplotě 20°C, vpravo o teplotě -30°C.....	46
Obrázek 22 - Grafické zobrazení srovnání průměrných hodnot modulu pružnosti v tahu u obou průřezů zkušebních těles.....	47

Obrázek 23 - Grafické zobrazení srovnání průměrných hodnot meze pevnosti u obou průřezů zkušebních těles.....	48
Obrázek 24 - Grafické zobrazení srovnání průměrných hodnot poměrného prodloužení na mezi pevnosti u obou průřezů zkušebních těles .....	49
Obrázek 25 - Míjivý průběh zatížení.....	52
Obrázek 26 - Grafické znázornění jednotlivých počtů cyklů pro porušení ploché tyče .....	54
Obrázek 27 - Wöhlerova křivka pro tělesa obdélníkového průřezu .....	55
Obrázek 28 - Porušená tělesa po provedení cyklické zkoušky .....	55
Obrázek 29 - Grafické znázornění srovnání jednotlivých počtů cyklů pro porušení kruhové tyče testované při teplotě 20°C.....	57
Obrázek 30 - Wöhlerova křivka pro tělesa z kruhové tyče testované při 20°C.....	58
Obrázek 31 - Porušená tělesa po provedení cyklické zkoušky .....	58



**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1 - Rozměry tělesa kruhového průřezu .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 2 - Rozměry tělesa obdélníkového průřezu .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 3 - Parametry zkušebního stroje Zwick/Roell Vibrophore 100 .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 4 - Hodnoty po provedení tahové zkoušky – těleso o teplotě 20°C .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 5 - Hodnoty po provedení tahové zkoušky – těleso o teplotě -30°C .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 6 - Hodnoty po provedení tahové zkoušky – těleso o teplotě 20°C .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 7 - Hodnoty po provedení tahové zkoušky – těleso o teplotě -30°C .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 8 – Vliv teploty na hodnoty <math>E</math>, <math>R_m</math> a <math>\varepsilon_{Rm}</math> – ploché těleso.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 9 – Vliv teploty na hodnoty <math>E</math>, <math>R_m</math> a <math>\varepsilon_{Rm}</math> – kruhové těleso.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 10 – Vliv průřezu na hodnoty <math>E</math>, <math>R_m</math> a <math>\varepsilon_{Rm}</math> – tělesa o teplotě 20°C .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 11 – Vliv průřezu na hodnoty <math>E</math>, <math>R_m</math> a <math>\varepsilon_{Rm}</math> – tělesa o teplotě -30°C .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 12 - Parametry pro cyklickou zkoušku ploché tyče při teplotě 20°C.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 13 - Počet cyklů potřebných pro porušení ploché tyče pro dané zatížení při teplotě 20°C .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 14 - Parametry pro cyklickou zkoušku kruhové tyče při teplotě 20°C .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 15 - Počet cyklů potřebných pro porušení kruhové tyče pro dané zatížení při teplotě 20°C .....</i>	<i>56</i>

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha I:      Technický list – 1.4301

