

# Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská  
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



Posouzení vlivu nízkých teplot na odolnost dřeva proti  
vytažení vrutů

Diplomová práce

Autor: Bc. Filip Paukner, DiS.

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Filip Paukner

Dřevařské inženýrství

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Posouzení vlivu nízkých teplot na odolnost dřeva proti vytažení vrutů**

Název anglicky

**Assessing the influence of low temperatures on the screw withdrawal resistance of wood**

---

### Cíle práce

Cílem práce je experimentální zkoumání fyzikálních vlastností a odolnosti dřeva proti vytažení vrutů během nebo po působení nízkých teplot nebo cyklického střídání nízkých a vysokých teplot. Experimentální zkoumání zahrnuje zjišťování odolnosti proti vytažení vrutů na různých dřevinách s použitím několika typů vrutů používaných ve stavebních konstrukcích.

### Metodika

1. Zpracování literární rešerše o fyzikálních a mechanických vlastnostech dřeva a jejich vztahu k působení nízkých a vysokých teplot, jako i změnách zapříčiněných střídavým působením nízkých a vysokých teplot. Analýza odolnosti mechanických spojů, vytvořených pomocí vrutů pro dřevěné konstrukce, vůči změnám teplot a vlhkosti.
2. Příprava, třídění a značení zkušebních těles.
3. Určení základních fyzikálních vlastnosti dřeva.
4. Experimentální zjišťování vlivu střídavého působení nízkých a vysokých teplot na odolnost dřeva proti vytažení vrutů. Odolnost proti vytažení vrutů hodnocená na mechanických spojích vytvořených z dřeva různých dřevin a z několika typů vrutů. Porovnání odolnosti proti vytažení vrutů u teplotně zatěženého dřeva s vlastnostmi dřeva bez vlivu střídání teplot.
5. Statistické zpracování výsledků v textové, tabulkové a grafické podobě.
6. Diskuze a závěry.

**Doporučený rozsah práce**

70 – 80

**Klíčová slova**

vrutové spoje, nízká teplota, teplotní střídání, odolnost proti vytažení vrutů

---

**Doporučené zdroje informací**

- AICHER, S., REINHARDT, H.-W., GARRECHT, H. Materials and Joints in Timber Structures: Recent Developments of Technology. Springer Science & Business Media, 2013, 819 s. ISBN: 978-94-007-7810-8
- AMBROSSE, J. Building Structures. 2nd ed., John Wiley & Sons, 1993, 701 s. ISBN: 0-471-54060-9
- BODIG, J., JAYNE, B. A. Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Company New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne, 1982, 712 s.
- HALPERIN, D. A., BIBLE, G. T. Principles of Timber Design for Architects and Builders. John Wiley & Sons, 1994, 400 s. ISBN: 0-471-55768-4
- KOLLMANN, F. F. P., COTE, W. A. Jr. Principles of Wood Science and Technology: I. Solid Wood. Springer Science & Business Media, 2012, 592 s. ISBN: 978-3-642-87928-9
- KOLLMANN, F. F. P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. Principles of Wood Science and Technology: II. Wood Based Materials. Springer Science & Business Media, 2012, 703 s. ISBN: 978-3-642-87933-3
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva, Bratislava: Príroda a. s., 1997, 485 s.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

---

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2019

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Vedoucí ústavu

---

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 15. 06. 2020

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „*Posouzení vlivu nízkých teplot na odolnost dřeva proti vytažení vrutů*“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miroslav Gašparík, PhD., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že napsáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 15.6.2020

.....  
Podpis autora

## Poděkování

*Rád bych chtěl touto cestou poděkovat svému vedoucímu Ing. Miroslavu Gašparíkovi, PhD., za jeho pomoc a cenné rady při vedení mé diplomové práce. Poděkování patří také mé skvělé rodině a přítelkyni za jejich podporu během celého studia.*

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá posouzením vlivu různých faktorů (teplota zatížení, typ vruty, druh dřeviny, vlhkost, hustota) na schopnost dřeva držet spojovací prostředky (parametr na vytažení, odpor dřeva proti vytažení vrutu). Experiment probíhal na dřevu smrku a modřínu. Z hlediska teplotního zatížení byly tři skupiny. Jedna byla referenční bez zatížení (20 °C), další dvě skupiny byly vystaveny mražení a následnému ohřevu (-15 °C, 70 °C a -25 °C, 70 °C) oba cykly jak mražení, tak ohřev trvaly 12 hodiny. Pro zkoušku byly použity tři typy vrutů rozměrů 3,5 x 50 mm (klasický vrut, stavební vrut, vrut s frézovacím závitem), které byly zašroubovány do hloubky 28 mm.

Z výsledků vyplývá, že po mražení se hustota i vlhkost nepatrně zvýšily a po následném ohřevu došlo k jejich úbytku. Největších maximálních sil na vytažení dosahoval klasický vrut, méně pak vrut s frézovacím závitem a stavební vrut vykazoval nejnižší hodnoty. Dřeva modřínu dosahovalo větších hodnot na vytažení o 40,5 % než dřevo smrku. Odpor dřeva proti vytažení vrutu a parametr vytažení dosahovaly větších hodnot ve směru radiálním.

Klíčová slova: teplotní zatížení, vruty, parametr vytažení, odpor proti vytažení, smrk, modřín.

## **Abstract**

The diploma thesis deals with the assessment of the influence of various factors (load temperature, screw type, wood species, humidity, density) on the ability of wood to hold fasteners (determination of nail and screw drawing resistance, withdrawal capacity of timber fasteners). The experiment was performed on spruce and larch wood. In terms of thermal load, there were three groups. The first one was the reference without load (20 ° C), the second and third group were subjected to freezing and subsequent heating (-15 ° C, 70 ° C and -25 ° C, 70 ° C) both cycles of both freezing and heating lasted 12 hours. Three types of screws of the same material and dimensions 3.5 x 50 mm were used for the test (classic screw, construction screw, screw with milling thread). The screws were screwed to a depth of 28 mm.

The results show that after freezing, the density and humidity increased slightly and after subsequent heating they decreased. The highest maximum pulling forces were achieved by a conventional screw, less by a screw with a milling thread and a construction screw showed the lowest values. Larch wood reached higher values for extraction by 40.5% than spruce wood. Screws withdrawal capacity screws withdrawal capacity reached larger values in the radial direction.

Keywords: thermal load, screws, determination of nail and screw drawing resistance, withdrawal capacity of timber fasteners, spruce, larch.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Radiální uspořádání tracheid (cévic) v letokruhu .....	19
Obr. 2 Buňkové elementy jehličnatého dřeva.....	21
Obr. 3 Uspořádání ztenčenin na radiálních stěnách cévic jehličnatého dřeva .	21
Obr. 4 Křížové pole – místo křížení tracheid (cévic) a dřeňových paprsků .....	22
Obr. 5 Druhy dřeňových paprsků .....	22
Obr. 6 Vertikální prskyřičný kanálek na příčném řezu borovice.....	23
Obr. 7 Řezy na dřevě .....	26
Obr. 8 Základní řezy na dřevě.....	26
Obr. 9 Zvětšení rozměrů v důsledku bobtnání .....	27
Obr. 10 Vazby podélné na sraz.....	43
Obr. 11 Vazby podélné – plátování .....	44
Obr. 12 Vazby příčné .....	44
Obr. 13 Vazby příčné .....	44
Obr. 14 Nejpoužívanější typu hřebíků .....	46
Obr. 15 Základní tvar sponky .....	47
Obr. 16 Svorník.....	47
Obr. 17 Samovrtné kolíky.....	48
Obr. 18 Klasický vrut .....	49
Obr. 19 Stavební vrut.....	52
Obr. 20 Hmoždíkový spoj.....	52
Obr. 21 Spoje s hmoždíky.....	53
Obr. 22 Styčnicková deska z prolisovaného plechu.....	54
Obr. 23 Příklady použití styčnickových desek.....	54
Obr. 24 Spoje s tvarovými součástmi.....	55
Obr. 25 Klasický vrut do dřeva .....	58
Obr. 26 Stavební vrut do dřeva .....	59
Obr. 27 Stavební vrut do dřeva s frézovacím závitem.....	60
Obr. 28 Popsané a zkrácené latě o rozměrech 50 x 50 x 1000 mm.....	61
Obr. 29 Princip popisování latí .....	62
Obr. 30 Popsané zkušební tělesa o rozměrech 50 x 50 x 150 mm.....	62
Obr. 31 Princip popisování zkušebních těles .....	63



Obr. 32 Umístění vrutů dle normy .....	64
Obr. 33 Tělesa v klimatizační komoře .....	65
Obr. 34 Tělesa v mrazícím boxu .....	66
Obr. 35 Školní sušárna .....	66
Obr. 36 Trhací stroj UTS 50 připojený na počítač .....	67
Obr. 37 Umístění zkušební vzorku .....	68
Obr. 38 Nastavení přípravku do výchozí polohy.....	68
Obr. 39 Závislost parametru vytažení na druhu dřeviny .....	73
Obr. 40 Závislost parametru vytažení na teplotě.....	74
Obr. 41 Závislost parametru vytažení na použitém vrutu .....	75
Obr. 42 Závislost parametru vytažení na směru vytahování ze dřeva.....	75
Obr. 43 Závislost parametru vytažení na typu vrutu a teplotě pro smrk .....	76
Obr. 44 Závislost parametru vytažení na typu vrutu a teplotě pro modřín.....	77
Obr. 45 Závislost odporu vytažení na druhu dřeviny .....	80
Obr. 46 Závislost odporu vytažení na teplotě .....	81
Obr. 47 Závislost odporu vytažení na typu vrutu .....	82
Obr. 48 Závislost odporu vytažení na směru.....	82
Obr. 49 Závislost odporu vytažení na typu vrutu, teploty a anatomickém směru pro smrk .....	83
Obr. 50 Závislost odporu vytažení na typu vrutu, teploty a anatomickém směru pro modřín. ....	84

## Seznam tabulek

Tab. 1 Průměrné hodnoty tracheid (cévic) jehličnatého dřeva .....	17
Tab. 2 Odpor proti vnikání a vytahování hřebíků.....	40
Tab. 3 Odpor dřeva proti vytažení vrutů a hřebíků .....	41
Tab. 4 Celkový počet zkušebních těles.....	62
Tab. 5 Celkový počet použitých vrutů .....	64
Tab. 6 Vlhkost a hustota smrkového a modřínového dřeva .....	71
Tab. 7 Statistické vyhodnocení parametru vytažení $f_{AX}$ .....	72
Tab. 8 Hodnoty odporu vůči vytažení při hustotě 465 kg/m <sup>3</sup> .....	74
Tab. 9 Průměrné hodnoty parametru vytažení pro smrkové a modřínové dřevo .....	78

Tab. 10 Statistické vyhodnocení odporu vůči vytažení R .....	80
Tab. 11 Průměrné hodnoty parametru vytažení pro smrkové a modřínové dřevo .....	86

## OBSAH

1. Úvod.....	13
2. Cíl práce.....	15
3. Dřevo jako přírodní materiál.....	16
3.1. Anatomie a chemické složení dřeva .....	16
3.1.1. Chemické složení dřeva.....	16
3.1.2. Anatomie dřeva .....	18
3.1.2.1. Mikroskopická struktura jehličnatého dřeva .....	18
3.1.2.2. Mikroskopická struktura listnatého dřeva .....	24
3.1.2.3. Řezy na dřevě směry na dřevě .....	25
3.2. Fyzikální vlastnosti dřeva .....	28
3.2.1. Vlhkost .....	29
3.2.2. Hustota dřeva.....	31
3.2.3. Teplota.....	34
3.2.3.1. Vliv zvýšených teplot.....	35
3.2.3.2. Vliv nízkých teplot .....	36
3.3. Technologické vlastnosti dřeva .....	37
3.3.1. Schopnost dřeva držet mechanické spojovací prostředky .....	39
3.4. Spojovací prostředky dřevěných konstrukcí.....	41
3.4.1. Lepené spoje .....	42
3.4.2. Tesařské spojovací prostředky .....	43
3.4.3. Mechanické spojovací prostředky .....	45
3.4.3.1. Spojovací prostředky kolíkového typu.....	45
3.4.3.1.1. Hřebíky.....	45
3.4.3.1.2. Sponkové spoje.....	46
3.4.3.1.3. Svorníkové spoje.....	47
3.4.3.1.4. Kolíkové spoje.....	48
3.4.3.1.5. Spoje s vruty .....	49
3.4.3.1.6. Klasické vruty .....	49
3.4.3.1.7. Stavební vruty .....	49
3.4.3.2. Povrchové spojovací prostředky .....	52
3.4.3.2.1. Spoje s hmoždíky.....	52
3.4.3.2.2. Spoje se styčnickovými deskami z prolisovaného plechu.....	54
3.4.3.2.3. Spoje s tvarovými součástmi z ocelového plechu .....	54
4. Metodika.....	56

4.1. Materiál .....	56
4.2 Příprava materiálu.....	60
4.2.2. Referenční skupina vzorků.....	64
4.2.3. Vzorky teplotně zatížené.....	65
4.3. Postup zkoušky.....	67
5. Výsledky a diskuze.....	70
5.1. Fyzikální vlastnosti.....	70
5.2. Technologické vlastnosti.....	71
5.2.1. Parametr vytažení.....	71
5.2.2. Odpor dřeva proti vytažení vrutu.....	80
6. Závěr.....	87
7. Seznam literatury .....	89
8. Přílohy.....	92

# 1. Úvod

Dřevo jako jeden z nejtradičnějších a nejstarších přírodních surovin společně s hlínou a kamenem provází lidstvo už od dávné minulosti. Již naši předci využívali tyto materiály především pro stavbu jednoduchých obydlí.

