ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

SPOJOVACÍ MATERIÁLY PRO KOTEVNÍ PRVKY POUŽÍVANÉ V ZEMĚDĚLSTVÍ

FASTENERS FOR ANCHOR ELEMENTS USED IN AGRICULTURE

AUTOR: Eliška Galčíková
STUDIJNÍ PROGRAM: VES
VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Ing. Jana Sobotová, Ph.D.

PRAHA 2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Galčíková** Jméno: **Eliška** Osobní číslo: **473572**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav materiálového inženýrství**

Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**

Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Spojovací materiály pro kotevní prvky používané v zemědělství

Název bakalářské práce anglicky:

Fasteners for anchor elements used in agriculture

Pokyny pro vypracování:

1. Literární rešerše
2. Analýza současného stavu řešené problematiky
3. Experimentální část
Metalografická analýza a hodnocení vlastností vybraných prvků
4. Zpracování výsledků, závěry, sepsání BP

Seznam doporučené literatury:

[1] PTÁČEK, L. Nauka o materiálu II. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
[2] ČIŽMÁROVÁ, E. a J. SOBOTOVÁ. Nauka o materiálu I. a II.: cvičení. Dotisk 1. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05550-2.
[3] ČSN EN 14592+A1. Dřevěné konstrukce - Kolíkové spojovací prostředky: Požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2012.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Jana Sobotová, Ph.D., ústav materiálového inženýrství FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

doc. Ing. Jana Sobotová, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

18. 6. 2020
Datum převzetí zadání

Podpis studentky

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů**.**

V Praze dne: ……. ……Podpis

Anotace

Předložená bakalářská práce se zabývá hodnocením spojovacích materiálů používaných v rámci ohrad pro dobytek, jedná se především o vruty do dřeva.

Teoretická část popisuje konstrukci vrutu, materiály používané pro jejich výrobu, povrchové úpravy a metody hodnocení vrutů. V rámci experimentu je stanovena metodika hodnocení vrutů a následně je testováno a porovnáváno šest typů vrutů od různých dodavatelů.

Na základě výsledků experimentální části je vytipován vrut s nejlepší kombinací mechanických vlastností a ceny.

Klíčová slova

Konstrukce vrutu, vruty do dřeva, materiály na vruty, vlastnosti vrutu

Annotation

The presented bachelor's thesis deals with the evaluation of fasteners used in pens for cattle, especially wood screws.

The theoretical part describes the construction of the screw, materials used for their production, surface treatment and methods of screw evaluation. Within the experiment is established the evaluation methodology and then six types of screws from different suppliers are tested and compared.

Based on the results of the experimental part, the screw with the best combination of mechanical properties and price is selected.

Keywords

Screw construction, wood screws, materials for screw, screw properties

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce doc. Ing. Janě Sobotové Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a trpělivost při konzultacích. Děkuji také Ing. Janu Krčilovi a Ing. Martinovi Kuříkovi za odbornou pomoc v rámci experimentální části. Dále bych ráda poděkovala firmě SFS intec s.r.o. za možnost testování vrutů v jejich laboratořích. Poslední díky patří firmě HAŠPL za poskytnutí informací a cenných rad ohledně vrutů.

OBSAH

POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY 9

1 Úvod 11

2 Teoretická část 12

2.1 Spojovací materiály 12

2.2 Materiály používané pro výrobu vrutů 14

2.3 Povrchové úpravy 17

2.4 Metody hodnocení vlastností vrutů 18

2.4.1 Metalografie 18

2.4.2 Mechanické zkoušky 20

2.4.3 Fyzikální zkoušky 23

3 Analýza současného stavu 25

3.1 Používané vruty 25

3.2 Konstrukce ohrad 26

3.3 Degradace a lom vrutů 27

3.4 Ekonomické hledisko 28

3.5 Návrh řešení problému 29

4 Experimentální část 31

4.1 Zkušební tělesa 31

4.2 Strukturní analýza 32

4.3 Zkouška tvrdosti 33

4.4 Prostá zkouška tahem 35

4.5 Prostá zkouška krutem vrutu 39

4.6 Strhávací zkouška a zkouška montáže 40

5 Výsledky a jejich diskuse 42

5.1 Vyhodnocení strukturní analýzy 42

5.2 Vyhodnocení zkoušky tvrdosti 48

5.3 Vyhodnocení prosté zkoušky tahem 50

5.4 Vyhodnocení prosté zkoušky krutem 52

5.5 Vyhodnocení strhávací zkoušky a zkoušky montáže 53

6 Porovnání vlastností sledovaných vrutů 56

6.1 Porovnání vlastností vrutů z konstrukčních ocelí 56

6.2 Porovnání vlastností vrutů z korozivzdorných ocelí 57

7 Závěr 59

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 60

POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY

Symbol	Veličina	Jednotka
A	Tažnost	%
d	Jmenovitý průměr vrutu	mm
d	Průměr úhlopříček (HV)	mm
d_h	Průměr hlavy vrutu	mm
F	Zátěžná síla	N
F1	Maximální podporová reakce spojovacího prostředku kolíkového typu	N
F2	Zkušební zatížení působící na vrut	N
F3	Maximální podporová reakce spojovacího prostředku kolíkového typu	N
F4	Zkušební zatížení působící na vrut	N
F_e	Síla na mezi kluzu	N
F_{max}	Maximální síla	N
$F_{p0,2}$	Síla při dosažení relativního prodloužení 0,2 %	N
f_{ax}	Parametr vytažení	N/mm^2
f_{head}	Parametr protažení hlavy	N/mm^2
f_{tor}	Charakteristická pevnost vrutu v kroucení	N/mm^2
HV	Tvrdost podle Vickerse	
l_1	Vzdálenost podpor od zatěžujících sil	mm
l_3	Vzdálenost podpor od zatěžujících sil	mm
l_2	Vzájemná vzdálenost zatěžujících sil	mm

l	Měřená délka zkušebního tělesa	mm
l_0	Původní délka tyče měřená před zatížením	mm
l_d	Účinná hloubka průniku profilované části vrutu	mm
l_u	Délka tyče měřená po přetržení	mm
Ma	Maximální moment při zkoušce montáže	Nm
Me	Maximální moment v krutu	Nm
Mü	Maximální moment strhávací zkoušky	Nm
M_y	Moment na mezi kluzu	Nmm
R	Smluvní napětí	MPa
R_e	Mez kluzu	MPa
R_m	Mez pevnosti	MPa
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	MPa
R_{tor}	Torzní únosnosti při zašroubování vrutu do dřeva	N/mm^2
S_0	Příčný průřez součásti před zatížením	mm^2
S_u	Obsah plochy příčného průřezu měřený po přetržení tyče	mm^2
Z	Kontrakce	%
α	Úhel ohybu	° (stupeň)
ε	Relativní prodloužení	

1 Úvod

Tématem předložené bakalářské práce jsou spojovací materiály používané v rámci ohrad pro dobytek, jedná se především o vruty. Veškeré materiálové, konstrukční i mechanické vlastnosti kolíkových spojovacích prostředků používaných v dřevěných konstrukcích jsou definovány v normě ČSN EN 14592 + A1: Dřevěné konstrukce – kolíkové spojovací prostředky. [1] Práce vychází z potřeb firmy Agrotrans s.r.o., která v zimě loňského roku zaznamenala nežádoucí míru degradace vrutů používaných v ČR pro konstrukci ohrad.

V teoretické části práce je popsána konstrukce vrutů, definováno, jaké materiály se používají na jejich výrobu a jakým způsobem jsou hodnoceny jejich mechanické, materiálové a fyzikální vlastnosti. Dále je analyzován současný stav konstrukce ohrad firmou Agrotrans s.r.o., odhadnuty možné důvody degradace vrutů na nich, viz kapitola 3.3 a navrženo řešení problému.

V rámci experimentální části jsou provedeny dostupné analýzy vybraných vrutů. Získané výsledky jsou porovnány s cílem výběru vhodných vrutů pro použití na uvedenou aplikaci v dalším zimním období.

Cílem práce je návrh vrutů pro použití na konstrukce ohrad s výhledem delší životnosti ve srovnání se současně zvoleným stavem.

2 Teoretická část

2.1 Spojovací materiály

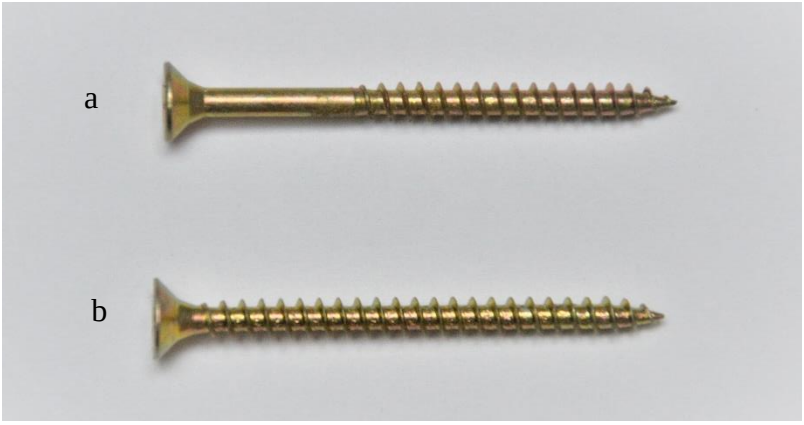
Spojovací materiál je technický prvek, který slouží ke spojení dvou či více dílů, které mohou být z různých materiálů. Patří mezi ně šrouby a matice, závrtné šrouby, závitové tyče, nýty, hřebíky a další. Předložená práce se věnuje vrutům do dřeva. V práci je používáno označení „vrut.“ Jde o označení, které je použito v normě ČSN EN 14592 + A1, ovšem označení dodavatelů se může lišit. Je možné najít totožný spojovací materiál nabízený různými dodavateli s různým označením. Mezi nejčastěji používané patří již zmíněný vrut, dále závitořezný, samovrtný, či samořezný šroub.

Konstrukce vrutu se dá rozdělit do několika částí. Začíná samovrtným hrotem neboli špičkou. Geometrie hrotů se liší v závislosti na materiálu, do kterého je vrut určen. Jeho ostrý tvar zaručuje dobré „zakousnutí“ do materiálu a následné rychlé a snadné zavrtání (dále montáž). V případě, že je vrut určený do dřeva delší než 50 mm, může obsahovat také zářezy, které usnadňují řezání vláken a snižují riziko vzniku trhlin ve dřevě. [2] [3] [4]

Následuje částečný nebo plný závit, který může být jednochodý či dvojitý. Dvojitý závit zajišťuje rychlejší zavrtání a zároveň rychlejší odvádění třísky ze špičky. Stoupání závitu se volí v závislosti na průměru a délce vrutu. Za účelem zkrácení času montáže se u dlouhých vrutů volí rychlé stoupání, u krátkých pak pomalé stoupání, aby došlo k přesnému zašroubování. Pojem rychlé a pomalé stoupání je běžně používán výrobci vrutů. Jedná se o porovnání velikosti úhlu stoupání s tím, že dostupná literatura nespecifikuje velikost úhlu. [2] [4] [5]

U většiny konstrukčních či stavebních vrutů do dřeva s částečným závitem lze najít za závitem frézování (Obrázek 1). Rozdíl mezi vrutem s částečným závitem plným závitem je patrný z Obrázku 2. Frézování zabraňuje tříštění materiálu a odstraňuje vytvořené třísky, čímž vytváří prostor pro stopku a zamezuje tak tření a zahřívání vrutu. Vhodný hlavně pro práci s tvrdým dřevem. [2] [6]

Obrázek 1: Konstrukční vrut s částečným závitem a frézováním, Foto autor



Obrázek 2: Vrut a) částečný závit, b) plný závit, Foto autor

Tvrdým dřevem se obvykle rozumí dřevo listnatých stromů, vyznačuje se vysokou hustotou, pestřejšími barvami i texturou. Toto pojmenování ovšem nemusí být zcela přesné. Většinou jsou jehličnany měkčí než listnaté stromy, ale existují i výjimky, například dřevo topolu je velmi měkké. [7] [8]

Další částí na vrutu s částečným závitem je stopka (Obrázek 1), která se pokrývá voskováním nebo speciálním lakem, a tím snižuje tření a zároveň může sloužit jako ochrana před vnějšími vlivy a korozí. [2] [3] [4]

Poslední částí každého vrutu je hlava (Obrázek 1). Hlavy mohou mít různé tvary, například zápustné, talířové, zaoblené, šestihranné nebo válcové. [4]

Předložená práce se bude dále věnovat pouze vrutům s hlavami zápustnými. Jedná se o standardní a běžně používaný typ hlav do dřevěných konstrukcí. Nezápustné typy hlav bývají dražší a pro některé je také třeba dokoupit speciální nářadí, například šestihranná hlava je na rozdíl od ostatních utahována speciálním klíčem.

Pod zápustnou hlavou může být drážkování nebo žebrování, které usnadňuje zapuštění hlavy do materiálu a zabraňuje jejímu protočení (Obrázek 3).

Obrázek 3: Drážkování pod hlavou, Foto autor

Na každé hlavě je drážka, která přenáší kroutící moment při montáži. Nejčastěji jde o torx (hvězdička) nebo křížek (pozidrive), rozdíl mezi nimi je patrný z Obrázku 4. Z pohledu deformace je nejvýhodnější použít drážku torx, u křížové drážky dochází nejčastěji k deformaci nástroje (bitu) nebo samotné drážky, v průběhu montáže také hrozí vyklouznutí bitu z drážky. Problém je způsoben kónickým zakončením nástroje. Kolem drážky lze u některých vrutů najít značení názvu a délky, které usnadňuje jeho identifikaci. [2] [3] [4] [6]

Obrázek 4: Drážky vrutů a) torx, b) křížek, Foto autor

Z hlediska konstrukce vrutu je práce dále věnována vrutům s částečným závitem s možností frézování nebo bez něj. Hlava vrutu zápustná s drážkou torx.

2.2 Materiály používané pro výrobu vrutů

Prakticky jediným uváděným materiálem konstrukčních a univerzálních vrutů je ocel. Je známo, že oceli lze dělit podle různých hledisek. Materiály vhodné pro výrobu vrutů jsou dále rozděleny dle normy ČSN EN 10027-1, která uvádí tvorbu značek ocelí podle chemického složení s tím, že konkrétní příklady ocelí na vruty, jak je uvádí výrobci, jsou dále uvedeny dle různého značení. V závěru kapitoly je uvedená převodní tabulka těchto značek.