PŘÍLOHA PI: TECHNICKÝ LIST OCELI 1.4301

 <p>Correspondence address: Aperam Genk Svinnenwuyweg 5, Poort Genk 7523 3600 Genk, Belgium Tel. +32 (0)89 30 21 11</p>		A04 MILL CERTIFICATE BS EN 10204/3.1 CERTIFICAT DE RECEPTION NF EN 10204/3.1 ABNAHMEPRUEFZEUGNIS DIN EN 10204/3.1 A02		N-Ni-N 19K0007028-01 V01 A03												
A01 Manufacturer's work order number N° de la commande usine productrice Werkbestellnummer 80490558/04-59734/QS7/04 A05		Surveyor's mark Cachet de l'expert Stempel des Werknachrichtensändigers  A06	Purchaser and/or consignee Client et/ou destinataire Besteller und/oder Empfänger A07		Purchase's order number N° de commande client Kundenbestellnummer STOCK PL. A08											
Product - Produit - Erzeugnis SHEETS, HOT ROLLED, ANNEALED AND PICKLED, TEARSHEETS TOILES LAMINEES A CHAUD, RECUTTES-DECAPEES TOILES LAMINEES BLECHE, WARMGEWALZT, GEGLUEHT UND GEBEILT, TRANVENBLECHE B01		B02 Steel designation Désignation de l'acier Stahlbezeichnung EN 10028-7-2016 1.4307 / 1.4301 EN 10088-2-2014 1.4307 / 1.4301 EN 10088-4-2008 1.4307 / 1.4301 ASME SA 240-2017 TYPE 304L / 304 ASTM A 240-2017 TYPE 304L / 304		Finish Présentation Anfertigung IM IM IM NO 1 NO 1	Steelmaking process Mode d'élaboration de l'acier - Stahlherstellungsverfahren Prod. proc.: Electric arc furnace - VOD/AOD - Continuous casting Proc. fabric.: Four à arc - VOD/AOD - Coulée continue Fertigungsablauf Elektro-Ofen - VOD/AOD - Stranggießanlage B03	C70 Product delivery condition Etat de livraison du produit - Lieferzustand Solution treated: Hypertrempe: 1050 °C Lösungswärmeabgeschwickelt B04										
ASME CODE SECT 2 PART A // NACE MR 0175 // ISO 15156-1 // ISO 15156-3 // NACE MR 0103 // ASTM A480 / A480M // ASME SA480 / SA480M // CORR. TEST: ASTM A20 E: OK // CORROSION INTERGRANULAIRE SELON ISO3651/2:08 Z00																
Identification of the product Identification du produit - Identifizierung des Erzeugnisses MELTED IN BELGIUM, MADE IN BELGIUM B07		Dimensions Dimensions - Abmessungen Thickness - Épaisseur - Stärke 4.00 mm B09		Width - Largeur - Breite 1000.00 mm B10	Length - Longueur - Länge 2000.00 mm B11											
Coil n. N. Bobine - Band Nr. 88108942	Heat n. N. Coulee - Schmelz Nr. 008485	Number of pieces No de pieces - Stückzahl 16 B08	Net weight Poids net - netto Gewicht 1134 KG B13													
CHEMICAL ANALYSIS - ANALYSE CHIMIQUE - CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG																
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	N	S	P						
Required Exigé Anforderung %min %max	0.030	0.75	2.00	8.00	17.50			0.100	0.015	0.045						
Cast Analysis Analyse coulée Analyse Schmelze	0.017	0.42	1.45	8.07	18.12			0.039	0.004	0.032						
	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C80	C81	C82	C83	C84	C85	C86
Positive material identification carried out: OK Tests de vérification de la conformité de la nuance fournie: OK Verwechslungsprüfung wurde durchgeführt: OK C04						C05						D02				



Location (1)		MECHANICAL PROPERTIES - PROPRIETES MECANIQUEES - MECHANISCHE WERTE										EN ISO 6892-1 B / A-SA 370	C00	
		Room temperature - Temperature ambiante - Raumtemperatur					Test temperature (°C) :					C03		
Direction (2)	Required Force Anforderung	Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze		Tensile Strength Résistance à la traction Zugfestigkeit		Elongation after fracture Allongement après rupt. Bruchdehnung		Hardness Dureté Härten	Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze		Tensile str. Résist. MPa Zugfestigkeit	Elongation % Allongement Bruchdehnung		
		Rp0.2%	Rp1%	Rm	A5	50mm	HRBW	Rp0.2%	Rp1%	Rm	A5			
1	I	mm	210	250	520	45	45	92						
		mm	364	405	665	47	46	86						
2	Obtained Gibten Ergebnisse		C11	C14	C12	C13	C15	88	C01	C16	C17	C18	C19	
Impact strength test Essai de résilience Kerbschlagzähigkeitstest		Corrosion test Test de corrosion Korrosionstest				E0.2(T)R(T) %								
C40		C44		EN ISO 3671 2 - A-OK				34						
		C42		D61				C00	C01	C02	C03	C04	C05	C06
Location of the sample (1) Emploiment de l'échantillon Lage des Probencharakteristie: 1. Front - Début - Anfang 2. Back - Fin - Ende 3. Middle - Milieu - Mitte		The delivery is in accordance with the order La fourniture est conforme aux exigences de la commande Die Lieferung entspricht den Bestellbedingungen					Z01		Organization inspection Organisme et/ou service contrôlé Überwachungsabteilung				A00	
		Packing list Avis d'expédition Lieferchein/Nummer					2019029199-20612		Quality Department				A10	
Direction of the test pieces (2) Orientation des éprouvettes Probenrichtung I. Transverse - Transvers - Quer L. Longitudinal - Long - Längs		Marking, inspection and measurement : without objection Contrôle de marquage, d'aspect et de dimensions : satisfaisant Prüfung der Stempelung, der Oberbohrmaße und der Abmessungen : ohne Beanstandung					D01		11/2/2019  The inspector Le responsable Der Werkzschwertherrige				D02	

ZSQ701 - P08