Mezi největší výhody dřeva je dobrá opracovatelnost, dobrá pevnost vztážená ke svojí hmotnosti, obnovitelnost, estetické vlastnosti a rozmanitost druhů. Bohužel tak jako každý materiál má i dřevo své nevýhody, mezi které patří změna vlastností v závislosti na vlhkosti, hořlavost, náchylnost a napadení abiotickými činiteli.

I v dnešní době navzdory objevování nových materiálů si dřevo stále nachází své uplatnění. Ve spoustu průmyslových odvětví se dá říci, že je nenahraditelné (housle, klavíry).

Díky stále většímu zájmu o environmentální výchovu a využívání obnovitelných zdrojů si dřevo opět nachází své místo jako stavební materiál. S tím je spojena i zvyšující se poptávka po dřevostavbách (obytné stavby, rozhledny, dětská, mosty, garáže, altány), které si tak získávají své místo po boku budov z cihel a železobetonu.

S postupným rozvojem dřevěných konstrukcí a materiálů na bázi dřeva je důležité zaměřit pozornost k jednotlivým spojům dřevěných konstrukcí a jejich spolupůsobení s materiály na bázi dřeva. Do konce 18. století byly používány pouze tesařské spoje doplněny o malý počet spojovacích prostředků, zejména dřevěnými kolíky, klíny, kovanými hřebíky a tesařskými skobami. Nevýhodou tesařských spojů je značné oslabení dřevěného spoje. Na počátku 18. století se začaly používat kovové spojovací prostředky v podobě, jak je známe dnes. Mechanické spoje se volí s ohledem na zatížení, estetické hledisko, manipulaci a normativní předpisy. Až do dnešní doby se spojovací prostředky stále vyvíjejí. Jsou cenově dostupné a schopné přenášet dovolená zatížení, jejich montáž je značně rychlejší a méně pracná než u tesařských spojů (pokud nejsou na CNC) výhodou je minimální oslabení spoje.

Je nutností, aby konstrukční spoje splňovaly určité normou stanovené hodnoty na mechanické zatížení konstrukce, na které mohou působit různé vlivy (vlhkost, hustota, spojovací prostředek, atd.). Jedním z dalších faktorů působících

na konstrukční spoje, kterému je potřeba věnovat pozornost, je teplota a její vliv na strukturu dřeva.

## 2. Cíl práce

Cílem práce je experimentální zkoumání fyzikálních vlastností a odolnosti dřeva proti vytažení vrutů během nebo po působení nízkých teplot nebo cyklického střídání nízkých a vysokých teplot.

Experimentální zkoumání zahrnuje zjišťování odolnosti proti vytažení vrutů na různých dřevinách s použitím několika typů vrutů používaných ve stavebních konstrukcích. Rozdělení faktorů experimentu:

### 1) Použité dřeviny

- smrk,
- modřín,

### 2) Použité spojovací prostředky

- klasický vrut do dřeva,
- stavební vrut do dřeva,
- vrut s frézovacím závitem do dřeva,

### 3) Teplotní zatížení

- referenční (bez úpravy,  $20 \pm 2$  °C),
- mražení (-15 °C) a ohřev (70 °C),
- mražení (-25 °C) a ohřev (70 °C),

### 4) Zjišťované charakteristiky

- parametr vytažení  $f_{ax}$ ,
- odpor dřeva proti vytažení vrutu R.

### **3. Dřevo jako přírodní materiál**

Dřevo jako materiál rostlinného původu je složeno ze spleteného systému makromolekulárních látek. Rostliny, které během vegetační doby přibývají na objemu, tzv. tloustnou, poskytují dřevo. To je zapříčiněno díky dělivým buňkám na rozhraní kůry a dřeva tzv. kambium. Tyto rostliny označujeme jako dřeviny. Kambium je specifické dělivé pletivo, které směrem k běli vytváří strukturu dřeva a směrem od běle produkuje strukturu kůry. Každým rokem se děje opakují, a tím dochází k narůstání obvodu kmene (Balabán 1995).

Růst stromu je závislý na různých faktorech, především však na podnebí, střídání ročních období (zima, teplo, vítr, atd.), kde se dřevo formuje, a s tím je spojeno i vytváření letního a jarního dřeva (letokruh). Činnost dělivých buněk kambia začíná na začátku jara a končí v zimě, během této doby probíhá transpirační proud, kdy dochází ke vzniku jarního a letního dřeva. Jarní světlejší část letokruhu má funkci vodivou, zatímco dřevo letní (tmavší část) plní spíše funkci mechanickou (Desch 1996).

Díky stále lepšímu technologickému pokroku se zlepšují a prohlubují naše znalosti o struktuře a chemickém složení dřeva i jeho mechanických a fyzikálních vlastnostech. Dřevo se řadí mezi nejstarší materiály, a jakož to přírodní surovina rostlinného původu při správném hospodaření a využívání může být stále obnovována. V dnešním dřevozpracujícím průmyslu se využívá primárně kmen stromu, méně pak dřevo větví. Je to pružný, pevný, odolný proti chemickým vlivům, tepelně izolační materiál (Gandelová a kol. 2002).

#### **3.1. Anatomie a chemické složení dřeva**

##### **3.1.1. Chemické složení dřeva**

Dřevo jako takové je tvořeno z organických látek, základními prvky jsou uhlík, kyslík, vodík a nemnoho dusíku. Chemické složení dřeva je u různých dřevin stejné. Průměrné zastoupení prvků nezávisle na dřevině je: 49,5 % uhlíku, 44,2 % kyslíku, 6,3 % vodíku a 0,12 % dusíku. Dřevo může být definováno jako vzájemně propojená síť biopolymerů jako jsou celulóza, hemicelulóza, ligninu s malým množstvím doprovodných látek. Obecně se uvádí, že v jehličnatých dřevinách se nachází průměrně 48-59 % celulózy, 26-30 % ligninu a 23-32 %



hemicelulózu. Listnáče 46-48 % celulózy, 19-28 % ligninu a 26-35 % hemicelulózu (Blažej 1975).

## Celulóza

Je jednou z nejrozšířenějších organických látek na Zemi vyskytující se v přírodě, a to převážně ve formě dlouhých vláken složených z molekul celulózy. Co se týče obsahu v rostlinách, tak je celulóza doprovázena hemicelulózou a ligninem. Je hlavním stavebním prvkem buněčné stěny. Je to hlavní složka a vytváří tak základní skelet buňkové stěny. Délku makromolekuly celulózy je udávána v tzv. polymerizační stupeň, tento údaj nám říká, kolik stavebních složek se podílí na tvorbě makromolekuly celulózy. Délka celulózového řetězce běžně dosahuje hodnot od 1400 až 15000. Jednu strukturní složku v makromolekule celulózy vytváří D-glukózová složka ( $\beta$ -D-glukopyranózová). Spojením dvou  $\beta$ -D-glukopyranózových složek následně vzniká celobióza, což je označováno jako primární stavební jednotkou celulózy. Celulóza je nerozpustná v běžných organických rozpouštědlech (líh, aceton, voda). Makromolekuly celulózy vytvářejí buď to pravidelně uspořádaný systém (krystalická část), nebo nepravidelně uspořádaný systém (amorfní část). Krystalická část je chemicky stálá a nezpůsobuje anizotropii. Amorfní část je nestálá, a to díky volné -OH skupině, která pohlcuje vodu, to má dopad na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva (Gandelová a kol. 2009).

## Hemicelulóza

Jako druhou hlavní složkou ve dřevě jsou hemicelulózy, které doprovázejí celulózu v buněčné stěně. Zastoupení v dřevě jehličnanů 15-25 % u listnáčů 25-35 %. Má nestálé amorfní složení, její polymerizační stupeň se pohybuje od 100 do 200, je tak nižší než u již zmíněné celulózy. Hemicelulózu rozdělujeme na xylany, galaktany a manany. Xylany, jež obsahují především listnáče, mají řetězce tvořeny z D-xylopyranózových jednotek (polymerizační stupeň xylanů se pohybuje 100-200). Galaktany se jak u listnáčů, tak u jehličnanů vyskytují v malém procentuálním zastoupení (0,5-3 %). Řetězce jsou tvořeny z galaktózových jednotek. Z důvodu rozvětvených řetězců jsou rozpustné ve vodě. Manany mají největší podíl u jehličnanů, u listnáčů jen malé zastoupení. Řetězec

je tvořený střídáním manopyranózových a D-galaktopyranózových jednotek (Reinprecht 2008).

## Lignin

Je jednou z hlavních složek chemického složení dřeva. Je charakterizován jako aromatický či benzenoidní polymer, mezi podstatnou vlastnost patří jeho množství a druhy funkčních skupin. Samotná struktura ligninu obsahuje benzenové jádro, na které jsou připojeny propanové vedlejší řetězce, methylové skupiny a fenolové hydroxylové skupiny. Hlavním úkolem ligninu je pomocí chemických vazeb spojovat mezibuněčná vlákna. Společně s hemicelulózou vytvářejí makromolekuly (lignopolysacharidové komplexy), které zaplňují prostory mezi fibrilami. Obsah ligninu v jehličnatém dřevě se pohybuje okolo 25-35 %, u listnatého dřeva je to méně, v rozmezí 15-35 %, obsah ligninu je dán od druhu dřeviny. Molekulová hmotnost ligninu je v rozmezí 2100 až 85000 kg/mol. Ukládání ligninu ve dřevě způsobuje lignifikaci neboli dřevnatění buněčných stěn, tím dřevina získává svou pevnost (Blažej 1975).

## Doprovodné látky

Dřevo ve svém chemickém složení zahrnuje i další sloučeniny s nízkou a střední molekulovou hmotností, které lze extrahovat rozpouštědly. Většina extrahovaných látek mají ve struktuře dřeva jiné funkce než výše zmíněné prvky, například ochraňují strom proti patogenům nebo jiným biotickým účinkům. V živém stromě se ukládají do dřeva, které se již neúčastní transpiračního proudu a plní pouze stavební úlohu. Mají vliv na mechanické, fyzikální vlastnosti (vůně, barva), ale i na opracování, sušení, impregnaci atd. (Barnett 2003).

### **3.1.2. Anatomie dřeva**

#### **3.1.2.1. Mikroskopická struktura jehličnatého dřeva**

Jehličnaté dřeviny jsou vývojově starší, rostly na Zemi dříve než mladší listnaté dřeviny. Jejich struktura je jednodušší a tvoří jí převážně dva základní elementy. Prvním prvkem jsou tracheidy (cévice) a druhým parenchymatické buňky. Porozumět mikroskopické stavbě dřeva je důležité pro rozpoznání

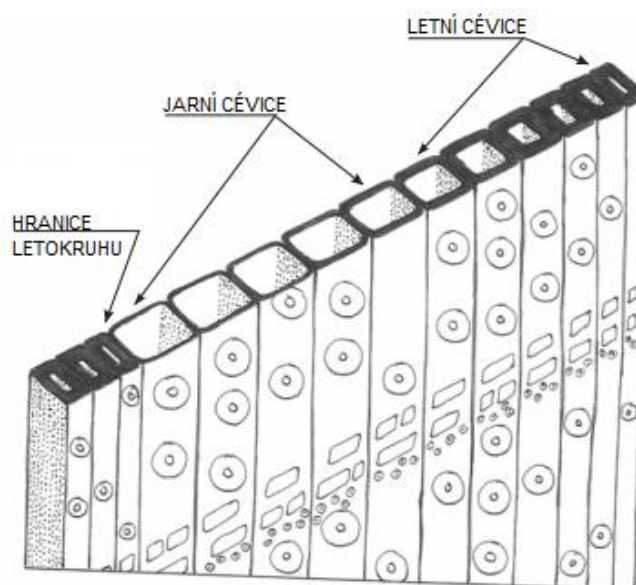
různých druhů, které na první pohled nedokážeme podle makroskopických znaků rozeznat (Horáček 1998).