- Nelegované oceli (kromě automatových ocelí) se středním obsahem manganu < 1%

  Jedinou nelegovanou ocel, kterou výrobci uvádějí je ocel C1021. Jde o uhlíkovou ocel, která nemá v české normě ekvivalent, ale lze ji najít i pod označením AISI 2021. Její chemické složení uvádí Tabulka 1. Pevnost v tahu může dosahovat 470 MPa a tažnost odpovídá 15 %. [9] [10]

Tabulka 1: Chemické složení uhlíkové oceli AISI 2021 [10]

Ocel	C [%]	Mn [%]	S [%]	P [%]
C2021	0,17 - 0,23	0,6 - 0,9	max 0,05	max 0,04

- Nelegované oceli se středním obsahem manganu ≥ 1 %, nelegované automatové oceli a legované oceli (kromě rychlořezných ocelí), se středními obsahy jednotlivých legujících prvků < 5 %

  Výrobci nejčastěji uvádí materiál C1022, jehož ekvivalenty mohou být dle ČSN oceli 13 030 a 13 123. Ocel 13 030 je manganová ocel, jejíž pevnost v tahu se pohybuje okolo 500 MPa a tažnost dosahuje 20 %. Dodává se v normalizačně žíhaném stavu, případně bývá normalizačně žíhána a popuštěna. [11]

  Ocel 13 123 má velmi obdobné chemické složení (Tabulka 2) i mechanické vlastnosti. V určitých případech může dosahovat vyšších pevností, ale její tažnost je nižší, asi 17 %. Stejně jako ocel 13 030 bývá dle normy normalizačně žíhána a následně popouštěna. [12]

Tabulka 2: Chemické složení ocelí [11] [12]

ČSN	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]	Mo [%]	V [%]
13 030	0,14 0,2	1 1,4	0,15 0,4	max 0,035	max 0,03	max 0,3	max 0,3	max 0,3	max 0,1	-
13 123	0,17 0,23	1 1,4	0,15 0,4	max 0,04	max 0,04	max 0,3	max 0,3	max 0,3	-	0,1 0,25

- Korozivzdorné oceli a ostatní legované oceli (kromě rychlořezných ocelí) s obsahem minimálně jednoho legujícího prvku ≥ 5 %

  Nejběžnější korozivzdornou ocelí používanou na výrobu vrutů je X5CrNi 18-10, nejčastěji označována jako Nerez A2. Jde o vysokolegovanou ocel se středním obsahem uhlíku 0,05 %, která je dále legována 18 % chromu a 10 % niklu. Zastoupení ostatních prvků viz Tabulka 3. Právě díky vysokému zastoupení chromu a malému procentu uhlíku odolává ocel korozi. Mez pevnosti

v tahu může dosahovat 650 MPa a tažnost může být až 50 %. Nerez A2 se dodává po rozpouštěcím žíhání. [13]

Dalším používaným materiálem je Nerez A4, opět jde o korozivzdornou ocel. Její chemické složení je velmi podobné Nerezu A2, také vlastnosti jsou srovnatelné. [14] Tento materiál se používá především na výrobu tzv. terasových vrutů, které se řadí pod vruty konstrukční. Jediný rozdíl mezi terasovými a klasickými konstrukčními vruty je v menší hlavičce vrutu terasového.

Stejně tak poslední materiál této skupiny, ocel X12Cr13, je používána na výrobu terasových vrutů. Tato ocel je výrobci označovaná jako Nerez 410 nebo také AISI 410. Jde o chromovou ocel, která má oproti předchozím dvěma vyšší procento uhlíku, ale nižší chromu (Tabulka 3). Dosahuje vyšších pevnostních hodnot, až 800 MPa, ale její tažnost je podstatně nižší, maximálně 20 %. Dle normy se dodává v žíhaném nebo zušlechtěném stavu. [15]

Tabulka 3: Chemické složení korozivzdorných ocelí [15] [13] [14]

Ocel	C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	P [%]	S [%]
Nerez A2	max 0,07	max 2,0	max 1,0	17 20	9 11	-	max 0,045	max 0,03
Nerez A4	max 0,07	max 2,0	max 1,0	16,5 18,5	10,5 13,5	2 2,5	max 0,045	max 0,03
Nerez 410	0,09 0,15	max 0,9	max 0,7	12 14	-	-	max 0,04	max 0,03

Požadavky na materiálové vlastnosti jsou dány normou ČSN EN 14592 + A1. Norma [1] udává, že vruty musí být vyrobeny z drátu z měkké nebo uhlíkové oceli, taženého z tyčí vyrobených dle EN 10083-2, EN 10263, EN 10269, EN 10016. Případně musí být vyrobeny z drátu z austenitické korozivzdorné oceli, taženého z tyčí vyrobených dle EN 10083-1 nebo EN 10088. Mohou být použity i jiné třídy ocelí, za předpokladu, že je zdokumentováno, že ocel má minimálně ekvivalentní mechanické vlastnosti jako kterákoli ze tříd ve výše vypsaných normách. Všechny informace o materiálu musí být získané zkouškami a deklarované. [1]

S ohledem na různé značení materiálů je dále uvedena tabulka s převody názvů.

Tabulka 4: Převodní tabulka značení vybraných materiálů [16]

Označení výrobců	ČSN	AISI
C1021	-	1021
C1022	13 030	1022
	13 123	1022
Nerez A2	17 240	304
Nerez A4	17 346	316
Nerez 410	17 021	410

2.3 Povrchové úpravy

Z důvodu zlepšení ochrany proti korozi a zvýšení ochrany proti mechanickému poškozování se vruty povrchově upravují. [17]

Typickou povrchovou úpravou pro vruty, které nejsou vyrobeny z korozivzdorných materiálů je galvanické pokovení zinkem. Před začátkem pokovení je nutné vruty očistit od mastnoty, rzi a okují. Vruty jsou následně ponořeny do elektrolytu, který může být kyselý, alkalický nebo neutrální. Jsou zapojeny jako katody, pláty z čistého zinku fungují jako anody. Když se připojí zdroj stejnosměrného proudu, začne se zinek z anodových desek rozpouštět a putuje ke katodě. Vrstva zinku je stříbrolesklá, má jemnozrnnou strukturu a její obvyklé tloušťky jsou 3, 5, 8, 12 a 20 mikrometrů. [18] [17]

Takto pozinkované vruty se dále pasivují, konkrétně chromátují. Jde o další ochranu povrchu, při které jsou chemicky tvořeny různé sloučeniny chromu a zinku, případně dalších neželezných kovů. Vzniklou vrstvu tvoří složky trojmocného a šestimocného chromu. [18] Šestimocný chrom má největší schopnost chránit kovový povrch, ale při vdechnutí jeho velkého množství se výrazně zvyšuje riziko rakoviny plic. Z toho důvodu jeho používání v průmyslu ustupuje. [19] Díky trojmocnému chromu se zvyšuje tvrdost a pevnost vrstvy. Podle složení chromátovací lázně může být výsledná vrstva bezbarvá, žlutá nebo modrá. [18]

Uvádí se, že předměty galvanicky pokovené zinkem nejsou vhodné do venkovních prostor. [18] Výrobci a dodavatelé se u takto pozinkovaných vrutů chrání označením třídy použití 1, dle normy 1995-1-1.

Norma 1995-1-1 rozlišuje korozní odolnost materiálů na tři třídy. Třída 1 odolává korozi nejhůře, naopak třída 3 nejlépe. Každému vrutu musí být přiřazena určitá třída.

Minimální požadavky na ochranu materiálu proti korozi jednotlivých tříd jsou uvedeny v Tabulce 5. [20]

Tabulka 5: Minimální požadavky na ochranu materiálu [20]

Třídy	1	2	3
Vrut s d ≥ 4 mm	ŽÁDNÉ	Fe/Zn 12c*	Fe/Zn 25c
Vrut s d < 4 mm	ŽÁDNÉ	ŽÁDNÉ	Fe/Zn 25c

* Fe/Zn (podkladový kov/materiál povlaku),
12 (tloušťka povlaku [μm]), c (žlutý chromát)

2.4 Metody hodnocení vlastností vrutů

Zkoušky užitných vlastností lze v případě vrutu, stejně jako u jiných strojních součástí, rozdělit na hodnocení struktury (metalografická analýza), stanovení mechanických vlastností a hodnocení fyzikálních vlastností, konkrétně odolnosti vůči korozi.

2.4.1 Metalografie

Metalografie je věda zabývající se mikrostrukturou kovových materiálů, cílem optické metalografické zkoušky je tedy definovat mikrostrukturu určitého kovu nebo slitiny. [21] Postup přípravy vzorku pro následné pozorování na optických mikroskopech se dá rozdělit do několika bodů:

1. Odebírání vzorku

   Probíhá za účelem zajištění výstižného charakteru zkoumané struktury. Velikost vzorku je volena podle velikosti mikroskopu. Při odebírání materiálu nesmí dojít k tepelnému nebo mechanickému ovlivnění struktury. Proto se tvrdé materiály oddělují odlamováním, měkké potom řezáním či frézováním. Vždy je přiváděna chladící kapalina, aby nedocházelo k přehřátí materiálu. [21]

2. Preparace

   U valné většiny vzorků následuje preparace, a to zalisováním vzorků za tepla nebo zalitím za studena. Stejný výsledný tvar preparovaných vzorků je výhodný pro mechanizaci či automatizaci následných operací, jako je broušení nebo leštění.

   Zalisování za tepla se provádí v lisu, kdy je část vzorku určená k dalším úpravám položena na dno lisovací komůrky a zasypána pryskyřicí ve formě

prášku. Proces probíhá při 120-180 °C a při vysokém tlaku, obvykle 30 až 50 kN. Zalisování za tepla se volí jen v případě, že nedojde k ovlivnění struktury zkoumaného vzorku. Výhodou jsou velmi krátké časy zalisování.

Při zalití za studena je vzorek zalit do formy směsí pryskyřice a tvrdidla. Zalévací hmota se nechá ve formě vytvrdit, doba závisí na objemu hmoty a jejím složení, může se pohybovat od několika minut až po několik hodin. Výhodou je, že nemůže dojít k tepelnému ovlivnění vzorků. [21] [22] [23]

3. Broušení

Cílem broušení je úběrem materiálu minimalizovat nerovnosti na povrchu vzorku. Materiál je přitlačován definovanou silou na brusný papír, který je přichycen na brusku s vodorovným kotoučem. Při broušení se začíná s brusným papírem s největší drsností a postupně se přechází na jemnější. Při každé výměně papíru musí být vzorek opláchnut, aby nedošlo k poškození jemnějšího papíru hrubými částicemi přichycenými na vzorku, a vždy změníme směr broušení o 90 °. Brousíme tak dlouho, dokud nezmizí stopy po předchozím broušení. Aby nedocházelo k tepelnému ovlivňování vzorku, přivádí se ke vzorku proud tekoucí vody, který zároveň odplavuje nečistoty. [23]

4. Leštění

Při leštění jsou nerovnosti a vrcholy pouze deformovány, k úběru materiálu již nedochází. Provádí se mechanicky, elektrolyticky nebo chemicky. Mechanický postup leštění je obdobný postupu broušení. Používají se kotouče potáhnuté vhodnou tkaninou, na něž se nanášejí emulze, obvykle Al_2O_3, Cr_2O_3 nebo MgO.

Při elektrolytickém leštění dochází k vyhlazování povrchu díky působení roztoku a elektrického proudu na výbrus, který je zapojen jako anoda. Vyrovnání materiálu je způsobeno rozdílnou proudovou hustotou na výstupcích a v prohlubních. Výstupky mají proudovou hustotu větší, a tím pádem se rychleji rozpouštějí. Výsledky elektrolytického leštění jsou ovlivněny chemickým složením roztoku, materiálem i proudovými podmínkami.

Chemické leštění funguje obdobně jako to elektrolytické, s tím rozdílem, že roztokem neprochází proud. Materiál je vyrovnáván na základě chemických reakcí mezi materiálem a roztokem. [21] [22]

5. Leptání

   Při leptání dochází k vyvolání mikrostruktury materiálu, kterou dále lze pozorovat na mikroskopech. Leptání může být chemické nebo elektrolytické. Při chemickém leptání působí na výbrus roztok, díky němuž se vytvoří povrchový reliéf. Elektrolytické leptání probíhá obdobně jako elektrolytické leštění, liší se pouze hodnoty proudu a napětí. [22]

6. Pozorování a hodnocení vzorků

   Poslední fází je pozorování výbrusů pomocí mikroskopu a hodnocení jejich mikrostruktury. Pozorování se může zařadit i po leštění, v neleptaném stavu. Tím se zjišťuje především přítomnost nekovových částí v ocelích, hlavně oxidické vměstky. [21] [23]

   Pro běžné provozní analýzy (zvětšení max. 1000) se využívají světelné mikroskopy, pro podrobnější analýzy jsou vhodné řádkovací eventuálně transmisní mikroskopy. [22]

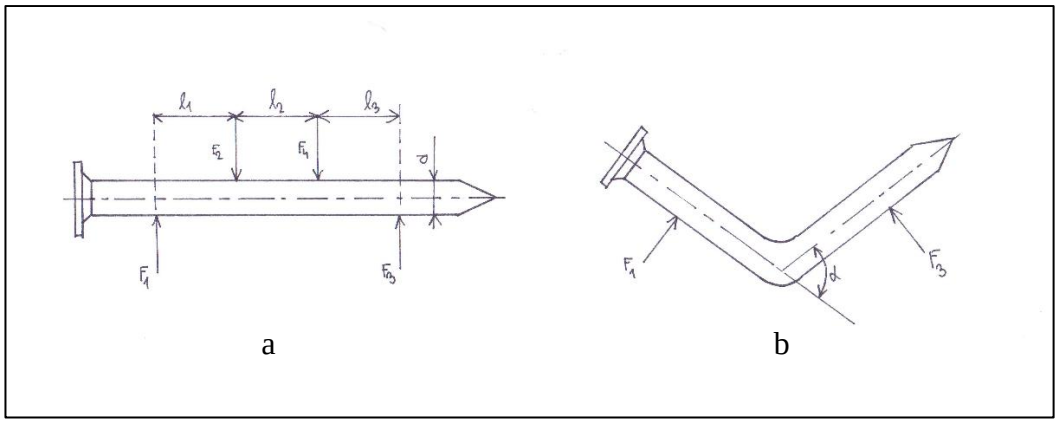
2.4.2 Mechanické zkoušky

Mechanické zkoušky se provádí za účelem zhodnocení chování materiálu při působení vnějších sil. Jednotlivé zkušební metody mají přesně definované podmínky, které jsou popsány v příslušných normách. Při dodržování těchto podmínek je možné výsledky zkoušek porovnávat. Mechanické zkoušky, kterým musí být podrobeny vruty jsou uvedeny v normě ČSN EN 14592 + A1.

- **Stanovení momentu na mezi kluzu**

Norma ČSN EN 409 udává, že pojmem moment na mezi kluzu M_y se rozumí ohybový moment při deformaci zkušebního tělesa předepsaným úhlem ohybu. Vrut je zatěžován na nejslabší ose dle Obrázku 5, na takovém zařízení, u kterého se síly *F2* a *F4* neliší o více jak 5 %. Rychlost zatěžování musí být taková, aby se předem definovaného úhlu ohybu α dosáhlo za 10 ± 5 s. Úhel ohybu se liší v závislosti na typu vrutu. Při zkoušce se zaznamenávají hodnoty zatížení a k nim odpovídající hodnoty úhlu ohybu, ze kterých se následně vypočítá M_y. [24]

- *F1,3* = maximální podporové reakce spojovacího prostředku kolíkového typu [N]
- *F2,4* = zkušební zatížení působící na kolíkový spojovací prostředek [N]
- l_1 *a* l_3 = vzdálenost podpor od zatěžujících sil; $l_1 = l_3 \geq 2d$ [mm]
- l_2 = vzájemná vzdálenost zatěžujících sil; $d < l_2 < 3d$ [mm]



Obrázek 5: Spojovací materiál a) před zatížením b) po zatížení, Foto autor

Moment na mezi kluzu musí výrobce pro jednotlivé vruty specifikovat v prohlášení o vlastnostech. Například dodavatel Vrabec a Vrabec uvádí hodnoty charakteristického momentu kluzu pro vruty jednoho materiálu v rozmezí 1095-6186 Nmm, s tím že nižší hodnota je pro průměr vrutu 3 mm, větší je pro 6 mm. [25]

- **Únosnost na vytažení**

Při této zkoušce je vrut zavrtán do dřeva, které má předem definované parametry a je připraveno v souladu s postupem dle EN ISO 8970:2010. Vrut je následně ze dřeva vytahován silou, která působí ve směru osy spojovacího prostředku. Při zkoušce je důležitá stálá rychlost zatěžování taková, aby doba dosažení maximální síly F_{max} byla 60 ± 15 s. Výsledkem zkoušky je charakteristický parametr vytažení f_{ax}. Je to parametr, který vyjadřuje odolnost dřevěného zkušebního tělesa proti vytažení spojovacího prostředku na dřevo. Vypočítá se pomocí vztahu:

$$f_{ax} = \frac{F_{max}}{l_d \cdot d}, \tag{1}$$

kde l_d [mm] je účinná hloubka průniku profilované části vrutu a d je jmenovitý průměr vrutu. [26]

Stejně jako charakteristický moment na mezi kluzu musí být součástí prohlášení o vlastnostech i charakteristický parametr vytažení. Dodavatel Vrabec a Vrabec uvádí hodnoty mezi 7,75 a 11,71 N/mm^2 pro vruty s průměry od 3 do 6 mm. [25]

- **Parametr protažení hlavy**

Jde o zkoušku, při které je vrut zavrtán do dřevěného kvádru s předem definovanými rozměry a následně vložen do stroje s přípravkem. Díky přípravku je zajištěno působení síly na protažení hlavy ve směru osy vrutu. Norma ČSN EN 1383 uvádí, že rychlost posuvu musí být taková, aby bylo maximální síly F_{max} dosaženo za 300 ± 120 s. Charakteristický parametr protažení hlavy f_{head} se určí ze vzorce:

$$f_{head} = \frac{F_{max}}{d_h^2}, \tag{2}$$

kde d_h odpovídá průměru hlavy vrutu před zkouškou v milimetrech. [27]

- **Únosnost v tahu**

Zkouška únosnosti v tahu, též únosnosti na odtržení či tahová únosnost dříku je zkouška obdobná zkoušce protažení hlavy s tím rozdílem, že je místo dřevěného kvádru použita ocelová deska s předvrtaným otvorem, jehož velikost nesmí být větší než největší průměr vrutu. Ta musí mít dle normy ČSN EN 14592 + A1 takovou tloušťku, aby k porušení vrutu došlo odtržením hlavy. K porušení musí dojít během 10 ± 5 s. [1]

- **Zkouška krutem**

Cílem zkoušky je zjištění pevnosti vrutu při namáhání krutem. Výsledkem zkoušky je bezrozměrný parametr zvaný charakteristický torzní poměr, také zaznamenávaný v prohlášení o vlastnostech. Jde o poměr charakteristické pevnosti vrutu v kroucení f_{tor} a torzní únosnosti při zašroubování vrutů do dřeva R_{tor}. [1]

Při zkoušce charakteristické pevnosti vrutu v kroucení je vrut upevněn do přípravku s vnitřním závitem nebo do jiného zkušebního tělesa, aniž by byla poškozena jeho

samovrtná část. Po upnutí musí být vždy alespoň 2 rozteče závitu v upevňovacím přípravku a zároveň musí alespoň 2 rozteče vyčnívat nad přípravek. Na vrut se poté působí kroutícím momentem (např. pomocí momentového klíče) až do jeho porušení. Kroutící moment je zaznamenáván pomocí senzorů po celou dobu zkoušení. [28]

Praktické provedení zkoušky torzní únosnosti při zašroubování vrutů do dřeva vypadá tak, že se do bloku dřeva zašroubovává vrut a snímá se torzní moment, který při zavrtávání vzniká. Výsledkem zkoušky je pak nejvyšší naměřený moment zjištěný během zavrtávání a hloubka, v jaké byl naměřen. [29] [30]

U vrutů pro dřevěné konstrukce musí být zachován poměr $f_{tor}/R_{tor} \geq 1{,}5$. [1] Například vruty od firmy Vrabec a Vrabec s průměry 3-6 mm nabývají hodnot torzního poměru mezi 10,51 a 2,99. Nejvyšší hodnota torzního poměru náleží nejmenšímu průměru vrutů. [25]

2.4.3 Fyzikální zkoušky

Korozní zkoušky

Korozní zkoušky jsou prováděny pro ověření schopnosti materiálu odolávat korozi. Jsou prováděny v komoře obsahující činitele zesilující korozi kovů a slitin. Po proběhnutí zkoušky se vyhodnocuje vzhled a změny povrchových úprav a odolnost nátěrů, vždy se pořizuje fotodokumentace. [31]

Dle normy ČSN EN ISO 9227 lze zkoušky rozdělit na tyto:

- Zkouška neutrální solnou mlhou (NSS)

  Jedná se o nejtypičtější zkoušku solnou mlhou, při které jsou vzorky vystaveny mlze 5% roztoku chloridu sodného. Prostředí má definované pH 6,5-7,2 při teplotě 25 ± 2 °C. [32]
- Zkouška okyselenou solnou mlhou (AASS)

  Při této zkoušce je 5% roztok chloridu sodného okyselen přidáním ledové kyseliny octové. [32]
- Zkouška okyselenou solnou mlhou s chloridem měďnatým (CASS)

  Tato zkouška je obdobná zkoušce okyselenou solnou mlhou, navíc je do ní přidán chlorid měďnatý. [32]

Pro výsledky korozních zkoušek bohužel neexistuje převodní mechanismus do reálného prostředí, proto si často výrobci či dodavatelé dělají korozní zkoušku v reálném prostředí sami. Jednoduše zavrtají vrut do modelové konstrukce a nechají na něj působit vnější vlivy. Informace o chování materiálu průběžně zaznamenávají a vyhodnocují. [19]

3 Analýza současného stavu

Agrotrans spol. s.r.o. je firma, která se zaměřuje především na nabídku sortimentu potřeb pro pastevní odchov zvířat a výstavbu pastevního a chovatelského oplocení. Předložená práce se zabývá spojovacími materiály pro ohrady montované firmou Agrotrans. [33]

3.1 Používané vruty

Firma používá vruty KT-Torpedo (Obrázek 6) dovážené firmou Vrabec a Vrabec, vyráběné společností Kwantex research inc. na Taiwanu. Jedná se o 40 mm dlouhý stavební vrut s průměrem 4 mm. Vrut má částečný závit dlouhý 24 mm a je zakončen zápustnou hlavu s drážkou torx. Vrut je vyroben z oceli s galvanickým pokovením žlutým zinkem. Vlastnosti vrutu viz Tabulka 6. [34]

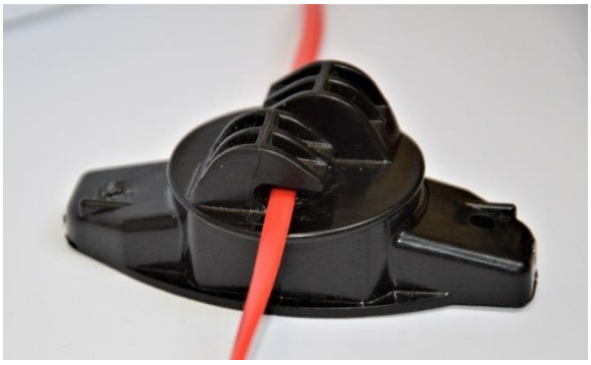
Tabulka 6: Mechanické vlastnosti vrutu [25]

VÝROBEK	Charakteristický moment kluzu $M_{y,k}$ [Nmm]	Charakteristický parametr vytažení hlavy $f_{ax,k}$ [N/mm²]	Charakteristický parametr protažení hlavy $f_{head,k}$ [N/mm²]	Charakteristická únosnost v tahu $f_{tens,k}$ [kN]	Charakteristický torzní poměr
vrtu KT – Torpedo ∅ 4 mm	2766	7,03	28,27	5,93	4,79

Obrázek 6: Vrut KT – Torpedo, Foto autor

3.2 Konstrukce ohrad

Styčnými body ohrad jsou kůly z akátového dřeva. Akátové dřevo je jedním z nejtvrdších a nejtěžších dřev u nás. [35] Při vysychání se hodně stáhne a vrut zavrtaný do akátového dřeva není po vyschnutí již možné dostat ven, aniž by kůl zůstal neporušený. [34] Autorka práce tedy nemá k dispozici porušené části vrutů. Na kůly se pomocí aku vrtačky Nurex ASV 18-2 A přivrtávají černé izolátory (Obrázek 7). Na vrtačce se dají nastavit momenty 1-20, přičemž nejvyšší moment odpovídá kroutícímu momentu 60 Nm. [36] Při stavbě ohrad je používán moment 4. Při použití menšího momentu nedojde k dotažení vrutu, naopak při použití momentu většího docházelo k deformacím izolátorů. [34] Není tedy možné jiný moment použít.



Obrázek 7: Černý izolátor s ilustračním protažením drátu, Foto autor

Jelikož má dosedací plocha izolátoru sklon vůči povrchu dřeva, do kterého je vrut zavrtáván, vzniká ve vrutech již při montáži nežádoucí pnutí. Důvodem tohoto nevhodného technického řešení je fakt, že byly izolátory navrhovány pro skoby. Celý stavební systém na ohrady má svůj původ na Novém Zélandu, kde je pro kůly využíváno smrkové dřevo. To je relativně měkké, a proto je možné pro stavbu ohrad využít jako spojovací materiál skoby. V České republice je kvůli klimatickým podmínkám nemožné smrkové dřevo použít, a tak je nahrazováno akátem. Akátové dřevo je oproti smrkovému dřevu velmi tvrdé, a kvůli tomu není prakticky možné skoby do dřeva dostat. Proto byly skoby v našich podmínkách nahrazeny vruty, pro které ale šikmá plocha izolátoru není vhodná. Použít jiný typ izolátoru není možné, jelikož se systémy pro stavbu ohrad nakupují jako celek a jen díky tomu je možné používat zdroje s vyšším napětím, než které je jinak České republice povoleno. To by v případě neuceleného systému nebylo možné. [34]

Pomocí izolátorů jsou vedeny vysokopevnostní dráty (Obrázek 7). Spojování drátů probíhá přes pružinu na tlak (Obrázek 8), která je natažena na každých 100-300 metrech. Posledním důležitým prvkem je utahovací kolečko, které slouží k dotahování drátů a vždy se aplikuje na neporušené části drátu (Obrázek 9).

Obrázek 9: Pružina na tlak, Foto autor

Obrázek 8: Utahovací kolečko, Foto autor

3.3 Degradace a lom vrutů

Během zimy 2018/19 došlo dle sdělení pracovníků firmy Agrotrans spol. s.r.o. k popraskání velkého množství vrutů použitých na konstrukci ohrad. Takový problém zaznamenala firma poprvé za dobu své existence a rozhodla se jej řešit.

Vruty popraskaly v přechodu ze dřeva do izolátoru. K praskání docházelo pouze v místech se stoupáním či klesáním drátu (Obrázek 10), nikoli v místech, kde byl drát natažen ve vodorovné poloze. Vzhledem k různorodosti terénu, kde se ohrady montují, není možné evidovat procento kůlů, na kterých je drát natažen se stoupáním, či klesáním. Není tedy možné zjistit počet vrutů, u kterých by k prasknutí mohlo teoreticky dojít.

Obrázek 10: Drát protažený se stoupáním,
Foto autor

Na základě informací z dostupné literatury a konzultace se zaměstnancem firmy HAŠPL a.s. lze předpokládat, že na výrazném nárustů poškozených vrutů má vliv jeden nebo více z následujících faktorů:

- Stav dřeva pro výrobu kůlů, nedostatečně vyschlé dřevo může způsobovat nežádoucí chemickou reakci, které v konečném důsledku může působit jako korozní prostředí. [19]
- Materiál vrutu neodpovídající prohlášení o vlastnostech.
- Nevyhovující galvanické pokovení žlutým zinkem. Pokud povlak není dobře nanesen, může dojít k nežádoucí degradaci korozí.
- Složitý stav napjatosti v případě vrutu na části ohrady s větším převýšením.
- Odlišné klimatické podmínky ve srovnání s předchozími lety.

Zhodnocení lomových ploch popraskaných vrutů znemožňuje skutečnost, že oddělené hlavičky degradovaných vrutů není možné v horském terénu dohledat a zavrtanou část vrutu není možné z kůlu dostat, aniž by byl kůl poškozen. Vzhledem k finanční náročnosti není možné kůl rozbíjet pro získání degradované části vrutu.

3.4 Ekonomické hledisko

V průběhu sezóny se namontuje oko 150 tisíc vrutů. V zimním období 2018/19 jich bylo porušeno asi 1100. Je však třeba upozornit, že negativní ekonomický dopad těchto porušených vrutů je mnohem větší. V mnoha případech je nutné vyměnit také izolátor. V případě, že se uvolní drát, který je pod proudem a dotkne se jiného drátu, dojde ke zkratu a pak je nutné vyměnit a zaplatit i zdroj, jehož cena se pohybuje v řádech jednotek tisíc korun. Dále je třeba připočítat náklady na mzdy a dopravu montérů.

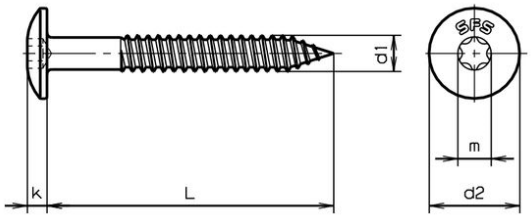
3.5 Návrh řešení problému

Při návrhu řešení problému vycházela autorka z počátečního řešení firmy, která jako první nakoupila vruty od jiného dodavatele, konkrétně jde o vruty od firmy Štefan a Černý Vrchlabí, s.r.o. Od tohoto vrutu bohužel nemá autorka prohlášení o vlastnostech, ani název výrobce, proto nejsou k dispozici mechanické vlastnosti vrutu. Jde opět o konstrukční vrut do dřeva se zápustnou hlavou a částečným závitem o délce 24 mm. Celková délka vrutu 40 mm, průměr 4 mm.

Na základě analýzy, viz kapitola 3, autorka vybrala vruty stejných parametrů s, pokud možno, lepšími mechanickými vlastnostmi. Tyto vlastnosti by se daly vyčíst z prohlášení o vlastnostech, bohužel 60 % dodavatelů tato prohlášení nezveřejňuje na internetu, ani je neposkytla na základě emailového dotazu. Proto došlo k vybírání na základě hodnocení zákazníků. Některá prohlášení o vlastnostech dodavatelé vrutů poskytli až později.

Autorka vybrala dva typy vrutů na e-shopu obchodprodilnu.cz. První typ vrutu je vrut konstrukční od firmy Klimas, pro porovnání byl k tomuto vrutu vybrán vrut univerzální, stejného tvaru i rozměrů. Podle zjištěných informací od zaměstnance firmy HAŠPL a.s. by měl vrut konstrukční vykazovat lepší vlastnosti než vrut univerzální. [19] Také od tohoto dodavatele byl pro experimentální část vybrán jeden konstrukční vrut.

Na základě spolupráce s firmou SFS intec s.r.o. byl do práce zařazen i jeden typ jejich spojovacího materiálu, jedná se o závitořezný šroub (vrut) do dřeva, dlouhý 38 mm o průměru 4,8 mm, s rámovou hlavou (Obrázek 11) z korozivzdorné oceli A2.



Obrázek 11: Závitořezný šroub do dřeva
s rámovou hlavou SFS [50]

Jelikož jde o vrut jiného konstrukčního provedení, vybrala ještě autorka vrut, který je ze stejného materiálu (A2), ale konstrukčně i rozměrově odpovídá předchozím typům, aby bylo možné posoudit vliv konstrukce a materiálu na výsledné hodnoty zkoušek.

Vruty z korozivzdorných ocelí jsou podstatně dražší než pozinkované vruty z uhlíkové oceli, jejich vlastnosti by ovšem měly být výrazně lepší. [19]

Pro zhodnocení vlastností vrutů autorka navrhuje porovnávat mechanické vlastnosti z prohlášení o vlastnostech (Tabulka 7) a ceny vrutů (Tabulka 8) s charakteristikami získanými v rámci experimentální části. Pro hodnocení a následný výběr je v experimentální části použita metalografická analýza, měření tvrdosti, prostá zkouška tahem vrutů, dále prostá zkouška krutem, strhávací zkouška a zkouška montáže.