## Tracheidy

Tracheidy (cévice) jsou základním elementem jehličnatého dřeva, tvoří okolo 90 % (87-95 %) objemu. Podélné tracheidy jsou trubkovitě vřetenové vláknité buňky, jež jsou na obou koncích uzavřené. V průřezu mají čtyř až šesti úhelníkový tvar a různé druhy zakončení (špičaté, oblé, rovné, zubaté), délka cévic je 100krát větší než průměr, udává se v rozmezí 2-6 mm (Tab. 1). Tangenciální rozměr tracheid je zpravidla stejný, kdežto radiální rozměr se v závislosti na poloze v letokruhu mění. Rozlišujeme letní a jarní tracheidy. Na obrázku 1 je porovnání velikostí buněk jehličnatého dřeva (Čunderlík 2009).

**Tab. 1** Průměrné hodnoty tracheid (cévic) jehličnatého dřeva (Čunderlík 2009)

Dřevina	Délka cévice [mm]	Šířka cévic [ $\mu\text{m}$ ]	Tloušťka buněčné stěny [ $\mu\text{m}$ ]
Jedle	3,7	15-58	2-4
Modřín	3,5	24-25	3-4
Smrk	3,4	21-40	2-5
Borovice	3,1	14-46	3-6
Sequoia	7	50-65	2-6



**Obr. 1** Radiální uspořádání tracheid (cévic) v letokruhu (Čunderlík 2009)

**Letní cévice** jsou tvořeny ve druhé polovině vegetačního období, ve struktuře dřeva mají převážně mechanickou funkci. Oproti jarním jsou delší cca o 10 %, na povrchu buněčných stěn se nacházejí malé dvojtečky, ztluštění a jejich počet je okolo 8 až 25. Letní cévice na rozdíl od jarních cévic po vysušení zůstávají převážně pootevřené, což umožňuje lepší průnik impregnačních prostředků. Šířka v tangenciálním směru je stejná jako u jarní, v radiálním směru je menší 0,02 m. Buňková stěna má tloušťku 3 až 7  $\mu\text{m}$ . Hranice mezi jarními a letními tracheidami je buď pozvolná (modřín) nebo náhlá (borovice) (Balabán 1995).

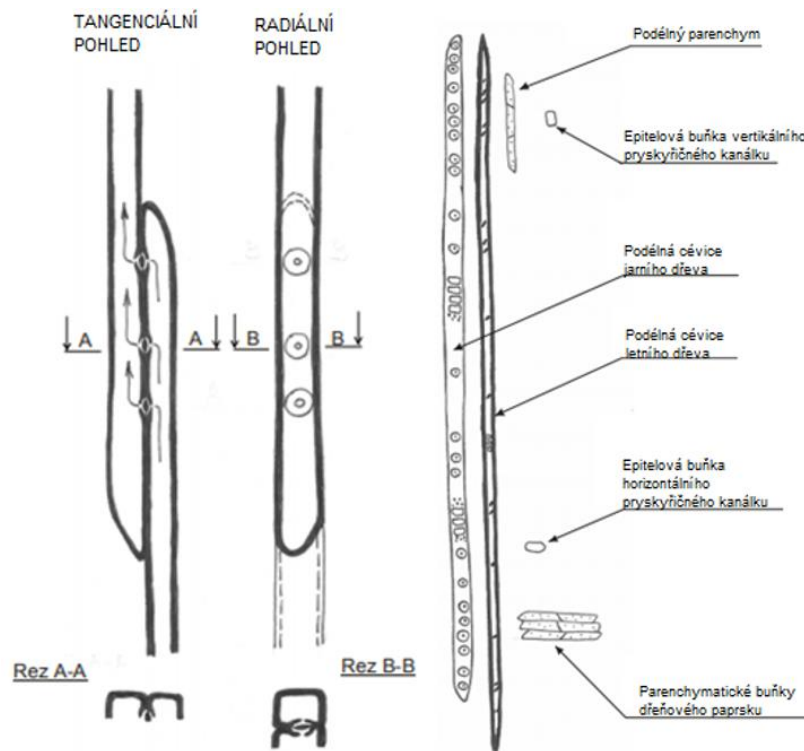
**Jarní cévice** se vytvářejí na začátku vegetačního období a mají vodivou funkci, vedou vodu společně s rozpuštěnými látkami vzestupným transpiračním proudem obr. 5 od kořenů do koruny stromu (axiální směr), proud prochází přes dvojtečky umístěné na buněčných stěnách (převážně přes dvojtečky umístěné na radiální straně). Jsou to buňky trubkového tvaru s převážně zaoblenými konci. Průměrná délka jarní cévice je 2,9 mm, šířka okolo 0,04 mm, tloušťka buňkových stěn 2 až 3  $\mu\text{m}$ . Na radiální stěně se nacházejí dvojtečky buď to v jedné (borovice), dvou řadách (modřín) nebo střídavě. Na tangenciální ploše se nacházejí dvojtečky, které jsou pod mikroskopem jen těžko rozeznatelné. Počet dvojteček se mění od druhu dřeviny, ale bývá okolo 70 až 90, jejich průměr je udáván okolo 8-31  $\mu\text{m}$  (dle dřeviny) a průměr otvoru (pórusu) 4 až 8  $\mu\text{m}$ . Po vyschnutí se jarní dvojtečky uzavírají pórušem a tórušem, tím zhoršují impregnovatelnost dřeva (Gandelová a kol. 2009).

Přestože jsou na obou koncích cévice uzavřené, plní vodivou funkci (obr. 2). Pro zajištění této funkce jsou na buněčných stěnách ztenčeniny (dvojtečky), nacházejí se tam, kde je stěna značně oslabená a umožňuje průchod vody. Vyskytují se jednotlivě u smrku (*Picea abies* (L.), Karst.), ve dvojicích modřínu (*Larix decidua* Mill.) a ve trojicích sekvoje (*Sequoia sempervirens* (D.Don) Endl.) (Obr. 3) (Horáček 1998).

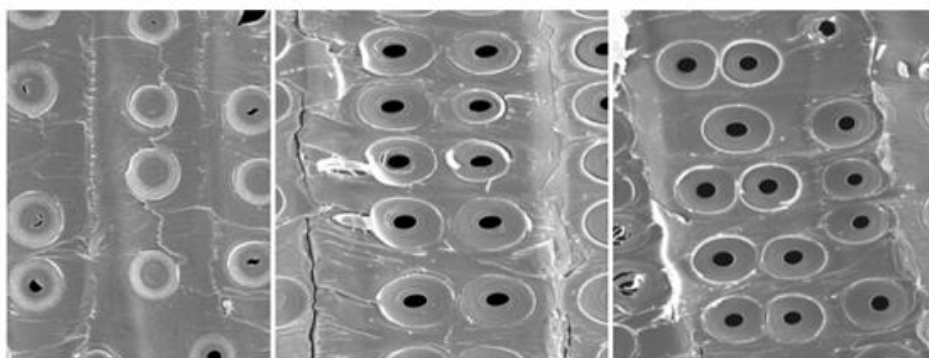
### Parenchymatické buňky

Parenchymatické pletivo zabírá okolo 10 % z celkového objemu jehličnatého dřeva a je soustředěno především do dřeňových paprsků, které jsou orientovány v radiálním směru. Dále vytvářejí podélný dřevný parenchym a pryskyřičné kanálky. Parenchymatické buňky mají tvar kratších hranolků nebo

válečků a jsou delší jak podélné cévice. Největší rozměr dosahují v radiální směru, a to okolo 100  $\mu\text{m}$ , příčný rozměr v tangenciálním směru je 15-20  $\mu\text{m}$ . Mají většinou vodivou a zásobní funkci. Hlavním úkolem parenchymatických buněk je vést produkty asimilace v radiálním směru z lýka do středu kmene a v tangenciálním směru z dřeňového paprsku do podélných cévic, to je zabezpečeno přes jednoduché ztenčiny (Čunderlík 2009, Gandelová a kol. 2009).



**Obr. 2** Buňkové elementy jehličnatého dřeva (Čunderlík 2009)

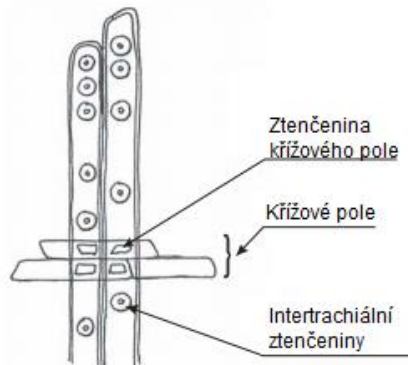


**Obr. 3** Uspořádání ztenčenin na radiálních stěnách cévic (tracheid) jehličnatého dřeva (Čunderlík 2009)

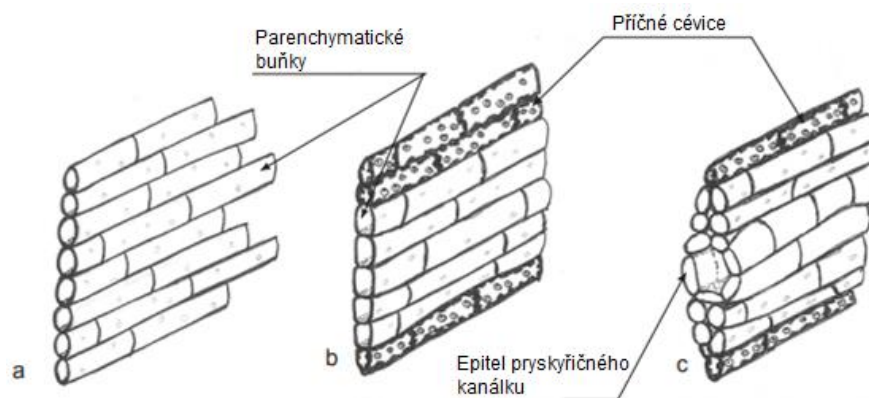
a) jednořadé, b) dvouřadé, c) trojřadé

## Dřeňové paprsky

Jsou to parenchymatické buňky spojené do pásů orientovaných směrem do středu kmene, kolmo na letokruhy. Jejich úkolem je rozvádět růstové látky, živiny a ukládat látky jako škroby i tuky. Přenos látek z dřeňových paprsků (radiální směr) do podélných tracheid (podélný směr) je zajištěno pomocí tzv. křížového pole (Obr. 4). Druh, počet a tvar ztenčenin v křížovém poli jehličnanů závisí na typu dřeviny (Požgaj a kol. 1993).



**Obr. 4** Křížové pole – místo křížení tracheid (cévic) a dřeňových paprsků (Čunderlík 2009)



**Obr. 5** Druhy dřeňových paprsků (Čunderlík 2009)

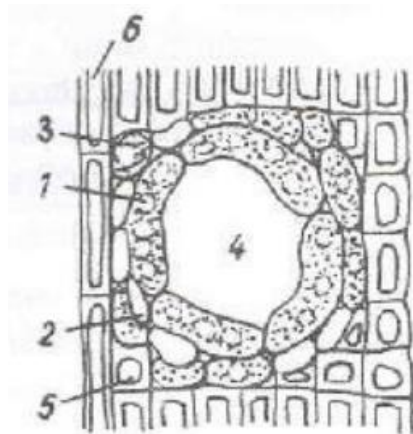
a) jednovrstvý homogenní dřeňový paprsek b) jednovrství heterogenní dřeňový paprsek s příčnými cévicemi c) více řadový paprsek s horizontálním pryskyřičným kanálkem

Jehličnany bez pryskyřičných kanálků (tis, jalovec, jedle) mají dřeňové paprsky pouze jednovrstvé (Obr. 5) tvořené pouze parenchymatickými buňkami. Naopak u dřev, kde k výskytu pryskyřičných kanálků dochází (smrk, modřín, borovice, douglaska), se na jejich stavbě podílí kromě parenchymatických buněk

i příčné cévice (tracheidy). Příčně orientované cévice jsou většinou umístěny na okraji dřevňových paprsků (Čunderlík 2009, Gandelová a kol. 2009).