Tabulka 7: Mechanické vlastnosti vrutů [25] [37] [38] [39] [40]

VÝROBCE/ DODAVATEL	Charakteristický moment kluzu $M_{y,k}$ [Nmm]	Charakteristický parametr vytažení hlavy $f_{ax,k}$ [N/mm2]	Charakteristický parametr protažení hlavy $f_{head,k}$ [N/mm2]	Charakteristická únosnost v tahu $f_{tens,k}$ [kN]	Charakteristický torzní poměr
VRABEC A VRABEC	2766	7,03	28,27	5,93	4,79
ŠTEFAN	NENÍ K DISPOZICI				
HAŠPL	4090	19,3	23,33	6,32	1,89
KLIMAS	5162	22,26	25,56	5,65	2,18
VALENTA	3860	21,86	17,3	6	2,19
SCHÄFER + PETERS	NENÍ K DISPOZICI				
SFS	5270	19,9	NENÍ K DISPOZICI	7,13	NENÍ K DISPOZICI

Tabulka 8: Charakteristické vlastnosti vrutů

VÝROBCE/ DODAVATEL	Materiál	Povrchová úprava	Typ	Třída použití dle EN 1995-1-1	Cena [kč/kus]	Zdroje
VRABEC A VRABEC	C1022	žlutý zinek	stavební	1	0,25	[25] [34]
ŠTEFAN	uhlíková ocel	žlutý zinek	NENÍ K DISPOZICI		0,23	[34]
HAŠPL	C1021	FeZn13	konstrukční	1 a 2	0,26	[38] [41]
KLIMAS	uhlíková ocel	žlutý zinek	konstrukční	1 a 2	0,56	[39] [42]
VALENTA	uhlíková ocel	žlutý zinkochromát	univerzální	1	0,24	[37] [43]
SCHÄFER + PETERS	nerez A2	žádná	konstrukční	NENÍ K DISPOZICI	1,09	[44]
SFS	nerez A2	žádná	stavební závitořezný šroub	NENÍ K DISPOZICI	3,76	[45] [46]

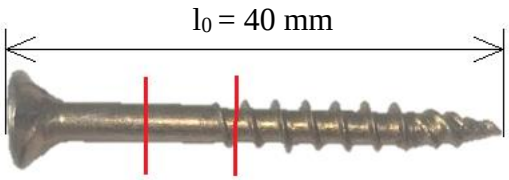
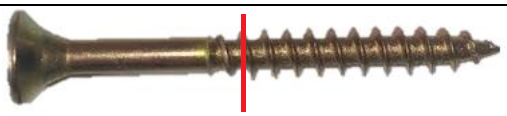
4 Experimentální část

V experimentální části jsou zjišťovány vlastnosti vrutů dříve i nyní používaných firmou Agrotrans a dále vrutů, které byly autorkou vybrány jako možná vhodnější alternativa. Zkoušky jsou prováděny za účelem porovnání struktury, pevnostních charakteristiky, tvrdostí a momentových charakteristik vybraných vrutů.

4.1 Zkušební tělesa

Pro experiment bylo použito sedm vrutů (Tabulka 9) od různých výrobců a dodavatelů, které jsou popsány v kapitole 3.5.

Tabulka 9: Zkušební tělesa

VÝROBCE/DODAVATEL	Vrut
VRABEC A VRABEC	
ŠTEFAN	
HAŠPL	
KLIMAS	
VALENTA	
SCHÄFER + PETERS	
SFS	

4.2 Strukturní analýza

Autorka provedla metalografickou analýzu podle postupu popsaného v kapitole 2.4.1.

Vruty byly na pile nařezány a následně zalisovány tak, aby bylo možné na jednom vzorku sledovat jak příčný, tak podélný řez jednoho typu vrutu. Příčný řez byl proveden přibližně v místě, kde docházelo k degradaci vrutů na zemědělských ohradách viz kapitola 3.3, příklad vyznačení tohoto místa je na Obrázku 12.

Vruty byly fixovány do bakelitu, následně broušeny na brusných papírech o zrnitosti p80-p1000. Obrázek 13 dokumentuje příklad připraveného metalografického vzorku. Vybroušené vzorky byly leštěny pomocí diamantové suspenze a doleštěny na koloidním oxidu křemičitém. V nenaleptaném stavu byla pomocí světelné mikroskopie hodnocena čistota sledovaných materiálů. Dále byly vzorky naleptány. Uhlíkové oceli byly leptány směsí kyseliny dusičné s ethanolem v poměru 2:98. Nerezové vruty pak elektrolyticky 10% kyselinou šťavelovou pod napětím 4 volty po dobu 10 vteřin. Struktura byla opět hodnocena na světelném mikroskopu NEOPHOT 32.

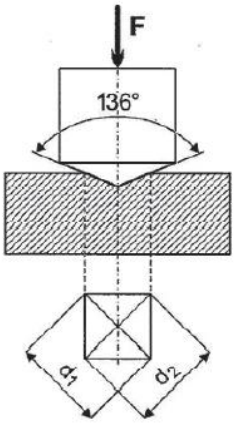
Obrázek 12: Znázornění řezu – vrut KLIMAS

Obrázek 13: Metalografický výbrus – vrut KLIMAS v příčném a podélném řezu

4.3 Zkouška tvrdosti

Tvrdost se řadí mezi odvozené mechanické vlastnosti materiálů a je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Zkoušky tvrdosti lze dělit podle několika kritérií. Podle principu se zkoušky dělí na vrypové, vnikací, odrazové a kyvadlové. Podle působící síly jsou zkoušky statické a dynamické a podle velikosti zatěžující síly zkoušky makrotvrdosti, mikrotvrdosti a nanotvrdosti. Nejčastěji používané jsou zkoušky vnikací a to podle Brinella, Rockwella nebo Vickerse. [47] Následuje popis zkoušky tvrdosti dle Vickerse, která byla použita v rámci experimentální části.

Zkouška tvrdosti dle Vickerse je založena na vnikání diamantového pravidelného čtyřbokého jehlanu s vrcholovým úhlem 136° do testovaného materiálu. Indentor je vtlačován vždy ve směru kolmém k povrchu testovaného materiálu (Obrázek 14).



Obrázek 14: Schéma zkoušky tvrdosti dle Vickerse [47]

Povrch zkoušeného materiálu by měl být rovný a hladký, před zkouškou musí být očištěn a odmaštěn a při vtlačování nesmí docházet k otřesům ani vibracím. Na mikroskopu se následně měří délka obou úhlopříček vtisku. Výsledná tvrdost dle Vickerse se dopočítá podle následujícího vzorce:

$$HV = 0{,}1891 \cdot \frac{F}{d^2}, \tag{3}$$

kde F [N] je zkušební zatížení a d [mm] je průměr délek obou měřených úhlopříček. [47] [48]

Výsledky zkoušky tvrdosti dle Vickerse se podle normy ČSN EN ISO 6507-1 zapisují ve tvaru X HV A/B. X představuje číselnou hodnotu tvrdosti, za kterou následuje označení HV a dále číslo A, které označuje přibližnou hodnotu zkušebního zatížení v kilopondech. Pokud měření probíhá v jiném časovém rozmezí než 10-15 sekund, následuje za hodnotou zatížení lomítko s číslem B, udávající trvání v sekundách.

Měření tvrdosti vrutů probíhalo na automatickém tvrdoměru Struers DURAMIN- 40, byla použita zátěžná síla 1 kp a doba zátěže 10 sekund. Tvrdost se měřila na výbrusech příčných průřezů vrutů, které byly dříve použity pro metalografii, vždy od vrcholu závitu směrem do středu vrutu, vzdálenost středu vpichu byla 0,3 mm. Na každém vzorku byl vytvořeno 9 nebo 10 vtisků.

4.4 Prostá zkouška tahem

Zkouška tahem je nejčastěji používanou zkouškou pro stanovení mechanických vlastností materiálu, při které je těleso deformováno tahovým zatížením až do lomu. Zkouška probíhá na univerzálních strojích, které v průběhu zkoušky zaznamenávají závislost působící síly F na prodloužení měřeného tělesa Δl (pracovní diagram). Tato závislost se následně přepočítává na závislost smluvního napětí R na poměrném prodloužení ε, možné zapsat jako $R = f(\varepsilon)$. Výsledkem je smluvní tahový diagram. Smluvní napětí a poměrné prodloužení je určováno z následujících vzorců:

$$R = \frac{F}{S_0}\ [MPa], \tag{4}$$

kde F [N] je zátěžná síla a S_0 [mm^2] je obsah příčného průřezu tělesa před zatížením. [47] [49]

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}\ [-], \tag{5}$$

kde l [mm] je měřená délka zkušebního tělesa a l_0 [mm] odpovídá původní délce měřené před zatížením. [47] [49]

V závislosti na zkoušeném materiálu se může průběh smluvního diagramu, a tedy i pracovního diagramu lišit (Obrázek 15). „Měkké materiály“ obvykle vykazují tzv. výraznou mez kluzu. Mez kluzu je definována jako napětí, při kterém dochází k nárůstu deformace bez nárůstu napětí a jedná se o napětí odpovídající prvním výrazným plastickým deformacím (značí se R_e). „Tvrdé materiály“ nevykazují výraznou mez kluzu, vyhodnocuje se u nich tzv. smluvní mez kluzu. Ta se může vyhodnocovat různými způsoby, nejčastěji odpovídá napětí při dosažení hodnoty prodloužení 0,2 % plastické deformace a značí se $R_{p0,2}$. [47]

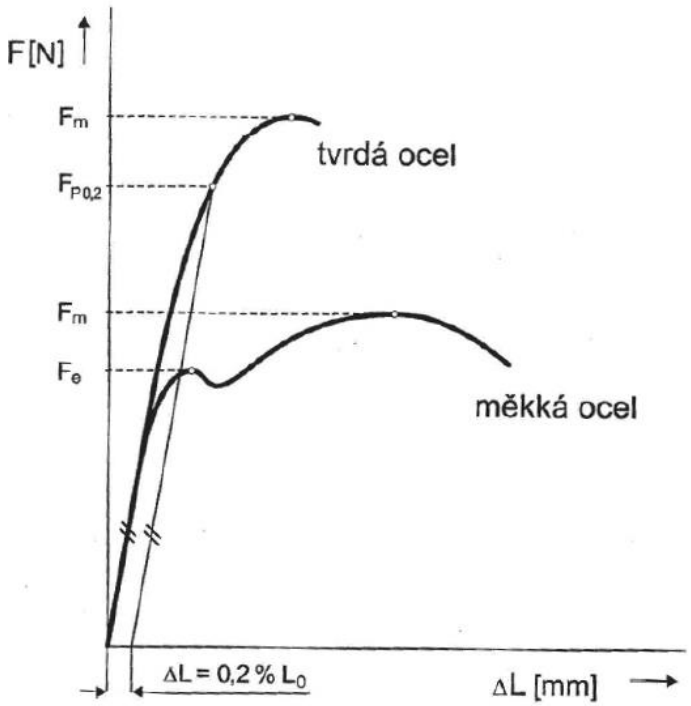
Pro výpočet se pak používají následující vzorce:

$$R_e = \frac{F_e}{S_0}\ [MPa], \tag{6}$$

kde F_e [N] je síla na mezi kluzu a S_0 [mm^2] je příčný průřez součásti před měřením. [47]

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0} \ [MPa], \tag{7}$$

kde $F_{p0,2}$ [N] je síla při dosažení relativního prodloužení 0,2 % a S_0 [mm^2] je příčný průřez součásti před měřením. [47]



Obrázek 15: Pracovní tahový diagram měkké a tvrdé oceli [47]

Další vyhodnocovanou pevnostní charakteristikou je mez pevnosti R_m, která odpovídá maximálnímu zatížení před přetržením tyče a počítá se podle následujícího vzorce:

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} \ [MPa], \tag{8}$$

kde F_{max} [N] odpovídá maximální síle zaznamenané při měření a S_0 [mm^2] je příčný průřez součásti před měřením. [47]

Z výsledků tahové zkoušky je možné hodnotit i deformační charakteristiky tažnost a kontrakci. Tažnost je trvalé prodloužení tělesa po přetržení tyče v procentech a určí se ze vztahu:

$$A = \frac{l_u - l_0}{l_0} \cdot 100\ [\%], \tag{9}$$

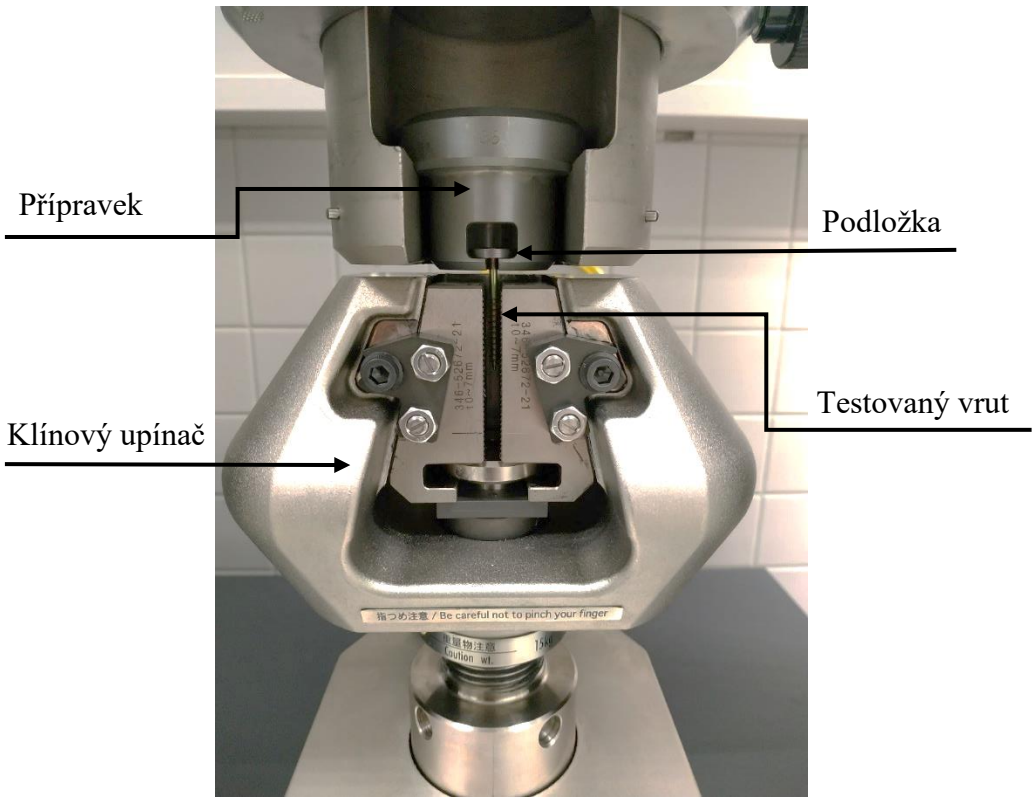
kde l_u [mm] je měřená délka tyče po přetržení a l_0 [mm] je původní délka měřená před zatížením. [47]

Kontrakce je charakteristika vyjádřená opět v procentech, která definuje největší změnu velikosti plochy příčného průřezu tyče po přetržení. Vypočítá se ze vzorce:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100\ [\%], \tag{10}$$

kde S_0 [mm^2] je obsah plochy příčného průřezu před měřením a S_u [mm^2] obsah plochy příčného průřezu měřený po přetržení tyče. [47]

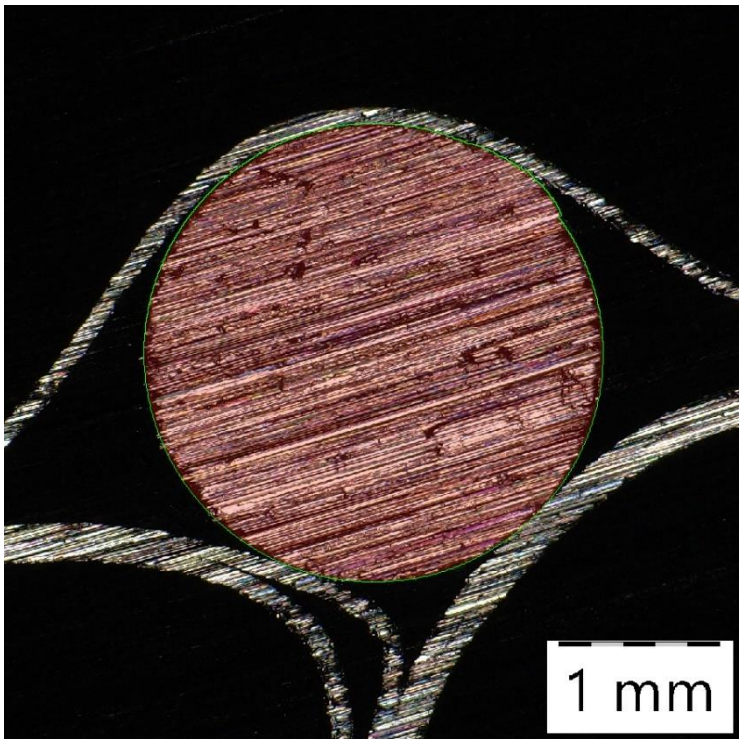
V rámci předložené bakalářské práce byla provedena zkouška tahem u vybraných vrutů v SFS intec s.r.o. Vruty hodnocené zkouškou tahem byly vloženy do speciálního přípravku a závitová část byla chycena pomocí klínového upínače trhacího stroje (Obrázek 16). Aby nedocházelo k protažení vrutu přípravkem, byla pod hlavu vrutu vložena podložka kopírující tvar zápustné hlavy. V rámci měření byla zaznamenávána zátěžná síla v závislosti na prodloužení (pracovní diagram).