### Pryskyřičné kanálky

Pryskyřičné kanálky vznikly zaniknutím buněčných stěn nebo rozestoupením parenchymatických buněk, je to dlouhý úzký, mezibuněčný prostor vyplněný pryskyřicí. Rozlišujeme dva druhy kanálků, a to vertikální a horizontální. Vertikální pryskyřičný kanálek je tvořený třemi vrstvami dřevního parenchymu (vnitřní vrstva, vrstva mrtvých buněk, vnější vrstva). **Vnitřní vrstva** čili epitel pryskyřičného kanálku je složena z výstelkových buněk, které se různě hluboko vtlačují do kanálku. Jejich zaplňování pryskyřicí pod tlakem se epitelové buňky zplošťují a při vyplňování do kanálku se vtlačují až po jejich samotný dotyk (Obr. 6). U borovice mají epitelové buňky tenkostěnné celulózové blány, které jsou vyplněné hustou protoplazmou s velkým jádrem vylučující pryskyřici. U modřínu a smrku blány epitelových buněk dřevnatí, což má za následek, že ztrácí schopnost vylučovat pryskyřici. **Vnější vrstva** je tvořena živými buňkami doprovodného parenchymu a jádrem, protoplazmou a zásobními látkami (škrob, olej). Průměr vertikálního kanálku s věkem a vzdáleností od dřeně ke kůře roste. Pokud dojde k narušení (činnost člověka, houby, hmyz) struktury rostoucího stromu, může se počet pryskyřičných kanálků zvyšovat (Perelygin 1965, Gandelová a kol. 2009).



**Obr. 6** Vertikální pryskyřičný kanálek na příčném řezu borovice (Perelygin 1965)

- 1) buňky epitelu, 2) mrtvé buňky, 3) doprovodný parenchym, 4) kanálek, 5) tracheidy, 6) dřevňový paprsek

Horizontální pryskyřičné kanálky jsou většinou vytvořeny ze dvou vrstev buněk (epitelovými a mrtvými buňkami), procházející dřeňovými paprsky orientovány kolmo na osu kmene, umístěny v dřeňových paprscích. Jejich délka se při růstu dřeva a lýka s věkem zvětšuje. Horizontální pryskyřičné kanálky se s vertikálními protínají a vytvářejí tak jednotný systém pryskyřičných kanálků. Množství spojení mezi vertikálními a horizontálními kanálky dosahuje okolo stovek na 1 cm<sup>3</sup> (Perelygin 1965, Gandelová a kol. 2009).

### Dřevní parenchym

Podélný či axiální parenchym se vytváří jen v některých jehličnanech, a to v menším množství (málokdy u smrku, jedle, douglasky, hojněji u jalovců, cypřišů) než u listnáčů. Jejich účelem je ukládání zásobních látek. Dřevní parenchym tvoří jednotlivé pruhy parenchymatických buněk či vřetenové buňky orientované podél osy kmene (Perelygin 1965, Gandelová a kol. 2009).

### 3.1.2.2. Mikroskopická struktura listnatého dřeva

Oproti jehličnatým dřevinám je dřevo listnatých stromů vývojově mladší. Liší se také složitější stavbou, která se skládá z většího počtu druhů anatomických prvků, jenž jsou konkrétně uzpůsobeny pro svůj účel. Těmi jsou cévy, cévice, libriformní vlákna a parenchymatické buňky (Gandelová a kol. 2009).

#### Cévy

Cévy (tracheje) jsou tvořeny dlouhými kapiláry, které mají vodivé vlastnosti a ve dřevě tvoří paralelní síť, díky níž je voda obohacená o minerály vedena od kořene do koruny stromu. V centrální části kmene (jádro) plní úlohu zásobárny vody či jsou naplněny jádrovými látkami, popřípadě jsou prázdné (Čunderlík 2009).

#### Cévice

Cévice (tracheidy) vytvářejí v listnatém dřevě přechodné druhy anatomických prvků, které plní vodivou, mechanickou, popřípadě zásobní funkci. Díky svým rozdílným tvarům a funkcím se dělí na cévovité, vazicentrické a



vláknité. Vyskytují se z velké části jako základní pletiva, avšak jinde mohou zcela chybět (Požgaj a kol. 1993).

### Libriformní vlákna

Libriformní vlákna (dřevní vlákna) u listnatých stromů tvoří z velké části základní pletivo jejich struktury. V závislosti na druhu dřeva je jejich zastoupení odlišné. Jejich charakteristickou funkcí je mechanické zpevnění dřeva. Mají protáhlé vřetenovité buňky, které jsou tvořeny zašpičatělými konci a tečkami na povrchu. Tato vlákna jsou z převážné části odumřelé prvky, avšak u některých typů dřevin se na hranici letokruhů nebo poblíž cév vyskytují vlákna živá (Horáček 1998).

### Parenchymatické buňky

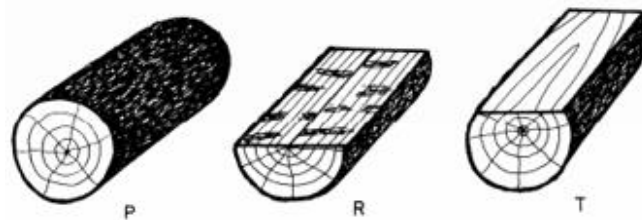
Parenchymatické buňky listnatých stromů jsou oproti těm v jehličnatých více zastoupeny a také tvarově více pestřejší. Jejich tvarem mohou být krychle, hranoly, vřetena či krátké zploštělé válečky. Jejich stěny jsou poseté jednoduchými ztenčeninami (tečkami). Ve dřevě stromu plní funkci vodivou a zásobní. Stírádají převážně tuky, škroby a bílkoviny, které mohou následně uvolnit (Gandelová a kol. 2009).

### 3.1.2.3. Řezy na dřevě směry na dřevě

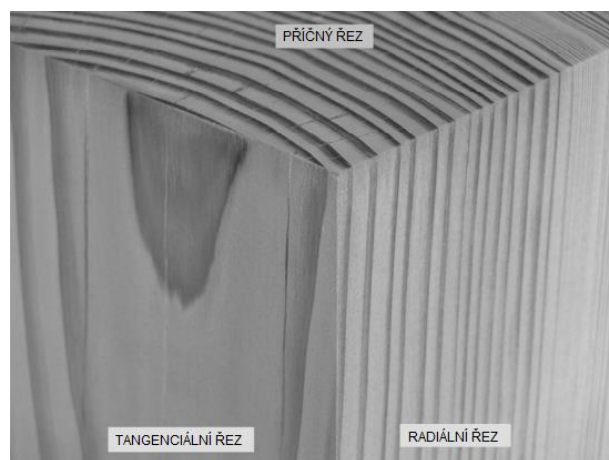
Dřevo je vytvořeno souborem různých druhů rostlinných pletiv, a z toho každé se liší svým tvarem a funkcí. Konkrétní uspořádání pletiv ve dřevě je podřízeno vlastním druhem dřeviny a fyziologickými postupy, které se odehrávají v rostoucím stromu. Takto specificky uspořádaná pletiva vytvářejí letokruhy a makroskopické znaky dřeviny, které lze pozorovat na jednotlivých řezech. Tyto znaky se dají rozeznat pouhým zrakem a jsou velmi důležité pro praktické odlišení jednotlivých druhů dřeva. Válcovitá až kuželovitá vrstvená stavba kmene s převážně vertikálně orientovanými elementy a pletivy zapříčiňuje, že řezy vedené při řezání pod různým úhlem a vzdáleností vzhledem k jeho podélné ose mají rozdílnou kresbu. Rozeznáváme tři základní druhy, které můžeme vést dřevem (Obr. 7 a 8). Na každém z nich jsou různě viditelné elementy a pletiva v závislosti na úhlu vztažené k podélné ose (Požgaj a kol. 1993, Čunderlík 2009).

Základní řezy dřeva se rozdělují na:

- příčný (P),
- podélný radiální (R),
- podélní tangenciální (T).



Obr. 7 Řezy na dřevě (Čunderlík 2009)



Obr. 8 Základní řezy na dřevě (Čunderlík 2009)

**Příčný řez** (čelní, transverzální) je to první řez, se kterým se na kmene setkáváme už při porážení stromu. Je vedený rovinou kolmo na většinou vertikálně orientovanou osu kmene. Od ostatních dvou řezů je lehký rozeznatelný, jelikož jsou přerušeny elementy rovnoběžné s osou kmene, které zde vytvářejí letokruhy. V biologickém středu se nachází dřeň a na obvodové vnější straně je vrstva kůry (Čunderlík 2009).

**Podélný řez radiální** (středový, poloměrový) prochází podélnou osou kmene ve směru poloměru (radiusu), v této rovině leží dřeň. Přičemž je myšlený biologický střed kmene a ne geometrický. Dřeň, jakožto biologický střed kmene, může být excentricky uložena, a to z různých příčin. Letokruhy jsou viditelné na radiálním řezu jako soustava rovnoběžných podélných čar a pruhů. Výrazné dřeňové paprsky vytvářejí lesklé plošky, proto se někdy tomuto řezu říká zrcadlový řez (Čunderlík 2009).

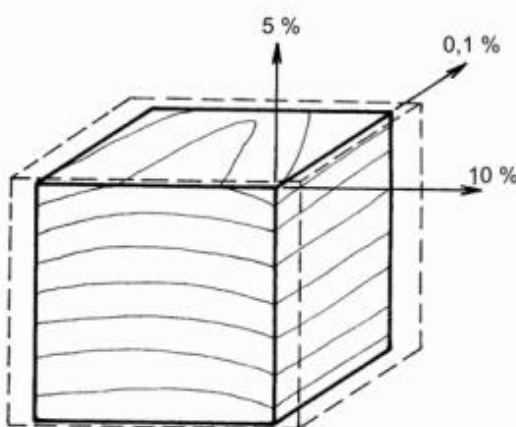
**Podélný řez tangenciální** (tečnový, fládrový) je rovnoběžný s podélnou osou kmene, a to v určité vzdálenosti od jeho středu. Vzhledem ke kuželovité stavbě kmene prochází tangenciální rovina paralelně s podélnou osou a protíná tak letokruhy pod malým odklonem, které pak vytvářejí parabolické tvary (fládry) (Čunderlík 2009).

## Směry na dřevě

Při pozorování fyzikálních a mechanických vlastností dřeva pozorujeme, že měřené hodnoty dané vlastnosti se mění v závislosti na směru, ve kterém jsou sledovány. Porozumění směrů (Obr. 9) je základní podmínkou pro správné používání dřeva. V praxi je důležité věnovat pozornost bobtnání a sesychání. Po ponoření dřeva dlouhodobě do vody, dřevo nasákne vodu do svojí struktury a zvětší tak svůj objem, průměrné hodnoty pro naše dřeviny jsou u podélného bobtnání 0,1-0,4 %, v radiálním směru 3-6 % podélný směr 6-12 %. Dřevo má v každém anatomickém směru různou hodnotu sledovaných vlastností, tuto vlastnost nazýváme anizotropií dřeva. Naopak materiály, které tyto vlastnosti nemají, nazýváme izotropní (Horáček 1998, Čunderlík 2009).

Pro dřevo jako anizotropní materiál se rozeznávají tři základní anatomické směry:

- podélný směr (l),
- příčný radiální směr (r),
- příčný tangenciální směr (t).



**Obr. 9** Zvětšení rozměrů v důsledku bobtnání (Čunderlík 2009)

**Podélný směr** (axiální) je veden podél osy kmene, tento směr je kolmý na plochu příčného řezu. Můžeme ho určit pomocí orientace podélných vláken, kde je vycházeno ze skutečnosti, že struktura dřeva je z 70-90 % z vláknitých

elementů, které jsou orientovány paralelně s podélnou osou kmene (Čunderlík 2009).

**Příčné směry** mohou být vedeny buď kolmo na letokruhy nebo jako tečna k letokruhům. Pokud vedeme příčný směr kolmo na letokruh, resp. shodně s dřeňovým paprskem, mluvíme o **příčném radiálním směru**. **Příčný tangenciální směr** je ve směru tečny k letokruhům a je kolmý na plochu příčného řezu (Čunderlík 2009).

### 3.2. Fyzikální vlastnosti dřeva

Dřevo tak jako každý materiál má své výhody i nevýhody. Do jeho předností lze zařadit izolační vlastnosti, opracovatelnost, mechanické vlastnosti vzhledem ke své hmotnosti atd. Nevýhodami jsou hořlavost, přírodní vady dřeva, rozměrová nestálost atd. Tyto vlastnosti, ať už výhody či nevýhody, ovlivňují základní charakteristiky dřeva, do nich můžeme zařadit anizotropii, hygroskopicitu a nehomogenitu (Gandelová a kol. 2009).

**Anizotropie dřeva** – anizotropie dřeva se vyznačuje rozdílnými vlastnostmi v každém základním směru (radiální, tangenciální, podélný), to je dáno elementární stavbou dřeva (Gandelová a kol. 2009).

**Hygroskopicita dřeva** – dřevo jakožto hygroskopický materiál, má vlastnost vázat a odevzdávat svou vlhkost v závislosti na okolní vlhkosti. Negativním důsledkem hygroskopicity je rozměrová nestálost (bobtnání, sesychání), taktéž snižování a zvyšování mechanických vlastností (Gandelová a kol. 2009).

**Nehomogenita** – znamená to, že struktura dřeva je nestejnorodá a projevuje se už na mikroskopické rovině (struktura buněčné stěny, struktura pletiv), dále pak na makroskopické úrovni (letokruhy, dřeňové paprsky, jádro, vady) (Gandelová a kol. 2009).

Fyzikálními vlastnostmi označujeme ty, které sledujeme bez porušení chemického složení a celistvosti dřeva. Můžeme je sledovat hmatem, čuchem, sluchem, měřicími přístroji, které neporušují strukturu dřeva (Gandelová a kol. 2009).

### 3.2.1. Vlhkost

Vlhkostí dřeva chápeme obsah vody, který se nachází ve dřevě. Dřevo je hygroskopický materiál, který dokáže vodu, jak přijímat, tak jí odevzdávat, a to jak ve skupenství plynném, tak kapalném. Každá změna vlhkosti dřeva ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva, rozměrovou stálost a hustotu. Pro výpočty rozlišujeme dvě základní vlhkosti, absolutní a relativní (Šlezingerová a kol, 1996).

Absolutní vlhkost dřeva  $w_{abs}$  je vyjádřena podílem hmotnosti vody ku hmotnosti absolutně suchého dřeva. Používá se pro výpočty fyzikálních a mechanických vlastností dřeva.

$$w_{abs} = \frac{m_w - m_o}{m_o} 100 (\%) \quad (1)$$

kde:

$m_w$  hmotnost vlhkého dřeva (g, kg)

$m_o$  hmotnost absolutně suchého dřeva (g, kg)

Relativní vlhkost dřeva  $w_{rel}$  lze vyjádřit jako podíl hmotnosti vody ku hmotnosti mokrého dřeva. Tato vlhkost se používá tam, kde je potřebné znát procentuální zastoupení obsahu vody z celkové váhy mokrého dřeva (Horáček 1998).

$$w_{rel} = \frac{m_w - m_o}{m_w} 100 (\%) \quad (2)$$

kde:

$m_w$  hmotnost vlhkého dřeva (g, kg)

$m_o$  hmotnost absolutně suchého dřeva (g, kg)

Podle umístění vody ve struktuře dřeva rozdělujeme na vodu chemicky vázanou, vázanou a vodu volnou.

**Voda chemicky vázaná** – je součástí chemických sloučenin. Ze dřeva ji nelze odstranit jiným způsobem než spálením, proto je součástí dřeva i při absolutní vlhkosti. Nemá žádný vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti (Horáček 1998).

**Voda vázaná** – někdy nazývána jako hygroskopická, se vyskytuje v buňkových stěnách a je vázaná na vodíkové můstky. Ve dřeva se pohybuje v rozmezí 0 % do BNV (průměrné hodnoty pro naše dřeviny okolo 22 až 35 %,

pro výpočty se používá 30 %). BNV – bod nasycení vláken je definován jako stav dřeva, kdy dřevo obsahuje jen vodu vázanou. Má největší vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti (Horáček 1998).

**Voda volná (kapilární)** – zaplňuje ve dřevě lumény a mezibuňkové prostory. Vyskytuje se ve dřevě pouze tehdy, pokud jsou buňkové stěny zaplněny vodou vázanou. Na vlastnosti dřeva nemá tak velký vliv jako voda vázaná (Požgaj a kol. 1993).

### Bobtnání a sesychání

Pokud dochází k odpařování vody volné, tak dřevo nepodléhá rozměrovým změnám. Mění-li se vlhkost v rozmezí vody vázané, dřevo své rozměry mění, to má největší vliv na bobtnání a sesychání. To je způsobeno oddalováním a přibližováním fibrilární struktury, které jsou umístěny v buněčné stěně. Hlavní vliv na bobtnání a sesychání mají fibrily orientované v buněčné stěně. Největší podíl na stavbu buněčné stěny má sekundární vrstva buněčné stěny  $S_2$ , která tvoří až 90 %, kde se fibrily neodchylují ( $15-30^\circ$ ) od podélné osy. Největší bobtnání a sesychání dochází ve směru tangenciálním, méně pak v radiálním, co se týče podélného směru, je díky podélné orientaci fibril hodnota nejmenší.

**Bobtnání** – označujeme vlastnost dřeva zvětšovat své rozměry, a to v rozsahu od 0 % do BNV. Rozlišujeme bobtnání v jednotlivých směrech (lineární) podélném, radiálním, tangenciálním nebo plošné či objemové. Bobtnání v jednotlivých anatomických směrech se dá vyjádřit jako poměr  $a_t : a_r : a_l = 20 : 10 : 1$  (tangenciální : radiální : podélné) (Gandelová a kol. 2009). Bobtnání je vyjádřeno pomocí následujícího vzorce:

$$\alpha_i = \frac{a_{iw2} - a_{iw1}}{a_{iw1}} 100 (\%) \quad (3)$$

kde:

$\alpha$  rozměr tělesa, plocha, objem ( $\text{mm}$ ,  $\text{mm}^2$ ,  $\text{mm}^3$ )

$i$  index udávající směr, plochu, objem

$w_1$  vlhkost před bobtnáním

$w_2$  vlhkost po bobtnání

Pro praktické využití je dobré znát procentuální změnu rozměrů, pokud se vlhkost změní o 1 %, k tomu je potřeba vypočítat koeficient bobtnání:

$$K\alpha_i = \frac{\alpha_i}{w_2 - w_1} (\%/ 1\%) \quad (4)$$

Kde:

$\alpha_i$  bobtnání (%)

**Sesychání** – označujeme schopnost dřeva zmenšovat rozměry při ztrátě vody vázané. Sesychání můžeme vyjádřit jako:

$$\beta_i = \frac{a_{iw1} - a_{iw2}}{a_{iw1}} 100 (\%) \quad (5)$$

kde:

$\alpha$  rozměr tělesa, plocha, objem (mm, mm<sup>2</sup>, mm<sup>3</sup>)

$i$  index udávající směr, plochu, objem

$w_1$  vlhkost před bobtnáním

$w_2$  vlhkost po bobtnání

Stejně jako u bobtnání lze stanovit koeficient sesychání:

$$K\beta_i = \frac{\beta_i}{w_1 - w_2} (\%/ 1\%) \quad (6)$$

Kde:

$\alpha_i$  sesychání (%)

### 3.2.2. Hustota dřeva

Hustota dřeva se charakterizuje jako podíl hmotnosti dřeva ku jeho objemu, nejčastěji se udává v kg/m<sup>3</sup> nebo g/cm<sup>3</sup>. Jde o vlastnost, která ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva

#### Hustota dřevní substance

Dřevní substance je hmota buněčných stěn bez pórů a mezibuněčných prostor. Můžeme ji vyjádřit vztahem:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} (\text{kg/m}^3) \quad (7)$$

kde:

- $\rho_s$  hustota dřevní substance (kg/m<sup>3</sup>)  
 $m_s$  hmotnost dřevní substance (kg)  
 $V_s$  příslušný objem (m<sup>3</sup>)

Dřevo je pórovitý materiál, který je tvořen i mezi buněčnými prostory a lumeny cév. Proto je jeho hustota nižší (350-800 kg/m<sup>3</sup>) než hustota dřevní substance 1460-1570 kg/m<sup>3</sup>. Hustota dřevní substance je závislá od chemického složení dřeva. Průměrná hustota základních stavebních látek je u celulózy 1555 kg/m<sup>3</sup>, hemicelulózy 1500 kg/m<sup>3</sup> a ligninu 1390 kg/m<sup>3</sup>. Jelikož je podíl těchto látek u dřevin podobný, nezáleží na druhu dřeviny. Jako průměrná hodnota hustoty dřevní substance pro všechny dřeviny se uvádí 1530 kg/m<sup>3</sup>. Rozlišujeme následující hustoty: hustotu dřevní substance, hustotu dřeva, redukovanou hustotu dřeva (Gandelová a kol. 2009).

## Hustota dřeva

Hustota dřeva udává hmotnost objemu dřeva při určité vlhkosti. Kvůli působení vlhkosti na hustotu rozeznáváme základní stavy:

Hustota vlhkého dřeva se vypočítá jako podíl hmotnosti a objemu dřeva, přičemž hmotnost a objem musí být při stejné vlhkosti.

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (8)$$

kde:

- $\rho_w$  hustota vlhkého dřeva (kg/m<sup>3</sup>)  
 $m_w$  hmotnost vlhkého dřeva (kg)  
 $V_w$  objem vlhkého dřeva (m<sup>3</sup>)

Hustota absolutně suchého dřeva se vypočítá jako podíl hmotnosti a objemu dřeva, přičemž uvedené veličiny musí být dosazeny při nulové vlhkosti. Tato hustota se používá pro porovnání teoretických výpočtů (Gandelová a kol. 2009).

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (9)$$

kde:

- $\rho_o$  hustota suchého dřeva (kg/m<sup>3</sup>)  
 $m_o$  hmotnost suchého dřeva (kg)



$V_0$  objem suchého dřeva (m<sup>3</sup>)

Hustota při 12 % vlhkosti je podíl hmotnosti dřeva a objemu dřeva, při dosažení do vzorce musí být hodnoty dosazeny při vlhkosti 12 %. Jedná se o hustotu dřeva, kterou udává platná norma a její dosaženo při dlouhodobém vystavení dřeva běžným podmínkám (vlhkost = 65 %, teplota 20 °C).

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (10)$$

kde:

$\rho_{12}$  hustota dřeva při 12 % vlhkosti (kg/m<sup>3</sup>)

$m_{12}$  hmotnost dřeva při 12 % vlhkosti (kg)

$V_{12}$  objem dřeva při 12 % vlhkosti (m<sup>3</sup>)

Ze všech známých dřevin se za nejtěžší dřevo považuje dřevo guajaku s hustotou  $\rho_0 = 1363 \text{ kg/m}^3$ , a to v absolutně suchém stavu, naopak dřevo balzy je považováno za nejlehčí s hustotou v absolutně suchém stavu  $\rho_0 = 130 \text{ kg/m}^3$  (Horáček 1998).

### Redukovaná hustota dřeva

Redukovaná hustota dřeva je charakterizována podílem hmotnosti absolutně suchého dřeva a jeho objemu při určité vlhkosti. Tato hodnota uvádí, kolik sušiny je v nabobtnaném objemu dřeva.

$$\rho_{rw} = \frac{m_0}{V_w} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (11)$$

kde:

$\rho_{rw}$  redukovaná hustota dřeva (kg/m<sup>3</sup>)

$m_0$  hmotnost suchého dřeva (kg)

$V_w$  objem dřeva při určité vlhkosti (m<sup>3</sup>)

Redukovaná hustota při vlhkosti 0 % se shoduje s hustotou absolutně suchého dřeva  $\rho_0$ . Se zvyšující se vlhkostí až do meze hygroskopicity tato hodnota klesá, poté se nemění, to je zapříčiněno tím, že objem dřeva nad mezí zůstává stejný. Takto označujeme konvenční hustotu dřeva  $\rho_k$  nebo redukovanou hustotu dřeva v čerstvém stavu  $\rho_{rč}$ , která nám charakterizuje, kolik suché dřevní hmoty se nachází v maximálně nabobtnaném objemu dřeva.