Obrázek 16: Vrut s přípravkem v trhacím stoji

Bylo hodnoceno 7 typů vrutů viz Tabulka 9, od každého typu byla provedena zkouška u 5 vrutů. Pro měření byl použit zkušení stroj SHIMADZU AGS-X 100 kN, který vyhodnotil maximální zátěžnou sílu na zkoušených vrutech. U všech typů vrutů byla zjištěna oblast, kde došlo k přetržení. Oblasti jsou vyznačeny v Tabulce 9. U šesti vrutů se jednalo vždy o jednu oblast, u vrutu od dodavatele Vrabec a Vrabec docházelo k porušení ve dvou různých místech.

Plocha vrutů v místě porušení byla stanovena pomocí světelné mikroskopie a softwaru NIS ELEMENTS. Z takto zjištěné plochy a naměřené maximální síly byla stanovena pevnost, následně vypočtena průměrná hodnota a směrodatná odchylka. Dále byla zjišťována tažnost. Tažnost byla vypočtena z hodnot prodloužení odečtených z grafu a původních délek, vycházejících z použitého přípravku, které jsou vyznačeny v Tabulce 9.



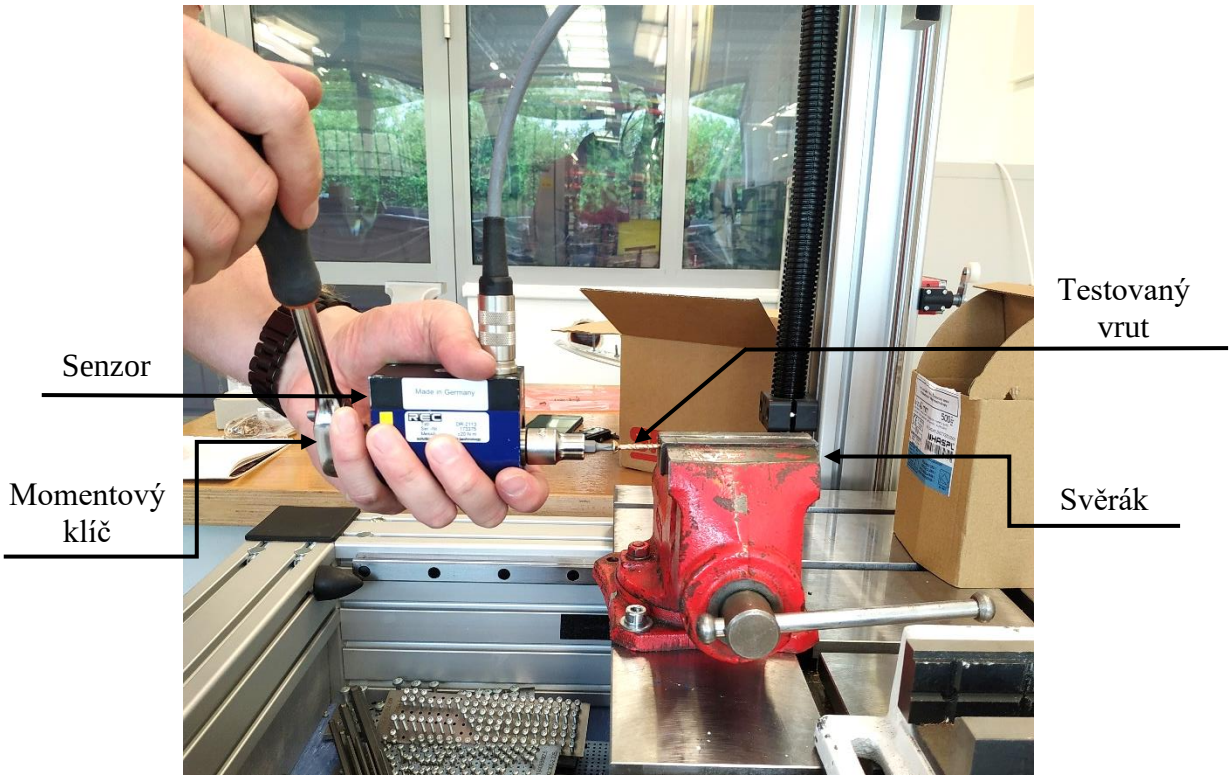
Obrázek 17: Plocha příčného řezu vrutu VRABEC
měřená v programu NIS ELEMENTS

4.5 Prostá zkouška krutem vrutu

Prostá zkouška krutem je téměř identická se zkouškou charakteristické pevnosti vrutu v kroucení popsané v kapitole 2.4.2.

Při této zkoušce je vrut upnut do svěráku a pomocí speciálního senzoru a momentového klíče (Obrázek 18) je na vrut působeno kroutícím momentem až do jeho porušení. Závislost momentu v kroucení na úhlu, o který je vrut otočen je přenášena a zaznamenávána pomocí senzoru do speciálního softwaru v počítači. Výsledkem je maximální naměřený moment v Nm.

Měření proběhlo v SFS intec s.r.o. Opět bylo testováno všech 7 typů vrutů, od každého typu 6 vzorků. Měření probíhalo na stroji FAS T 20 od výrobce REC Engineering. Stroj zaznamenával křivku závislosti momentu v kroucení na úhlu otočení vrutu a pomocí softwaru MESStec byl vyhodnocen maximální naměřený moment, následně byla vypočtena průměrná hodnota a směrodatná odchylka.

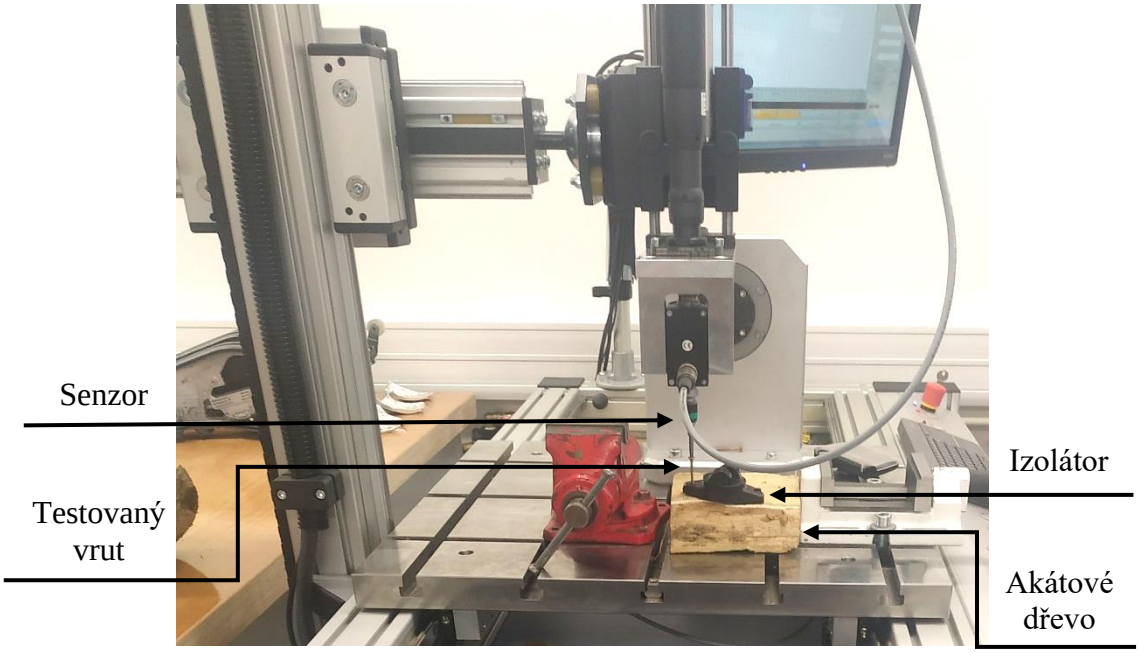


Obrázek 18: Schéma měření prosté zkoušky krutem vrutu

4.6 Strhávací zkouška a zkouška montáže

Strhávací zkouška má za cíl zjistit, kdy dochází k selhání montáže. Vyhodnocuje se, do kdy je vrut utahován a od kdy jsou montovaná tělesa (v tomto případě vrut a izolátor) vzájemně deformována.

Firma SFS používá vlastní zkoušku, která slouží k hodnocení kritického momentu při montáži, a to v kombinaci konkrétní vrut a materiál, do kterého je zavrtáván. Pro potřeby předložené BP byla zkouška modifikována, bylo použito akátové dřevo a izolátory viz Obrázek 19 a vybrané typy vrutu. Na stabilně upevněné akátové dřevo byl položen izolátor a sledované vruty byly zavrtávány. Při zavrtávání byl senzorem zaznamenáván moment v závislosti na úhlu otáčení vrutu. Zkouška byla ukončena ve chvíli, kdy došlo k destrukci izolátoru. Ze získaných závislostí je možno predikovat vhodný moment pro upevnění izolátoru do akátového dřeva.

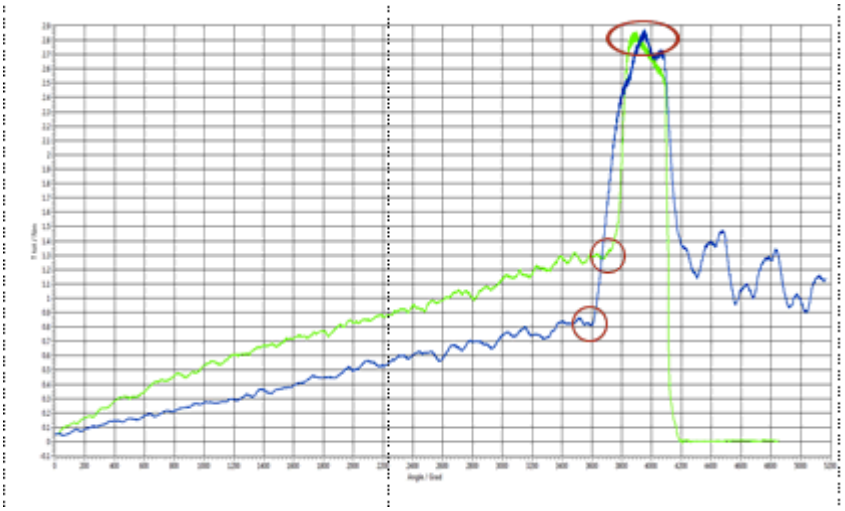


Obrázek 19: Schéma strhávací zkoušky

Zkoušení vrutů opět probíhalo na stroji FAS T 20. Od každého typu vrutu byly testovány 2 kusy. Výsledkem zkoušky je moment doporučený pro montáž.

Zkouška montáže probíhá stejně jako strhávací zkouška s tím rozdílem, že jsou na stroji předem nastaveny parametry pro zašroubování vrutu, které jsou zvoleny právě na základě strhávací zkoušky.

Na Obrázku 20 je příklad odečítání vhodných závitotvorných momentů ze strhávací zkoušky. Dva menší červené kroužky symbolizují odečítané vhodné momenty, které se volí v místě, kde začíná rapidní nárůst momentu. Tento nárůst nastává ve chvíli, kdy jsou již materiály (vrut a izolátor) pevně spojeny a stále dochází k dotahování. Prudký pokles momentu nastává v momentě, kdy dojde k porušení jednoho z materiálů, v tomto případě plastového izolátoru. Maximální moment (strhávací moment) je zvýrazněn červeným oválkem.



Obrázek 20: Příklad odečítání vhodného momentu ze strhávací zkoušky

Výsledkem zkoušky montáže je maximální moment a hodnocení, zda byla montáž provedena správě. Tedy, zda došlo k pevnému uchycení montovaných součástí, ale ne k jejich destrukci.

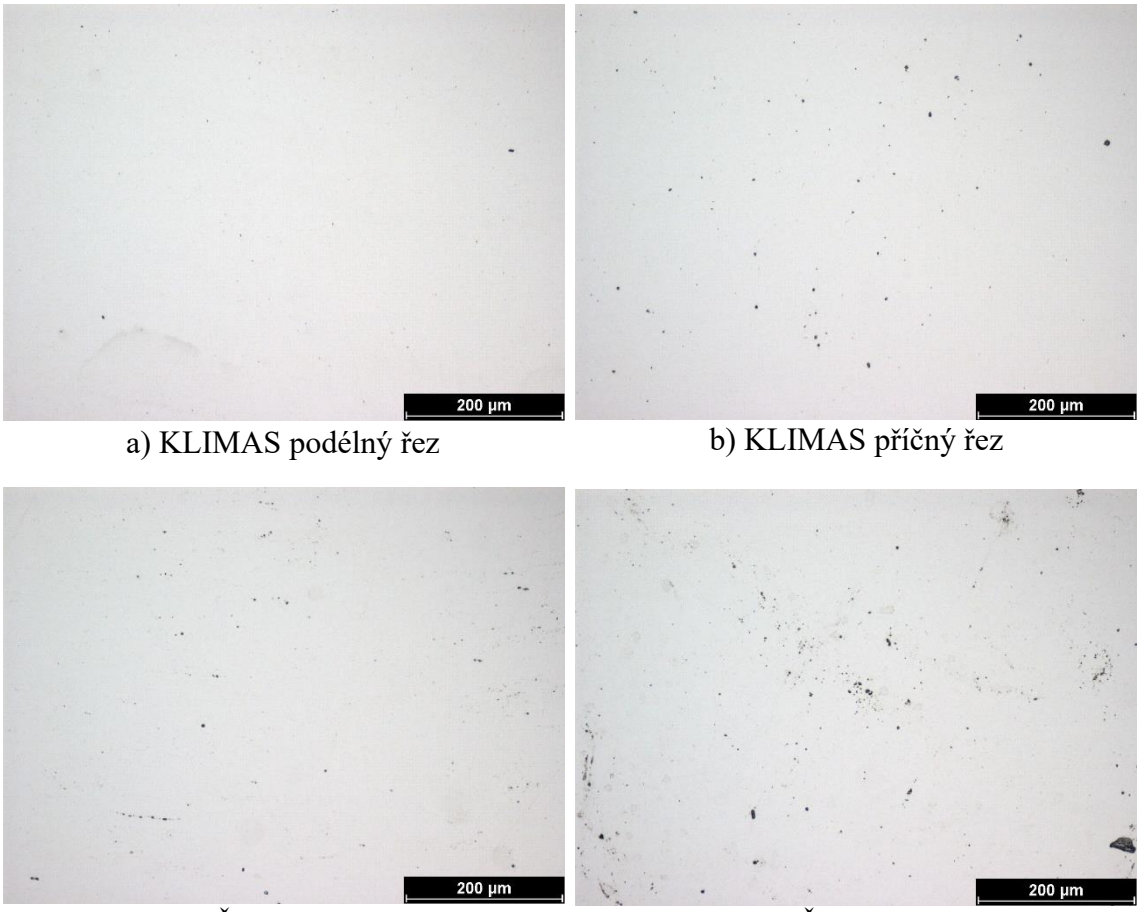
5 Výsledky a jejich diskuse

Jak již byl uvedeno, v práci je porovnáváno sedm vybraných vrutů. Dále jsou uvedeny a diskutovány výsledky zvlášť pro vruty z konstrukčních ocelí a korozivzdorné oceli. Je to dáno odlišností struktury, mechanických vlastností a v neposlední řadě i pořizovací cenou, která je u vrutů z korozivzdorné oceli řádově v korunách, na rozdíl od vrutů z konstrukčních ocelí, jejichž cena za kus se pohybuje v rámci desítek haléřů.

5.1 Vyhodnocení strukturní analýzy

Pozorování čistoty vrutů probíhalo pomocí světelné mikroskopie. Od každého vrutu byl pozorován jeden zástupce v příčném i podélném řezu.

U konstrukčních vrutů vykazoval nejvyšší stupeň čistoty vrut od dodavatele KLIMAS, a to v podélném řezu. V řezu příčném se čistota jeví o něco horší. Nejhůře na tom byl naopak vrut od dodavatele HAŠPL, i v tomto případě byla čistota horší v řezu příčném než podélném, dokládá to Obrázek 21. Čistota všech ostatních vrutů je mezi těmito dvěma druhy vrutů. Z dosažených výsledků je možné předpokládat, že čistota sledovaných vrutů je na obvyklé úrovni a nemá zásadní vliv na jejich mechanické vlastnosti.



a) KLIMAS podélný řez

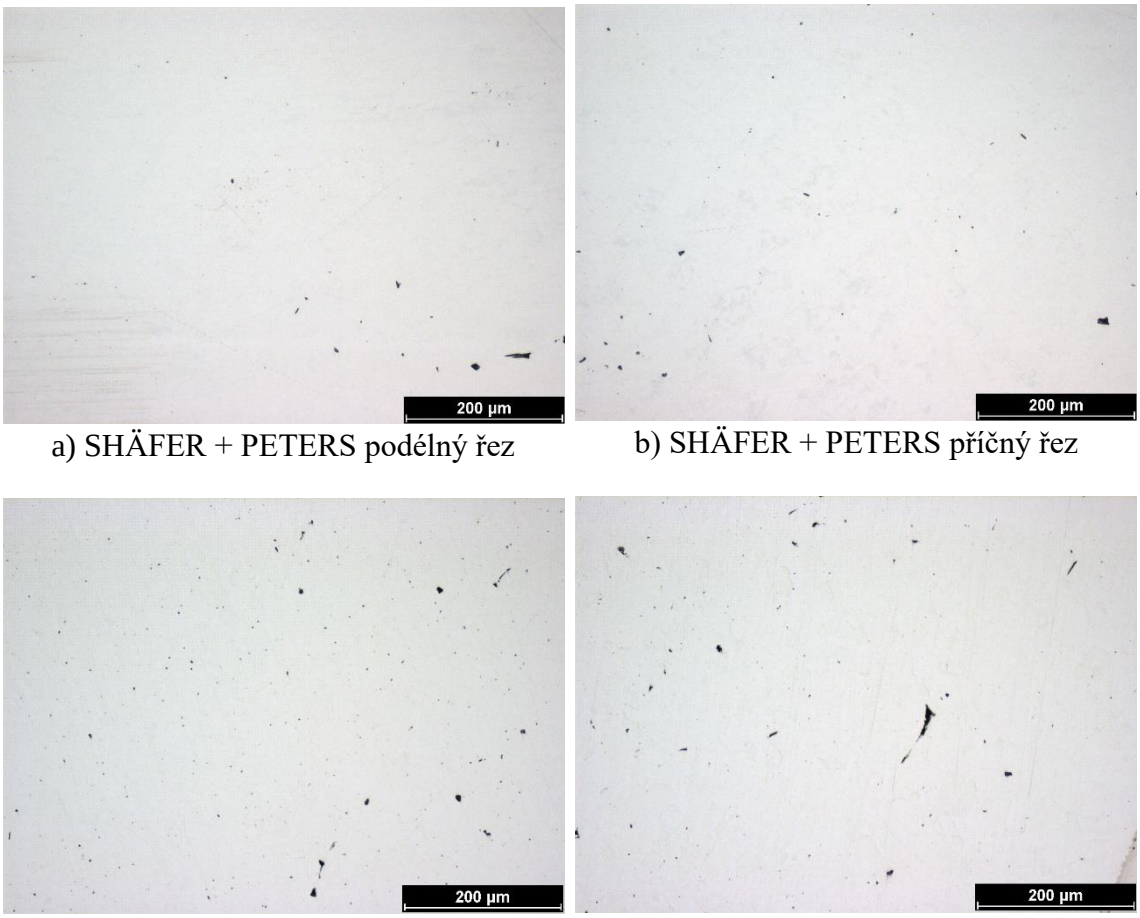
b) KLIMAS příčný řez

c) HAŠPL podélný řez

d) HAŠPL příčný řez

Obrázek 21: Porovnání čistoty vrutů z konstrukční oceli

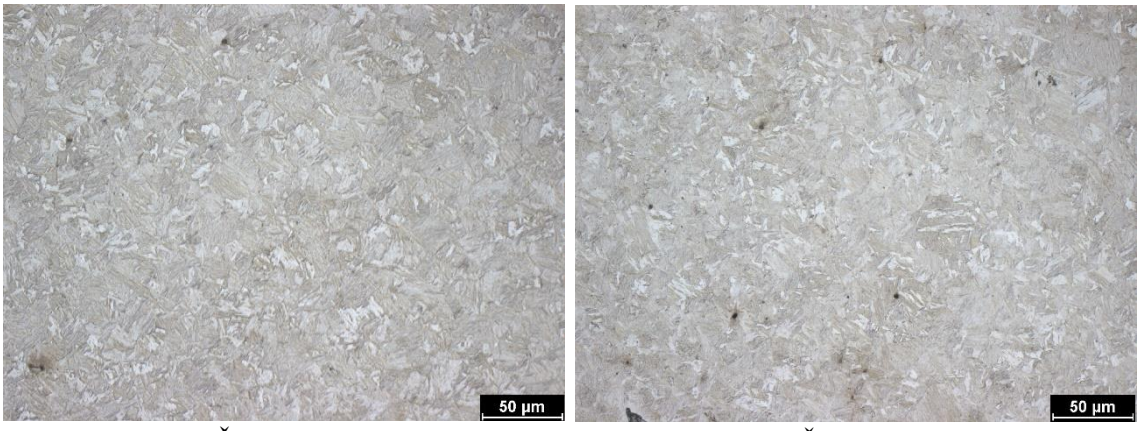
U korozivzdorných vrutů vykazoval vrut od dodavatele SCHÄFER + PETERS vyšší stupeň čistoty než vrut od výrobce SFS (Obrázek 22), zdá se, že u těchto vrutů je čistota srovnatelná v příčném a podélném řezu. Stejně jako v případě konstrukčních vrutů je možné předpokládat, že čistota sledovaných vrutů je na obvyklé úrovni a nemá zásadní vliv na jejich mechanické vlastnosti.



a) SHÄFER + PETERS podélný řez
b) SHÄFER + PETERS příčný řez
c) SFS podélný řez
d) SFS příčný řez

Obrázek 22: Porovnání čistoty vrutů z korozivzdorné oceli

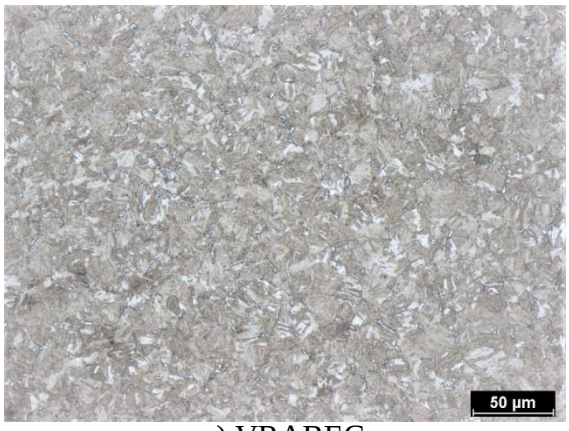
Struktura vrutů byla v naleptaném stavu hodnocena v příčném i podélném řezu. Ve všech případech nebyl prokázán vliv směrové orientace na strukturu. V podélném směru se struktura vždy jevila srovnatelně s příčným směrem. Tuto skutečnost dokládá příklad porovnání struktur příčného a podélného řezu u jednoho z testovaných vrutů na Obrázku 23. Dále uvedené a diskutované struktury jsou všechny v příčném řezu, v místě, které je popsáno v kapitole 4.2 viz Obrázek 12.



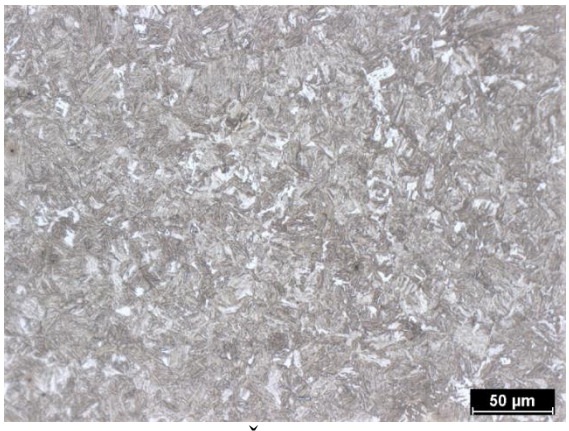
a) HAŠPL podélný řez b) HAŠPL příčný řez

Obrázek 23: Porovnání struktur podélného a příčného řezu vrutu HAŠPL

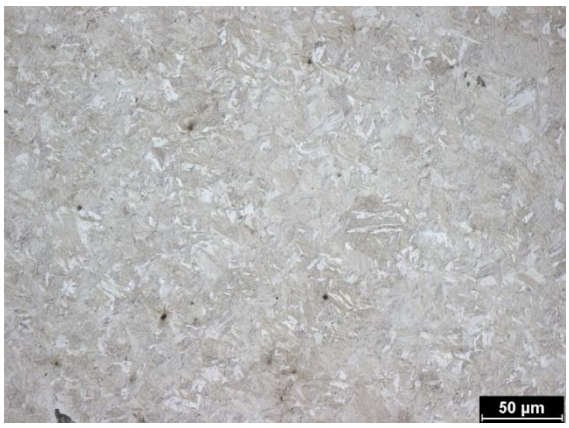
Porovnání struktury u vrutů z konstrukčních ocelí je na Obrázku 24. Je možné konstatovat, že struktura má ve všech případech velmi podobný charakter. Jedná se o feriticko-perlitickou strukturu, nicméně i při tomto zvětšení je patrné, že struktura na snímku 24 a) je nejjemnější a struktura na snímku 24 b) je nejhrubší a obsahuje největší podíl feritu. Lze předpokládat, že tato skutečnost bude souviset s dále zjištěním mechanickými vlastnostmi. Podrobnější metalografická analýza je nad rámec této bakalářské práce.



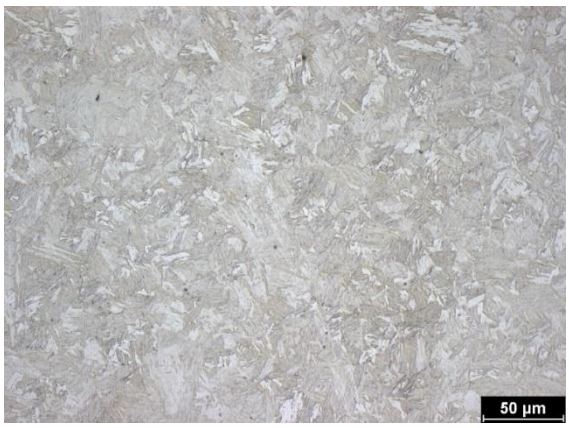
a) VRABEC



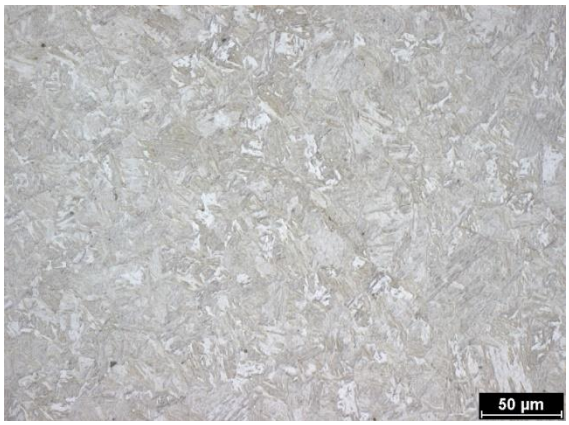
b) ŠTEFAN



c) HAŠPL

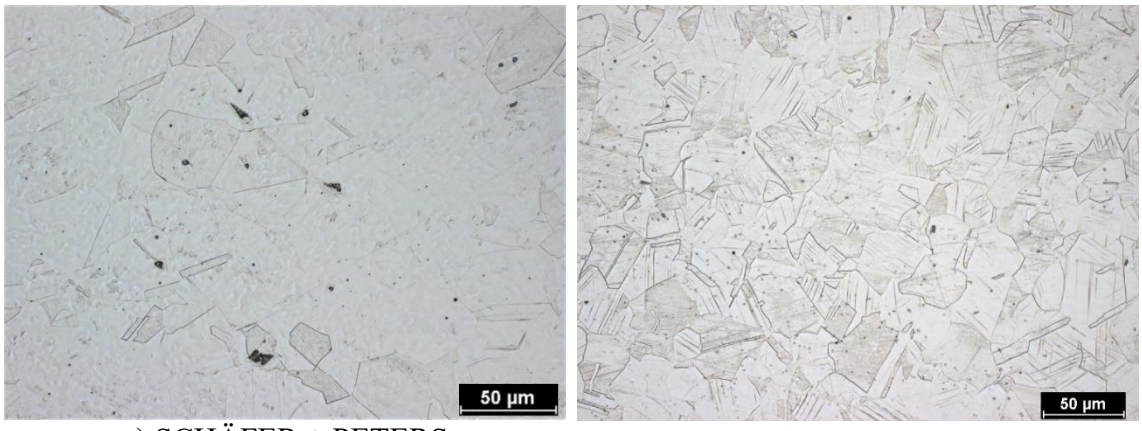


d) KLIMAS



e) VALENTA

Obrázek 24: Porovnání struktur vrutů z konstrukčních ocelí



a) SCHÄFER + PETERS b) SFS

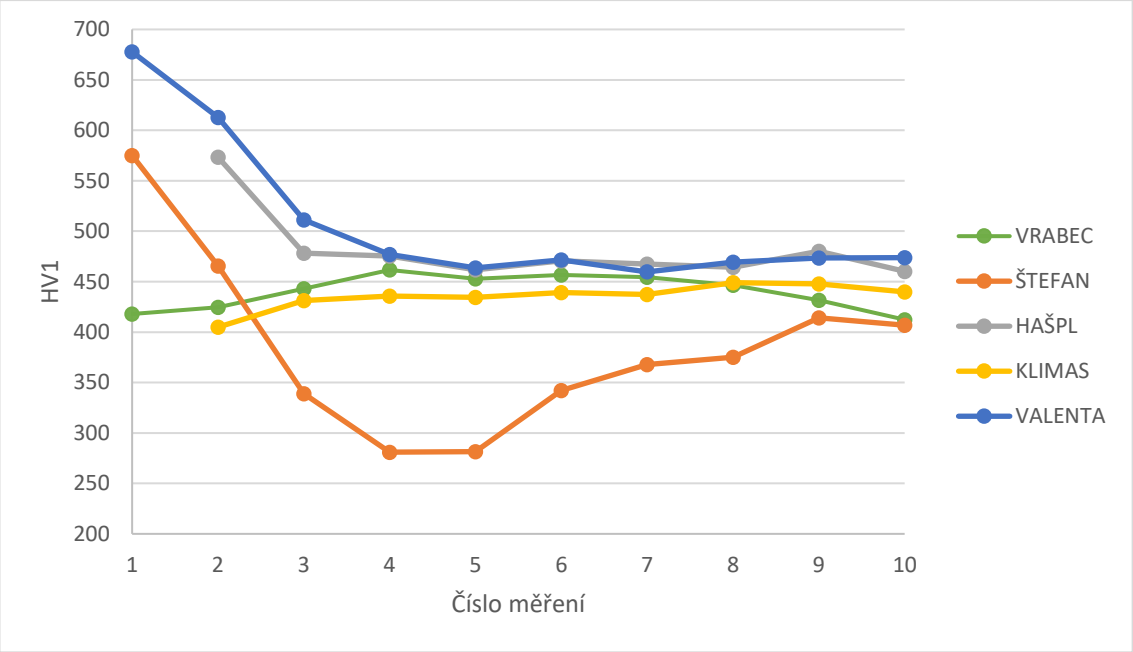
Obrázek 25: Porovnání struktur vrutů z korozivzdorných ocelí

Porovnání struktur vrutů z korozivzdorných ocelí je na Obrázku 25. V obou případech se jedná jednoznačně o austenitickou ocel, struktura je tvořená charakteristickými „hranatými“ zrny s výskytem dvojčat. Je patrné, že při použití stejného leptadla se strukturu 25 a) nepodařilo naleptat stejně intenzivně jako strukturu na Obrázku 25 b). Přesto je možné konstatovat, že struktura na Obrázku 25 b) je jemnější než struktura na Obrázku 25 a). Lze očekávat, že tato skutečnost bude mít vliv na zjištěné mechanické vlastnosti.