Můžeme ji vyjádřit podílem hmotnosti absolutně suchého dřeva a objem dřeva při vlhkosti nad mezí hygroskopicity (Horáček 1998).

$$\rho_{rc} = \rho_k = \frac{m_o}{V_{max}} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (12)$$

kde:

$\rho_k$  konvenční hustota dřeva (kg/m<sup>3</sup>)

$m_o$  hmotnost suchého dřeva (kg)

$V_{max}$  objem dřeva nad mezí hygroskopicity (m<sup>3</sup>)

### 3.2.3. Teplota

Struktura dřeva je při různých technologických postupech (plastifikace, lisování, defibrilace, sušení, atd., vystavena teplotnímu zatížení (rozsah teplot 70 až 200°C). Je potřeba zkoumat vliv tepelné úpravy na samotnou strukturu dřeva, abychom byli schopni posoudit vliv tohoto faktoru na pevnost dřeva a jeho následné použití. Při přeměně dřeva na konečný výrobek je potřeba počítat i s vlhkostí a jejím vlivem, její obsah ve dřevě má velký vliv na změnu mechanických vlastností dřeva. Vliv změny teploty má za následek výrazné kolísání modulu pružnosti, což je vysvětlováno fyzikálními a chemickými změnami ligninu, hemicelulóz, popřípadě amorfni části celulózy (Požgaj a kol. 1993).

Dřevěné konstrukce a dřevo samotné je v průběhu roku vystaveno různým teplotám, v létě může být teplota až kolem +50 °C a naopak v zimě až -45 °C (Vanin 1955).

Obecně můžeme říci, že mechanické vlastnosti se se zvyšující teplotou snižují, a naopak při mražení se vlastnosti zvyšují. Rozlišujeme tři základní rozdělení: teploty nízké (pod bodem mrazu), teploty střední (od bodu mrazu do počátku rozpadu dřeva) a vysoké teploty (od teploty rozkladu dřeva do bodu hoření). Dále pak rozeznáváme dobu působení těchto teplot, krátkodobý a dlouhodobý (Rowell 2005).

Vlastnosti dřeva jsou také ovlivňovány dobou a teplotou působící na dřevo, čím je vyšší teplota a delší doba působení, tím větší to má důsledky. Největší význam z hlediska technologie výroby (plastifikace, lisování, sušení, bobtnání,

atd.) dřevěných materiálů mají střední teploty z důvodu začínajícího rozkladu dřeva (Dubovský 1993, Požgaj a kol. 1993).

Díky vyššímu obsahu vody vázané společně s vhodnou teplotou se zlepšuje ohýbatelnost a tvárnost. Optimální vlhkost je okolo bodu nasycení vláken, v případě nulové vlhkosti je působení teplot nepodstatný. Vliv teploty a vlhkosti se začíná ukazovat při teplotě 60-90 °C. Pro úpravu dřeva ohýbáním je snaha dosáhnout co největšího stupně plastifikace, tak aby nedošlo k porušení lignino-sacharidové matrice a byly co nejvíce deformovatelné (Požgaj a kol. 1993).

### **3.2.3.1 Vliv zvýšených teplot**

Problematikou tepelného zpracování dřeva se začal zabývat v 80. letech dvacátého století francouzský a japonský dřevozpracující průmysl, a to za účelem větší odolnosti dřevěných výrobků používaných v exteriéru. S rostoucí poptávkou po obnovitelných přírodních materiálech s vysokou odolností se značně rozšířilo tepelně upravované dřevo. Výhodou termicky upraveného dřeva je, že pro jeho ochranu nejsou použity žádné impregnační látky, ale pouze různá teplota. Tento fakt může být významný pro použití dřeva, která mají menší propustnost buněk pro impregnační látky (Navi 2011).

Při působení vysokých teplot na dřevo dochází k nevratným přeměnám v chemické struktuře dřeva, změny jsou přímo závislé na technologii, použitém materiálu, parametrech, atd. Teplotní zatížení ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti, což je způsobeno kvůli deformačním odchylkám (trhliny, porušení) v anatomické stavbě dřeva. Protože každý faktor při působení teplot ovlivňuje konečné vlastnosti jinak, můžeme tak vytvořit materiál s požadovanými vlastnostmi. Pro průmyslové použití je dřevo vystaveno teplotám v rozmezí 180 až 260 °C, vystavení teplotě nad 300 °C dochází k významnému poklesu pevnosti dřeva, což není vhodné pro běžné použití (Hill 2006).

Z termických a fyzikálně – chemických analýz vyplývá, že celulóza se výrazně rozkládá při teplotách nad 300 °C, hemicelulóza se rozkládá už při teplotě pod 200 °C (nad 200 °C s exotermickým účinkem) a lignin se rozkládá při teplotě 300-400 °C a vyšších. Vysoké teploty mají za účinek pokles polymerizačního stupně a vzrůstající zastoupení krystalické části. Lignin zaplňuje

mezery mezi buňkami, má termoplastické vlastnosti, je využíván u plastifikace dřeva (Bhuiyan 2000, Reinprecht 2008).

Rozklad celulózy probíhá mírně do teploty 250 °C, v rozsahu teplot 250-350 °C je velmi značný, řetězce celulózy se zkracují a klesá množství -OH skupin, které vážou vodu. K počátečním degradacím může docházet už okolo 200 °C, což se připisuje rozkladu náchylnější amorfni části celulózy (Yildiz 2005, Hill 2006).

### **3.2.2.3. Vliv nízkých teplot**

Nízkou teplotou jsou označovány jako teploty pod bodem mrazu. Jejich vliv na mechanické vlastnosti závisí také na vlhkosti. Se zvyšováním vlhkosti, a to nad mez hygroskopicity a působení nízkých teplot, se pevnost dřeva zvyšuje. Se stoupající vlhkostí a nízké teplotě se vytváří led v lumenech dřeva, který má za následek zvýšení pevnosti dřeva (Matovič 1993).

Vlastnosti dřeva jsou více ovlivněny při vlhkosti nad mezí hygroskopicity než pod ní. Co se týče zkoumání nízkých teplot a jejich vlivu na strukturu dřeva, tak doposud nebylo provedeno tolik studií jako na působení teplot vysokých. Přesto se v praxi setkáváme s různými příklady působení nízké teploty na dřevo, a to v dřevěných konstrukcích, kde spolupůsobí kovové spojovací prostředky a dřevo při teplotní zátěži (Hernández 2014, Zhao 2015).

Větší obsah vlhkosti společně s nízkou teplotou ve dřevě mají za následek náhlé změny na pevnost dřeva. Během zamrznání vody ve dřevě se vytváří ledová mřížka. Obsah vody, který může zamrznout ve dřevě, je závislý na průměru lumenů v samotné struktuře dřeva a množství rozpuštěných látek ve vodě. Čím je tloušťka buněčné stěny silnější a čím je větší koncentrace roztoku, tím je potřeba nižších teplot k zamrznutí vody uvnitř lumenu. Při teplotě -3 °C ve dřevě začíná zamrznat voda volná při -10 °C pak voda vázaná. Pokud hodnoty dosáhnou -25 °C, ve dřevě zůstává cca 10 % vody v kapalném stavu. Následující změny spojeny s přeměnou vody na led si vyžadují mnohem nižší teploty (Campean a Perelygin 1965).

Mikrotrhliny na buněčné stěně vznikají převážně v zimních měsících, kdy dochází k pozvolnému a cyklickému zamrznání vody. Szmotku (2011) zkoumal vznik mikrotrhlin, a to u třech skupin vzorků, které byly různě teplotně zatíženy

při stejné vlhkosti 65 %. První skupina byla po dobu 1 dne zamražena na teplotu  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , druhá skupina též na  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a to po dobu 1 týdne. Třetí skupina byla cyklicky zatížena na  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  na 1 týden, poté byly vzorky ohřáty na  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  po dobu 12 hodin, takto se cyklus opakoval celý 1 týden. Po ukončení tohoto výzkumu a důkladnému prozkoumání vzorků pod mikroskopem bylo zjištěno, že největší trhliny se vyskytnuly na příčném řezu, a to v místech mezi letním a jarním dřevem, kde dochází k pnutí mezi jarními a letními buňkami. Délky trhlin objevujících se v první a druhé skupině se pohybovala okolo 200-500  $\mu\text{m}$ , u třetí skupiny byly rozměry podobné až na výjimky, které dosahující 800  $\mu\text{m}$ . Cyklické namáhání vzorků po dobu 1 týdne neměly na vytvoření trhlin nějak zásadní vliv (Szmotku 2011).

V roce 1930 byly poprvé provedeny testy vlivu nízkých teplot a jejich účinku na ohybovou pevnost borovice, dřevo bylo vystaveno teplotě od  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , po vyhodnocení výsledků bylo zjištěno, že se snižující se teplotou se pevnost zvyšuje a naopak. Solncev a Panfilov (1965) zkoumali vliv teploty pod bodem mrazu na borovicové, dubové a břízové dřevo, nechali dřeviny navlhnout do bodu nasycení a zmrznout při teplotě  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pro konečné vyhodnocení a srovnání pokusu bylo zkoumáno i nezamrznuté dřevo stejných dřevin při vlhkosti bodu nasycení. Po zkouškách a následném zhodnocení výsledků byla zjištěna pevnost v tlaku podél dřeva a ohybová pevnost zamrznutého dřeva je pro všechny testované dřeviny o cca 35 % větší, štípatelnost a pevnost ve smyku o 75 % a přerážecí práce (rázová houževnatost) o borového zmrzlého dřeva snížila dvojnásobně a o 9 % také u dubového dřeva (Perelygin 1965, Matovič 1993).

Šuklin (1965) zjišťoval působení teplotního cyklického zatížení na mechanické vlastnosti dubového a borového dřeva v různých cyklech, při teplotě od  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a různém obsahu vlhkosti (0, 12, 23 %), počet cyklů byl v rozsahu 40, 80 a 120. Po vyhodnocení této studie bylo zjištěno, že čím více cyklů působí na dřevo, tím se hodnoty mechanických vlastností zmenšují, a to při všech variantách teploty a vlhkosti (Perelygin 1965).

### **3.3. Technologické vlastnosti dřeva**

Dřevo jako přírodní anizotropní materiál má své nenahraditelné vlastnosti a díky nim má široký záběr použití. Při nízké hmotnosti má dřevo relativně dobré

pevnostní vlastnosti, tyto vlastnosti jsou ovlivňovány na druhu a době zatížení. Mechanické vlastnosti dřeva se dají popsat jako schopnost dřeva odolat vnějšímu zatížení (Požgaj a kol. 1993).

Mechanické vlastnosti se dělí na tři skupiny: základní, odvozené a technologické. Mezi základní se řadí pružnost, pevnost, plastičnost a houževnatost. Odvozené vlastnosti jsou tvrdost, odolnost proti tečení, odolnost proti trvalému zatížení a odolnost proti únavovému zlomu. Poslední skupinou jsou technologické vlastnosti dřeva, mezi které patří štípatelnost, opotřebovatelnost, impregnovatelnost, ohýbatelnost a schopnost dřeva držet spojovací prostředky. Jak fyzikální, tak i mechanické vlastnosti mají anizotropní charakter.

U mechanických vlastností je potřeba rozlišovat mechanické namáhání, které můžeme popsat jako vzájemné působení mezi dřevem a působením vnějších a vnitřních sil. Důsledkem těchto působení mohou být změny tělesa, a to buď trvalého nebo dočasného charakteru. Rozlišujeme základní druhy podle vznikajícího napětí ve struktuře dřeva, které je vyvolané vnější silou. Vnitřní napětí je možné popsat jako rozsah vnitřních sil dřeva, které ve struktuře vznikají na reakci od vnějších sil. Matematicky můžeme napětí charakterizovat jako hodnotu vnitřní síly vztaženou na plochu tělesa.

Pokud ve dřevě vnitřní síly působí kolmo na průřez tělesa, označujeme toto napětí jako normálové. Nejběžnějším výskytem normálového napětí je zatížení tělesa v tahu a tlaku. Dalším druhem napětí, se kterým se můžeme setkat, je tangenciální (smykové) napětí, což lze popsat jako působení sil v rovině průřezu. Jako příklad tohoto napětí můžeme uvést kombinaci normálového a tangenciálního napětí, což si v praxi lze představit jako prostý ohyb (Gandelová a kol. 2009).

## Základní mechanické vlastnosti

**Pružnost** – je schopnost dřeva navrátit se do původního tvaru a polohy při uvolnění vnějších sil působících na těleso. Vyjadřujeme jí veličinou modul pružnosti (vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci).