V dalších kapitolách jsou výsledky vlastností sledovaných vrutů, s tím, že hodnoty příslušející vrutů z korozivzdorné oceli jsou vždy v tabulce zvýrazněny pro přehlednost šedým podbarvením.

5.2 Vyhodnocení zkoušky tvrdosti

Výsledky měření tvrdosti v závislosti na vzdálenosti od vrcholu závitu směrem ke středu jsou uvedeny na Obrázcích 26 a 27.



Obrázek 26: Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti od vrcholu závitu vrutů z konstrukčních ocelí

Z Obrázku 26 je patrné, že vruty od dodavatelů VALENTA (modrá) a HAŠPL (šedivá) vykazují očekávaný průběh tvrdosti, při kterém je největší tvrdosti dosaženo na vrcholu zubu a dále se tvrdost směrem ke středu vrutu snižuje. Průběh i hodnoty jsou v tomto případě srovnatelné. Vyšší tvrdost na vrcholu závitu je důsledkem většího uplatnění zpevnění plastickou deformací.

Naopak u vrutu VRABEC (zelená) a KLIMAS (žlutá) se tvrdost od vrcholu závitu směrem ke středu výrazně nemění. I v tomto případě si odpovídají průběhy i hodnoty naměřených tvrdostí. Zdá se, že u těchto dvou vrutů bylo provedeno blíže nespecifikované tepelné zpracování, které by mohlo tento průběh závislosti ovlivnit.

Nicméně je třeba upozornit na skutečnost, že při sedmém měření, které odpovídá přibližně středu vrutu jsou tvrdosti vrutů VRABEC, HAŠPL, KLIMAS a VALENTA téměř stejné.

Překvapivý je průběh tvrdosti u vrutu ŠTEFAN. Zdá se, že v tomto případě je závislost ovlivněna silnou heterogenitou materiálu.

Obrázek 27: Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti od vrcholu závitu vrutů z korozivzdorných ocelí

Na Obrázku 27 jsou zaznamenány výsledky měření tvrdosti nerezových vrtů v závislosti na vzdálenosti od vrcholu vrutu. Grafy obou vrutů vykazují klesající tendenci tvrdosti od vrcholu závitu směrem ke středu. Mírně vyšších tvrdostí dosahuje vrut od dodavatele SCHÄFER + PETERS.

5.3 Vyhodnocení prosté zkoušky tahem

Prostá zkouška tahem vrutů byla provedena za účelem zjištění pevnosti vrutů. Zkouška byla vyhodnocena způsobem popsaným v kapitole 4.4, vzorce z této kapitoly byly použity pro výpočet hodnot meze pevnosti a tažnosti. Konečné výsledky udává Tabulka 10.

Tabulka 10: Výsledky tahové zkoušky

Výrobce/dodavatel	Výsledná hodnota R_m [MPa]	Výsledná hodnota A [%]
VRABEC	1295 ± 78	7,8 ± 1,1
ŠTEFAN	1001 ± 44	5,3 ± 0,3
HAŠPL	1067 ± 78	8,3 ± 0,6
KLIMAS	1240 ± 20	8,2 ± 0,7
VALENTA	1204 ± 84	5,6 ± 0,7
SCHÄFER + PETERS	534 ± 6	15,6 ± 0,3
SFS	655 ± 1	15,9 ± 0,3

Největší pevnost byla zaznamenána u vrutu od dodavatele VRABEC, naopak nejmenší pevnost prokázal vrut ŠTEFAN, což je v souladu se strukturami komentovanými v kapitole 5.1. Stejně tak pevnější z vrutů z nerezové oceli je vrut SFS, což souhlasí s hodnocením struktur.

Z hlediska porovnání výsledků měření zkoušky tvrdosti a zkoušky tahem je možno konstatovat, že nejvyšší dosažené pevnosti mají vruty VRABEC a KLIMAS, které vykazují stacionární průběh tvrdosti od vrcholu závitu směrem ke středu vrutu. Zajímavé je, že nejvyšší pevnosti dosáhl vrut VRABEC, ačkoli při zkoušce docházelo k lomu ve dvou místech viz Tabulka 9.

V souladu s tím, nejmenší pevnost má vrut ŠTEFAN, u kterého se průběh tvrdosti výrazně liší od ostatních vrutů.

Z hlediska směrodatné odchylky pevnosti je možno říci, že pevnost a průběh tvrdostí u vrutů HAŠPL a VALENTA jsou v souladu.

Zdá se, že u hodnot tažnosti nelze najít prokazatelnou souvislost s hodnotami pevnostních charakteristik. Tato skutečnost může být ovlivněna metodikou stanovení tažnosti, která se běžně u vrutů nevyhodnocuje.

Vruty z nerezových ocelí vykazují přibližně poloviční pevnost než konstrukční vruty a v souladu s tím dvojnásobnou tažnost. Je možno konstatovat, že směrodatná odchylka u pevnosti těchto vrutů je výrazně menší než u vrutů konstrukčních. Je možno vidět mírný rozpor mezi pevností a tvrdostí, je však třeba upozornit na skutečnost, že vruty se od sebe navzájem konstrukčně liší. Proto je nelze zcela porovnávat, hodnoty jsou pouze informativní.

5.4 Vyhodnocení prosté zkoušky krutem

Zkouška byla provedena postupem popsaným v kapitole 4.5, výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 11.

Tabulka 11: Výsledky prosté zkoušky krutem

Výrobce/dodavatel	Výsledná hodnota maximálního momentu v krutu Me [Nm]
VRABEC	3,67 ± 0,03
ŠTEFAN	3,17 ± 0,04
HAŠPL	3,73 ± 0,08
KLIMAS	3,68 ± 0,06
VALENTA	3,80 ± 0,05
SCHÄFER + PETERS	2,25 ± 0,02
SFS	6,06 ± 0,05

Z porovnání výsledků pro konstrukční vruty je možno konstatovat, že nejnižší moment byl zaznamenán u vrutu ŠTEFAN, což je v souladu s měřením tvrdosti i měřením pevnosti. Je možno konstatovat, že u vrutů VRABEC a KLIMAS bylo dosaženo stejné hodnoty Me, což odpovídá průběhům tvrdostí a zjištěným hodnotám nejvyšších pevností. Vruty HAŠPL a VALENTA také vykazují přibližně stejné hodnoty Me a v souladu jsou i jejich průběhy tvrdosti a zjištěné hodnoty pevnosti. Z výše uvedeného je patrné, že výsledky prosté zkoušky krutem u sledovaných vrutů z konstrukčních ocelí jsou v dobrém souladu s měřením průběhu tvrdostí a prosté zkoušky tahem.

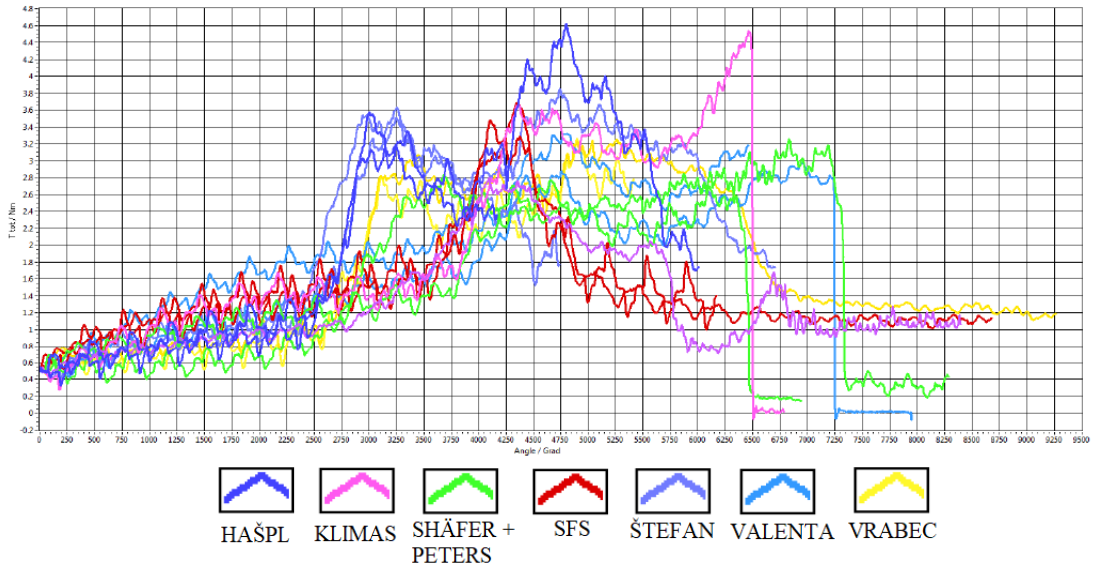
U vrutů z nerezových ocelí jsou výsledky prosté zkoušky krutem neporovnatelné, především z hlediska konstrukce a velikosti.

5.5 Vyhodnocení strhávací zkoušky a zkoušky montáže

Strhávací zkouška byla provedena na základě postupu popsaného v kapitole 4.6. Výsledky maximálního naměřeného momentu udává Tabulka 12. Na Obrázku 28 jsou znázorněny grafy závislosti momentu na úhlu otočení vrutu zaznamenané v průběhu měření. Je nutné konstatovat, že maximální momenty v prvním a druhém měření se v případě některých vrutů výrazně liší (například KLIMAS a HAŠPL). Tato skutečnost může být zapříčiněna nehomogenitou akátového dřeva.

Tabulka 12: Výsledky strhávací zkoušky

Výrobce/dodavatel	Měření 1 $Mü_1$ max [Nm]	Měření 2 $Mü_2$ max [Nm]
VRABEC	3,250	3,262
ŠTEFAN	3,853	3,633
HAŠPL	4,620	3,184
KLIMAS	2,799	4,437
VALENTA	3,320	2,973
SCHÄFER + PETERS	2,912	3,252
SFS	3,689	3,479



Obrázek 28: Grafy závislosti momentu na úhlu otočení vrutu ze strhávací zkoušky

Tabulka 13 udává výsledky zkoušky montáže provedené podle postupu uvedeného v kapitole 4.6.

Tabulka 13: Výsledky zkoušky montáže

Výrobce/dodavatel	Měření 1 Ma_1 max [Nm]	Měření 2 Ma_2 max [Nm]
VRABEC	1,744	1,744
ŠTEFAN	2,051	1,991
HAŠPL	2,486	2,460
KLIMAS	1,902	2,140
VALENTA	3,006	2,941
SCHÄFER + PETERS	1,832	1,993
SFS	3,071	2,372

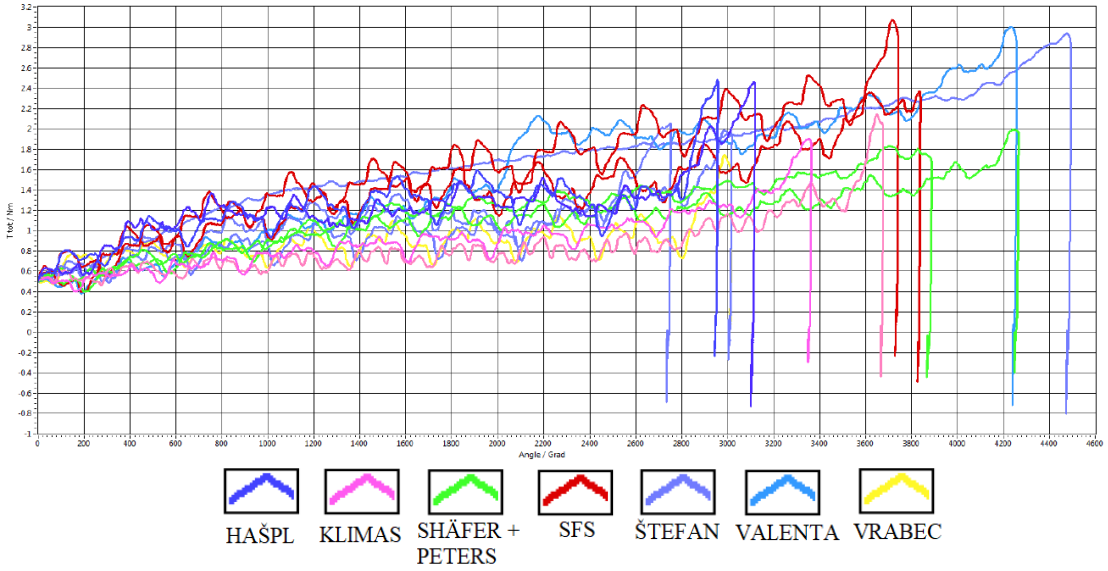
Po konzultaci ve firmě SFS je možno výsledky v Tabulce 13 interpretovat následujícím způsobem. Z hlediska bezpečnosti montáže platí: čím vyšší je naměřený moment, tím bezpečnější je montáž.

Z Tabulky 13 je patrné, že z vrutů z konstrukčních ocelí nejvyššího naměřeného momentu dosáhl vrut od dodavatele VALENTA, naopak nejhorších výsledků dosáhl vrut od dodavatele VRABEC.

Zdá se, že výsledné hodnoty ze zkoušky montáže nemají prokazatelnou souvislost s hodnotami jiných měřených mechanických vlastností. Tato skutečnost může být ovlivněna silnou nehomogenitou akátového dřeva a neidentifikovatelnými rozdíly ve tvaru a stoupání závitu.

U vrutů z nerezových ocelí jsou, stejně jako u zkoušky krutem, výsledky neporovnatelné, především z hlediska rozdílů v konstrukci a velikosti vrutu.

Obrázek 29 znázorňuje grafy závislosti momentu a úhlu otočení vrutu zaznamenané při zkoušce montáže.



Obrázek 29: Grafy závislosti momentu na úhlu otočení vrutu ze zkoušky montáže

6 Porovnání vlastností sledovaných vrutů

V této kapitole jsou porovnány vlastnosti konstrukčních a nerezových vrutů. Zvlášť je provedeno porovnání hodnot naměřených v rámci experimentální části a hodnot garantovaných výrobcem v prohlášení o vlastnostech.

6.1 Porovnání vlastností vrutů z konstrukčních ocelí

Porovnání cen a vlastností naměřených v experimentální části udává Tabulka 14. Jednotlivé výsledky byly hodnoceny známkami 1-5, přičemž 1 odpovídá nejlepší hodnotě a 5 té nejhorší. Na základě součtu známek bylo stanoveno pořadí vrutů od nejlepšího (1) po nejhorší (5).

Tabulka 14: Porovnání cen a hodnot měřených mechanických vlastností vrutů z konstrukčních ocelí

VÝROBCE/ DODAVATEL	Cena	Prostá zkouška tahem	Prostá zkouška krutem	Zkouška montáže	Součet	Pořadí
VRABEC	3	1	4	5	13	3
ŠTEFAN	1	5	5	3,5	14,5	5
HAŠPL	4	4	2	2	12	2
KLIMAS	5	2	3	3,5	13,5	4
VALENTA	2	3	1	1	7	1

Z Tabulky 14 je patrné, že nejlepšího hodnocení dosáhl vrut od dodavatele VALENTA. Tento výsledek je překvapivý, vzhledem k faktu, že je tento vrut označován jako univerzální, a měl by tedy vykazovat horší vlastnosti než vruty s označením „konstrukční." Nejhorší kombinaci vlastností a ceny prokázal vrut od dodavatele ŠTEFAN. Jde o vrut, kterým firma Agrotrans nahradila původní vrut od dodavatele VRABEC.

Tabulka 15 znázorňuje porovnání vlastností uvedených v prohlášení o vlastnostech. Body byly přidělovány stejným způsobem jako je tomu u Tabulky 14. Jelikož nemá autorka k dispozici prohlášení o vlastnostech vrutu od dodavatele ŠTEFAN, není v Tabulce 15 tento vrut hodnocen.

Tabulka 15: Porovnání vlastností z prohlášení o vlastnostech vrutů z konstrukčních ocelí

VÝROBCE/ DODAVATEL	Moment na mezi kluzu $M_{y,k}$	Parametr vytažení hlavy $f_{ax,k}$	Parametr protažení hlavy $f_{head,k}$	Únosnost v tahu $f_{tens,k}$	Torzní poměr	Součet	Pořadí
VRABEC	4	4	1	3	1	13	2
HAŠPL	2	3	3	1	4	13	2
KLIMAS	1	1	2	4	3	11	1
VALENTA	3	2	4	2	2	13	2

Z Tabulky 15 je patrné, že výsledné součty bodového hodnocení jsou si blízké, vždy převládají určité vlastnosti na úkor jiných. Vrut od dodavatele KLIMAS má součet známek nejnižší, nicméně, nedá se říci, že by ostatní svými vlastnostmi uvedenými v prohlášení o vlastnostech výrazně převyšoval.

Z porovnání Tabulek 14 a 15 se zdá, že pro případnou volbu vrutu by mohlo být průkaznější použití metodiky navržené autorkou práce, tedy porovnání ceny, prosté zkoušky tahem a prosté zkoušky krutem. K tomuto názoru přispívá fakt, že autorka během práce zjistila, že sehnat od dodavatelů prohlášení o vlastnostech může být v některých případech komplikované (například jak bylo uvedeno v kapitole 3.5).

Autorka práce si je vědoma toho, že pro ověření navržené metodiky zkoušení by bylo vhodné vybrané vruty použít v dané aplikaci a ověřit jejich chování v provozních podmínkách. Tato zkouška je však nad rámec bakalářské práce.

Lze předpokládat, že při použití velkého množství vrutů, například 50 tisíc a více na jednu aplikaci, by se pro uživatele náklady na zkoušky dle navřené metodiky u vybraných vrutů v konečném součtu vyplatily.

6.2 Porovnání vlastností vrutů z korozivzdorných ocelí

Jelikož u vrutu od dodavatele SCHÄFER + PETERS není k dispozici prohlášení o vlastnostech a u vrutu od SFS nejsou informace kompletní, není možné vruty na základě prohlášení porovnávat.

Následující Tabulka 16 porovnává vruty pouze na základě ceny a měřených charakteristik.

Tabulka 16: Porovnání cen a hodnot měřených mechanických vlastností korozivzdorných vrutů

VÝROBCE/ DODAVATEL	Cena	Tvrdost	Pevnost	Součet	Pořadí
SCHÄFER + PETERS	1	1	2	4	1
SFS	2	2	1	5	2

Vrut od výrobce SFS vykazuje lepší pevnostní charakteristiky, ovšem tvrdostí dosahuje nižších. Je třeba upozornit na fakt, že cena tohoto vrutu je podstatně vyšší a také se jedná o zcela jiný typ vrutu s větším průměrem. Ačkoli nelze tyto dva vruty fakticky porovnávat, lze přepokládat, že vrut SFS by byl vhodnější pro náročnější aplikace.

7 Závěr

Bylo provedeno porovnání vlastností u 5 vybraných vrutů z konstrukční oceli a dvou z oceli korozivzdorné. Na základě provedeného experimentu je možné konstatovat tyto závěry:

- Čistota sledovaných vrutů je na obvyklé úrovni a nemá zásadní vliv na jejich mechanické vlastnosti.

- Byla navržena metodika hodnocení vrutů.

- Výsledky prosté zkoušky krutem u sledovaných vrutů z konstrukčních ocelí jsou v dobrém souladu s měřením průběhu tvrdostí a prosté zkoušky tahem.

- Výsledky prosté zkoušky krutem u sledovaných vrutů z korozivzdorné oceli vzhledem k rozdílné konstrukci nejsou porovnatelné. Mezi průběhy tvrdostí a výsledky prosté zkoušky tahem není soulad.

- Výsledné hodnoty ze strhávací zkoušky a zkoušky montáže nemají prokazatelnou souvislost s hodnotami jiných měřených mechanických vlastností. Tato skutečnost může být ovlivněna silnou nehomogenitou akátového dřeva, případně neidentifikovatelnými rozdíly ve tvaru a stoupání závitu.

- Z vrutů z konstrukčních ocelí dosáhl nejlepšího hodnocení na základě navržené metodiky vrut VALENTA.

- Lze předpokládat, že při použití 50 tisíc a více vrutů na jednu aplikaci budou náklady na testování vrutů dle navržené metodiky ekonomicky výhodné.

- Navrženou metodiku hodnocení nelze vzhledem k rozdílné konstrukci v plném rozsahu použít pro sledované vruty z korozivzdorné oceli.

- Cíle práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ČSN EN 14592+A1. *Dřevěné konstrukce - Kolíkové spojovací prostředky - Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2012.

[2] Vruty do dřeva Rothoblaas. In: *Rothoblaas* [online]. Via Dell'Adige: Rothoblaas, 2014 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: https://www.vruty-koudelak.cz/wp-content/uploads/2017/04/vruty_do_dreva_rothoblaas.pdf

[3] Tesařské vruty - popis: Konstrukce vrutů. *HAPex s.r.o.: masivní a lepené dřevomateriály* [online]. Hradec Králové: HAPex s.r.o. [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: http://www.hapex.cz/tesarske-vruty/tesarske-vruty-popis

[4] RAPI-TEC: vruty bez předvrtání. In: *HMP TEC* [online]. Hustopeče: HPM TEC, 2019 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: http://www.hpmtec.cz/file/217/katalog-vruty-rapi-tec-2019.pdf?version=201904011523

[5] Konstrukční vruty Fischer Power Fast: Přednosti konstrukčních vrutů Fischer Power Fast. *Vruty Fischer* [online]. České Budějovice: JH SYSTEMS, 2016 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: https://vruty-fischer.cz/vruty-do-dreva/zapustna-hlava/kvalita-power-fast-konstrukcni-vruty/

[6] Inovace od špičky až k hlavě: vruty do dřeva PROFIX. *Killich* [online]. Liberec: Killich, 2019 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: http://www.vruty-profix.cz/

[7] WALKER, Aidan, ed. *Dřevo: velká encyklopedie : 150 druhů dřeva : podrobný průvodce "strom za stromem" : svět nejvšestrannějšího přírodního zdroje*. 1. vydání. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2858-2.

[8] *Dřevo od A do Z*. Čestlice: Rebo, 2006. ISBN 80-723-4531-1.

[9] AISI 1021. *Efunda* [online]. Sunnyvale: eFunda, Inc., 2019 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z:

https://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/show_carbon.cfm?ID=AISI_1021&show_prop=all&Page_Title=AISI%201021

[10] AISI 1021 Carbon Steel (UNS G10210). *AZO materials* [online]. Manchester: AZO materials, 2010 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6581

[11] ČSN 41 3030. *Ocel 13 030 manganová*. Praha: Český normalizační institut, 1988.

[12] ČSN 41 3123. *Ocel 13 123 Mn-V*. Praha: Český normalizační institut, 1978.

[13] ČSN 41 7240. *Ocel 17 240 Cr-Ni*. Praha: Český normalizační institut, 1972.

[14] ČSN 41 7346. *Ocel 17 346 Cr-Ni-Mo*. Praha: Český normalizační institut, 1972.

[15] ČSN 41 7021. *Ocel 17 021 chromová*. Praha: Český normalizační institut, 1981.

[16] Převodní tabulka značení ocelí. *E-konstruktér: Portál pro strojní konstruktéry* [online]. Praha: E-konstrukter.cz, 2013 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/prevodni-tabulka-znaceni-oceli

[17] NEUMANN, Martin. Rozdíl mezi žárovým a galvanickým zinkováním. *Eurometal* [online]. Chotěboř: Eurometal, 2019 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: http://www.eurometal.cz/magazin/rozdil-mezi-zarovym-a-galvanickym-zinkovanim-detail-60

[18] *Příručka žárového zinkování*. 3. vydání. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2009.

[19] KUBEČEK, Vlastimil. *(ústní sdělení)*. Velké Poříčí: HAŠPL, 8.11.2019, 2019.

[20] ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

[21] ŠEBESTOVÁ, Hana. Základy přípravy vzorků pro optickou metalografii. In: *Portál moderní fyziky* [online]. Olomouc: Portál moderní fyziky, 2009 [cit.

2019-11-25]. Dostupné z: https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/znm2-1.pdf

[22] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 1. vydání. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-720-4130-4.

[23] RODZIŇÁKOVÁ, Olga, Mišičko RUDLF a Jarmila GRUTKOVÁ. *Náuka o kovoch: Návody na cvičenia*. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1987.

[24] ČSN EN 409. *Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Stanovení momentu na mezi kluzu kolíkových spojovacích prostředků Objednat*. Praha: Český normalizační institut, 2009.

[25] Prohlášení o vlastnostech: č. 001/2013/CRP. *Vrabec a vrabec* [online]. Loukov u Mnichova Hradiště: VRABEC a VRABEC s.r.o., 2002 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: http://www.vrabecavrabec.cz/wp-content/uploads/kt-torpedo-prohlaseni-o-vlastnostech.pdf

[26] ČSN EN 1382. *Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Únosnost na vytažení spojovacích prostředků*. Praha: Český normalizační institut, 2016.

[27] ČSN EN 1383. *Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Zkoušení spojovacích prostředků na protažení hlavy*. Praha: Český normalizační institut, 2016.

[28] ČSN EN ISO 10666. *Samovrtné šrouby se závitem do plechu - Mechanické a funkční vlastnosti*. Praha: Český normalizační institut, 1999.

[29] KOUTOVÁ, Aneta. *(ústní sdělení)*. Jablonec nad Nisou. Strojírenský zkušební ústav: 18.2.2020.

[30] ČSN EN 15737. *Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Kroutící moment únosnosti při zašroubování vrutů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

[31] Klimatické a korozní zkoušky: Korozní zkoušky. *Strojírenský zkušební ústav: Komplexní služby v oblastech zkušebnictví, inspekce, certifikace a školení.*

[online]. Brno: Strojírenský zkušební ústav, s.p., 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: https://www.szutest.cz/klimaticke-a-korozni-zkousky/

[32] ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách - Zkoušky solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut, 2017.

[33] AGROTRANS spol. s r.o. 1993 - 2019. *AGROTRANS: Pastevní potřeby a technologie pro chov hospodářských zvířat.* [online]. 2011 [cit. 2019-09-30]. Dostupné z: http://www.agrotrans.cz/pastevni-potreby-a-technologie-pro-chov-zvirat.aspx

[34] KUŘÍK, Tomáš. *(ústní sdělení)*. Víchová nad Jizerou: Agrotrans, 30.5.2019, 2019.

[35] ZEIDLER, Aleš. Lexikon dřeva. In: *Docplayer* [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: https://docplayer.cz/4041658-Ceska-zemedelska-univerzita-v-praze-fakulta-lesnicka-a-drevarska-lexikon-dreva.html

[36] *Narex: Návod k používání - ASV 14-2 A; ASV 18-2 A*. Česká Lípa, 2014. Dostupné z: https://www.narex.cz/RetrieveFile.aspx?File=689&Name=User%27s%20manual%20-%20ASV%2014-2%20A;%20ASV%2018-2%20A

[37] Prohlášení o vlastnostech: ref. číslo 201509. In: *Valenta: Závitové tyče* [online]. Praha: Valenta, 2020 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.valentazt.cz/files/prohlaseni/pov-drevotriska-vruty-valentazt.pdf

[38] Prohlášení o vlastnostech: vrut konstrukční. In: *Hašpl a.s.* [online]. Velké Poříčí: Hašpl, 2020 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://download.haspl.cz/index.php/prohlaseni-o-vlastnostech

[39] Karta techniczna produktu - kmwht. In: *Wret-met Klimas* [online]. Mykanów: Klimas, 2020 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.wkret-met.com/sites/default/files/tech/ktp_kmwht-pl.pdf

[40] *Prohlášení o vlastnostech: 100179570*. Heerbrugg: SFS intec, 2016.

[41] Vrut konstrukční 4,0x40 zápust.hl. TX20 ZZ. In: *HAŠPL* [online]. Velké Poříčí: Hašpl [cit. 2020-04-020]. Dostupné z: https://www.haspl.cz/vrut-konstrukcni-4-0x40-zapust-hl-tx20-zz.html

[42] VRUT KONSTRUKČNÍ SE ZÁPUSTNOU HLAVOU, TORX, ŽLUTÝ ZINEK. In: *ObchodProDílnu.cz* [online]. České Budějovice: ObchodProDilnu.cz [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: https://www.obchodprodilnu.cz/vrut-konstrukcni-se-zapustnou-hlavou-torx-zluty-zinek-0567.html

[43] VRUT SE ZÁPUSTNOU HLAVOU TORX DRÁŽKA, ČÁSTEČNÝ ZÁVIT, ŽZ. In: *ObchodProDílnu.cz* [online]. České Budějovice: ObchodProDilnu.cz [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: https://www.obchodprodilnu.cz/vrut-se-zapustnou-hlavou-torx-drazka-castecny-zavit-zz-1348.html

[44] VRUT KONSTRUKČNÍ SE ZÁPUSTNOU HLAVOU, TORX, NEREZ A2. In: *ObchodProDílnu.cz* [online]. České Budějovice: ObchodProDilnu.cz [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: https://www.obchodprodilnu.cz/vrut-konstrukcni-se-zapustnou-hlavou-torx-nerez-a2-1966.html

[45] Ceník HALOVÉ OBJEKTY. In: *SFS* [online]. Turnov: SFS intec [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: https://www.sfsintec.biz/internet/sfsmedien.nsf/5FCEC4DBD0BB6176C12579790039B269/$FILE/Cenik_RC.pdf

[46] Šrouby se závitem určené pro stavebnictví. *SFS* [online]. Turnov: SFS intec [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: https://sfsintec.biz/mo/cz/cs/web/technologies___products/mechanical_fastening/thread_forming_screws/construction_2/construction_gewindeformschrauben.html

[47] ČIŽMÁROVÁ, Elena a Jana SOBOTOVÁ. *Nauka o materiálu I. a II.: cvičení*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05550-2.

[48] ČSN EN ISO 6507-1. *Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Vickerse - Část 1: Zkušební metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2020.

[49] ČSN EN ISO 6892-1. *Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Praha: Český normalizační institut, 2017.

[50] SFS Fassadenschrauben T20 1.4567 TW-S-D12-4,8x60. In: *SFS* [online]. Schwitzerland: SFS Group [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: https://www.sfs.ch/de/Befestigungstechnik/Fassadenbefestiger-und-Dachbefestiger/Gewindeformschrauben/SFS-Gewindeformschrauben-TW-S/SFS-Fassadenschrauben-T20-1-4567-TW-S-D12-4%2C8x60/p/378467