**Pevnost** – nám charakterizuje schopnost materiálu proti jeho trvalému porušení. U zkoušení mechanických vlastností se setkáváme s veličinou mez

pevnosti. Tuto mez považujeme za bod, kdy při zkoušení materiálu dojde k trvalému porušení dřeva.

**Plastičnost** – je schopnost dřeva vlivem vnějších sil změnit své původní rozměry, a to bez vnějších znaků porušení. Začíná se projevovat až po přesáhnutí meze úměrnosti (Požgaj a kol. 1993).

### Odvozené a technologické vlastnosti

Do této kategorie vlastností zařazujeme ty, jenž vyvolávají komplikované stavy napětí a nemůžou být zařazené do vlastností základních.

**Houževnost dřeva** – je mechanickou prací, která je potřeba na vytvoření plastické deformace. Rozlišujeme rázovou a dynamickou houževnatost.

**Tvrдость dřeva** – charakterizujeme jako schopnost dřeva odporovat vtlačování jiného předmětu do samotné struktury dřeva. Rozlišujeme statickou a dynamickou tvrđost. Tato vlastnost má význam u volby podlahoviny, řezání, loupání, frézování, atd.

**Štípatelnost** – schopnost dřeva klást odpor proti vnikání klínu do struktury dřeva a rozdělení tak na dva díly. Hodnoty štípaní mají význam pouze ve směru vláken v radiální a tangenciální rovině.

**Opatřebovatelnost dřeva** – schopnost povrchových vrstev dřeva odolávat proti opakovanému porušování povrchu dřeva.

**Ohýbatelnost dřeva** – je vlastnost dřeva změnit svůj původní tvar při působení vnějších sil. Velikost poloměru ohybu se zvyšuje vlhkostí do BNV, pařením a vařením dřeva (Gandelová a kol. 2009).

#### 3.3.1. Schopnost dřeva držet mechanické spojovací prostředky

Jedná se o specifickou a prakticky velmi důležitou technologickou vlastnost dřeva. Je to schopnost materiálu v našem případě dřeva, držet mechanické spojovací prostředky jako jsou klíny, hřebíky, vruty, svorníky, skoby, atd. Znalost této vlastnosti se používá primárně u navrhování spojů ze dřeva, v dřevěných konstrukcích, nábytkářství, stolařství atd.

Při pronikání mechanického spojovacího prostředku do spojovaného materiálu dojde k jejímu částečnému poškození, zároveň pak ve dřevě vzniká pružná deformace, která vyvolává značný tlak na spojovací prostředek.

Vyvozeným tlakem vzniká tření, které má za následek držení mechanického prostředku. Schopnost držení spojovacích prostředků je závislé na různých faktorech: druh použitého materiálu (hustota, vlhkost, směr vláken, atd.), na druhu spojovacího prostředku (hřebík, vrut, sponka, atd. a jejich profilování). Pro zjištění hodnoty této vlastnosti určujeme statickou a dynamickou únosnost spojů (schopnost dřeva odporovat vnikání a vytahování spojovacího prostředku při statickém a dynamické zatížení) (Matovič 1993).

Statická únosnost dřeva - Postup zkoušky záleží na mechanickém spojovacím prostředku. Zpravidla se určuje jako síla vynaložená na vytažení (vniknutí) spojovacího prostředku do zkoušeného materiálu, veličina se udává v N nebo jako napětí vyvolané na jednotku plochy dotyku spojovacího prostředku (odpor materiálu proti vytažení) (Matovič 1993).

V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty pro hřebíky vtlačené kolmo na vlákna (radiální a tangenciální směr), pro hřebíky zaražené v podélném směru jsou v průměru hodnoty o 25 % menší, a to pro všechny dřeviny (Perelygin 1965).

**Tab. 2** Odpor proti vnikání a vytahování hřebíků (Perelygin 1965)

Dřevina	Průměr [mm]	Vlhkost [%]	Vtlačování [MPa]		Vytahování [MPa]	
			radiální	tangenciální	radiální	tangenciální
Borovice	3,5	8-10	2,52	2,47	2,02	1,97
		w > 30	1,55	1,5	1,69	1,6
	3	8-10	2,48	2,36	2,26	2,14
		w > 30	1,67	1,56	1,86	1,72
	2,5	8-10	2	1,95	1,48	1,43
		w > 30	1,43	1,35	1,62	1,48
Habr	3,5	8-10	8,87	9,9	5,93	6,91
		w > 30	6,3	7,71	6	6,77
	2,5	8-10	7,71	7,86	5,54	5,41
		w > 30	5,61	6,72	5,48	5,69

*Poznámka: všechny hřebíky byly vtlačeny do hloubky 40 mm, v radiálním i tangenciálním směru. Objemové hmotnosti: Borovice kg/m<sup>3</sup>, habr 730 kg/m<sup>3</sup>*

V radiálním a tangenciálním směru je odpor v průměru stejný. Odpor dřeva suchého (vlhkost okolo 8-10 %) proti vtlačování hřebíku je větší než u dřeva vlhkého. U dřeva vlhkého rozdíl není zřetelný. Odpor proti vnikání klesá se zmenšujícím se průměrem hřebíku u suchého dřeva, u dřeva vlhkého jsou hodnoty více méně stejné. Odolnost proti vytažení jak u hřebíků, tak u vrutů je



závislá na hustotě, vlhkosti dřeva, což můžeme pozorovat v tabulce 2, kde je vidět, že pro vnikání do dřeva habru je potřeba vynaložit téměř 4x větší sílu, jak u borovice (Perelygin 1965).

Obsah vlhkosti ve dřevě umožňuje snadnější vnikání spojovacího prostředku. Při vysychání dřeva se odpor snižuje, protože se snižuje pružnost vláken, jejich pružné deformace se mění na trvalé a držet spojovací prostředky s tím pádem zmenšuje. Schopnost dřeva držet spojovací prostředky při stejných podmínkách je u vrutů větší než u hřebíků, protože se k tření připočítává ještě odpor vláken vůči přetrhnutí a smyku. V tabulce 3 jsou porovnané hodnoty odporu proti vytažení hřebíků a vrutů. Z této tabulky je zřetelné, že síla na vytažení vrutu je průměrně dvakrát větší, jak pro hřebík stejného průměru vtlačeného do dvojnásobné hloubky (Matovič 1993).

**Tab. 3** Odpor dřeva proti vytažení vrutů a hřebíků (Matovič 1993)

Spojovací prostředek Rozměr (mm)		Dřevina					
		Borovice		Dub		Lípa	
		Tang.	Rad.	Tang.	Rad.	Tang.	Rad.
Vrut	2,6 x 22	75	74	108	121	47	51
Hřebík	2,6 x 40	29	32	68	67	23	29

### 3.4. Spojovací prostředky dřevěných konstrukcí

Nejstarším druhem spojů dřevěných konstrukcí jsou tesařské spoje zajišťované štípanými kolíky. Ty mají čtvercový, kónický tvar a byli zatlučeny do kruhových otvorů. Na konci 18. století se u nás začíná zpracovávat kulatina na fošny, prkna, trámký, atd. Tyto materiály byly spojovány jednoduchými prostředky jako jsou hřebíky, svorníky a hmoždíky. S většími konstrukčními nároky a postupným vývojem jsou spojovací prostředky stále důmyslnější a odolnější. V současnosti pro zajišťování nebo spojování dřevěných konstrukcí jsou používány vruty, hřebíky, sponky, svorníky, hmoždíky, styčnickové desky, lepené spoje, atd. Tesařské spoje zabezpečené společně se spojovacími prostředky vytvářejí tzv. poddajný spoj, což znamená, že při působení vnější síly na

konstrukci nastane ve spoji malý prokluz (posun). Jako nepoddajný spoj označujeme lepené spoje (Jelínek 2012).

Pevnost a stabilita kterékoli konstrukce (dřevěné, kovové, plastové, atd.) do značné míry závisí na spojovacích prostředcích, které spojují jednotlivé části dohromady. Výhodou dřeva jako konstrukčního materiálu je jeho snadná opracovatelnost, a s tím spojené snadné zavedení spojovacího prostředku (Douglas 2010).

Ke správnému návržení konstrukce patří návržení individuálních prvků, zvolení správného konstrukčního systému a jednoduchá montáž. Trvanlivost a použitelnou konstrukcí ze dřeva zaleží na vhodném návržení jednotlivých spojů a použití správného spojovacího prostředku. U dřevěných konstrukcí rozdělujeme spoje tesařsky vázané a spoje spojené spojovacími prostředky. Volba spojovacího prostředku je závislá na zatížení a únosnosti, ale také na estetickém hledisku, nákladech a technologii výroby. Je potřeba zohlednit způsob montáže a myšlenku architekta a projektanta. Z těchto důvodů je každá dřevěná konstrukce originál a není možno stanovit obecně platná pravidla pro konstrukční spoje. Zásada pro efektivní návržení konstrukce je použití jednoduchých spojů a malého počtu spojovacích prostředků v souladu s bezpečným užíváním konstrukce (Natterer a kol. 2001).

### **3.4.1. Lepené spoje**

Ze všech možných způsobů spojování je právě lepený spoj nejlepší možné řešení. Prvky napojované lepením se při zátěži chovají jako jednotný nosník a nedochází tak k prokluzu. Výhodou lepeného spoje je možnost vytvoření téměř libovolného průřezu a délky nosníku (lepené lamelové dřevo, plnostěnné vazníky, délkově nastavované dřevo). Další výhodou je vzájemné lepení OSB desek, rostlého dřeva, lamelového dřeva, překližky. Lepidlo pro spojování prvků používaných ve dřevěných konstrukcích má být voděodolné a odolné proti plísním. Před samotným lepením musí být dřevo ohoblované a vysušené minimálně na 15 % vlhkost, vysouší se uměle. Pro tyto účely se používají fenol-resorcinol-formaldehydová (PRF), resorcino-formaldehydová (RF) pryskyřičná lepidla a melamin-močovino-formaldehydová (MUF) lepidla. Pevnost lepeného spoje závisí na velikosti lepené plochy. Nejjednodušším

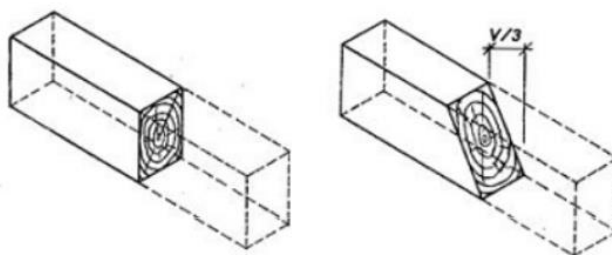
spojem je tzv. tupý sraz, nicméně má nejmenší lepenou plochu, pevnějším spojením je potom tzv. úkosový spoj s větší lepenou plochu. Co se týče lepených spojů v dřevěných konstrukcích, používají se pouze tzv. zubovité spoje, které mají největší lepenou plochu (Jelínek 2012).

### 3.4.2. Tesařské spojovací prostředky

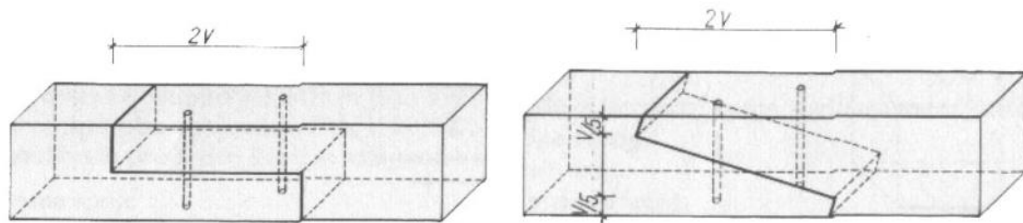
Jsou to nejdéle používané spoje dřevěných konstrukcí. Správná terminologie a názvy spojů jsou uvedeny v normě ČSN 73 3150 (1994). Vnější zatížení jsou přenášena pouze tlakovou silou do ostatních prvků konstrukce. Opracování spojů má být co nejpřesnější tak, aby nedocházelo k nežádoucím posuvům, kontaktní plochy na sebe mají, pokud možno co nejvíce dosedat, aby docházelo k přenosu sil celou styčnou částí. Samostatné nosné části mají do sebe těsně zapadat, tesařsky vázané konstrukce musí být náležitě zajištěny, což je provedeno kovanými hřebíky, dřevěnými kolíky, tesařskými skobami, svorníky, třmeny atd. Jejich nevýhoda je značné oslabení prvků a důraz na přesnost provedení. Konstrukční prvky mají být navrženy dle platných norem, dříve podle empirických vztahů. Opracování spojů probíhá strojově (CNC, motorová pila) nebo ručně (dláta, čepovací pila). V konstrukci nových krovů se používají už jen některé tesařsky vázané spoje, pouze rekonstrukci historických konstrukcí jsou prováděny podle tehdejších postupů.

Rozdělují se tři základní typy tesařsky vázaných konstrukcí:

- vazby podélné (Obr. 10 a 11) – srazy, spoje s příložkami a plátování,
- vazby příčné (Obr. 12 a 13) – zapuštění, lípnutí, zadrápnutí, čepování, přeplátování, osedlání, karpování
- vazby rozšiřující – pro deskové řezivo (prkna, fošny), srazy, překládání, drážkování (Jelínek 2008).

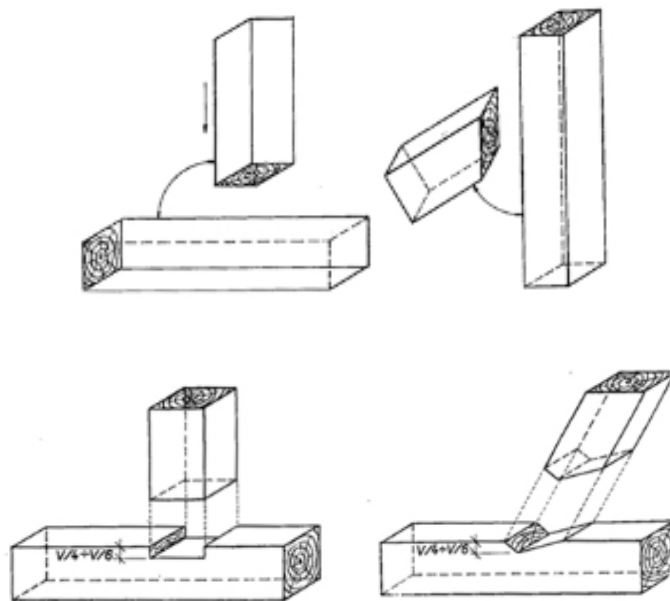


Obr. 10 Vazby podélné na sraz (Vaníček 1960)



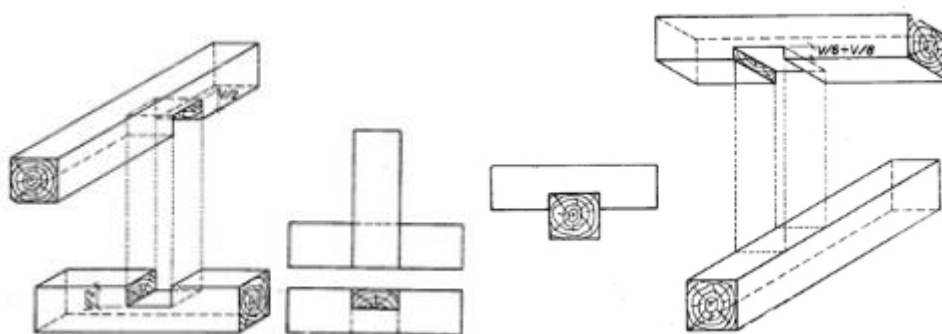
**Obr. 11** Vazby podélné – plátování (Vaníček 1960)

a) plátování jednoduché rovné zajištěné kolíky, b) plátování šikmé klesající zajištěné kolíky



**Obr. 12** Vazby příčné (Jelínek 2012)

a) lípnutí rovnočelné, b) lípnutí šikmočelné, c) kolmé zapuštění šikmočelné, d) šikmé zapuštění jednoduché



**Obr. 13** Vazby příčné (Jelínek 2012)

a) přelátování, b) kampování

### **3.4.3. Mechanické spojovací prostředky**

Mechanické spojovací prostředky dřevěných konstrukcí můžeme rozdělit dle způsobu rozložení a přenosu napětí v konstrukčních prvcích. Rozlišujeme je na dvě základní skupiny.

První skupinu zastupují spojovací prostředky kolíkového typu (hřebíky, sponky, vruty klasické, stavební vruty, svorníky). U tohoto typu prostředků dochází při přenosu sil, za prvé k jejich samotnému ohybu a za druhé k otlacení stěny otvoru a smykovému napětí od jejich dříku. Druhou skupinou jsou tzv. povrchové spojovací prostředky, což jsou vložené a zalisované hmoždíky, styčnickové desky s prolisovanými trny a tvarové části z ocelového plechu. U těchto spojovacích prostředků dochází k přenášení sil primárně na povrchu konstrukčního materiálu (Koželouh 1998).

Tyto prostředky jsou vyráběny v celé škále variant od různých výrobců. Pro statický výpočet je potřeba brát v úvahu platnou normu ČSN EN 1995-1-1 (2006), která se věnuje právě této problematice. Konkrétní informace a hodnoty pro výpočty spojovacích prostředků jsou udávány jejich výrobcem. Rozmístění a poloha spojovacích prostředků má mít souměrné uspořádání, je potřeba věnovat pozornost vzdálenosti od okrajů spojovaného materiálu (Jelínek 2012).

#### **3.4.3.1. Spojovací prostředky kolíkového typu**

Do této skupiny prostředků zařazujeme hřebíky, svorníky, vruty stavební a klasické, kolíky, sponky.

##### **3.4.3.1.1. Hřebíky**

Hřebíkové spoje (Obr. 14) jsou nejrozšířenějším, nejstarším, nejlevnějším a nejjednodušším spojovacím prostředkem. Klasické stavební hřebíky se skládají z několika částí, a to hladkého dříku kruhového průřezu (může být i čtvercový průřez), hlavičkou o dvakrát větším průměru než dřík a špičkou. Běžně se používají bez povrchové úpravy, které jsou výjimečně chráněny galvanizací. V konstrukci se používají převážně na spoje namáhané na stříh, větší odolnost proti vytažení se dá zajistit různou úpravou dříku jako například kroucením, drážkami. Zatlučování hřebíků je aplikováno ručně s pomocí kladiva nebo

automatickými hřebíkovačkami. Je pravidlem že by se měl připevňovat tenčí materiál k tlustějšímu. Při vnikání hřebíku do dřeva se vlákna téměř neporušují, ale dochází k jejich vychýlení a obepnutí okolo dřívku, pokud je tloušťka materiálu malá a předpokládá se rozštípnutí dřeva, špička hřebíku se naklepne. Tím při zarážení dochází k přerušování dřevních vláken. Dalším způsobem zamezení štípání dřeva je jeho předvrtání, a to zhruba o 0,85 průměru dřívku hřebíku. Výhodou předvrtání je, že hřebíky mohou být umístěny blíže k sobě a od okrajů dřeva, další předností je až o 50 % větší únosnost a zmenšení prokluzu takřka na polovinu oproti bez předvrtání (Jelínek 2012).



**Obr. 14** Nejpoužívanější typu hřebíků (Bostitch 2019)

a) klasický stavební hřebík, b) konvexní hřebík

#### **3.4.3.1.2. Sponkové spoje**

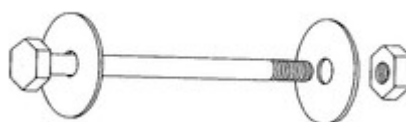
Nacházejí největší uplatnění pro přichycení deskového materiálu k nosnému podkladu. Sponky (Obr. 15) se vyrábějí buď s kruhovým, ale častěji obdélníkovým průřezem, a to s kosenými nebo symetrickými špičkami. Na zarážení sponek do dřeva nebo do materiálu na bázi dřeva se používají elektrické či pneumatické sponkovačky. Hlavní výhodou je rychlá realizace spojů, spoj má obsahovat minimálně dvě sponky. Co se týče pravidel pro sponkové spoje, tak jsou stejná jako pro spoje s hřebíky. Měli by být aplikovány pod úhlem 30°, pokud je úhel menší, únosnost se redukuje (Kuklík 2005).



**Obr. 15** Základní tvar sponky (Stanley Black & Decker Czech s.r.o. 2020)

### 3.4.3.1.3. Svorníkové spoje

Svorníky (Obr. 16) jsou dlouhé spojovací prostředky kolíkového typu, skládají se z šestihranné hlavy a hladkého dřívku na druhém konci, který je zakončen závitem. Pro použití v konstrukci se používají společně s podložkou vkládanou pod hlavu i maticí šroubu. Často se využívají pouze pro zajištění spoje s jiným nosným spojovacím prostředkem. Vyrábějí se v průměru dřívku 12 až 30 mm. Pro bezproblémové aplikování dovoluje platná norma předvrtání o 1 mm menší, než je průměr dřívku svorníku, tato vůle ovšem snižuje únosnost spojení (Koželouh 1998).



**Obr. 16** Svorník (Kuklík 2005)

Spoje jsou používány tam, kde je potřeba spojit dřevo větších tloušťek, matice se dotahuje tak, aby spojované prvky byly sevřené. Mohou být doplněny o hmoždíky, které vůle způsobené předvrtáním eliminují. Doporučuje se každý rok po dobu 3 let svorníkové spoje kontrolovat a popřípadě dotahovat. V České Republice se místo svorníků používají závitové tyče, které mají závit po celé své délce, oproti svorníku musí mít podložku spolu s maticí na obou koncích. Nejčastěji se vyrábí v délkách jednoho metru a stejných průměrů jako u svorníků. Jejich výhodou proti svorníků je možnosti metrovou tyč nařezat až na stavbě na

požadované rozměry a není potřeba objednávat svorníky konkrétních rozměrů. Pro nedostatečné znalosti chování závitových tyčí ve spoji se doporučuje snížit únosnost spoje součinitelem 0,8. Nejefektivnější aplikací závitové tyče je našroubování závitů do spoje, tím se eliminuje prokluz spoje, ale pro časovou náročnost se tento způsob nepoužívá. Tyče mohou být také doplněny o hmoždíky (Jelínek 2012).

#### 3.4.3.1.4. Kolíkové spoje

Klasické jednoduché kolíky mají štíhlý ocelový dřík bez závitů s hladkým povrchem další alternativou jsou samovrtné kolíky (Obr. 17), které jsou opatřeny na jedné straně vrtací hlavou a na straně druhé krátkým závitem proti vypadnutí. Vyrábějí se v průměru dřívku 6 až 30 mm, minimální průřez použitého kolíku má být 6 mm. Vyvrtané otvory pro kolíky mají mít stejný rozměr jako průměr kolíku. Tímto typem spojení můžeme spojovat jak spoje tzv. dřevo – dřevo nebo dřevo – ocel. Pokud je spojení společně s ocelovým plechem, díry v plechu mají být nejvíce o 1 mm větší než průměr dřívku. Ve spoji má být použity nejméně čtyři kolíky. Jejich předností jsou přenosy velkých sil, jednoduché montáž. Statické výpočty a rozmístění kolíku ve spoji se určí podobně jako u svorníkových spojů.



**Obr. 17** Samovrtné kolíky (SFS Group CZ s.r.o. 2020)

Další výhodou spojení dřevo – ocel je fakt, že můžeme spojit nebo napojit dřevo na betonovou konstrukci. Ve spojích jsou ocelové kolíky zatíženy a deformovány, a tím by měla být zajištěna jejich pozice a nevypadnutí ze spoje. Obvykle se do spojů místo některého z kolíků dá svorník nebo závitová tyč. U nás se kolíkové spoje téměř nepoužívají (Jelínek 2012).

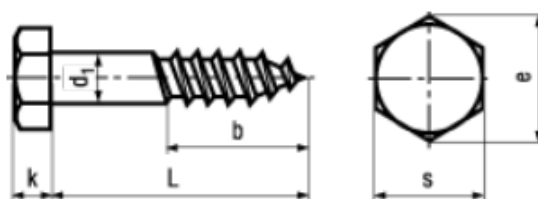


### 3.4.3.1.5. Spoje s vruty

Obecně se vruty navrhují tam, kde je potřeba větší únosnost spoje, mají větší pevnost než spoje s hřebíky. Spoje s vruty jsou vhodné pro spojování dřev, které jsou mechanicky nebo vlhkostně zatěžované. Co se týče používaných vrutů, tak je rozdělujeme na klasické a stavební. Šroubování vrutů jak stavebních, tak klasických probíhá buď ručně, elektrickými nebo akumulátorovými šroubováky (Halperin 1994).

### 3.4.3.1.6. Klasické vruty

Mají zápusťnou nebo nezápusťnou hlavu, hladký dřívík zakončený závitem. Používají se primárně na spojení ocelových pásů, kotev a přílozek ke dřevu. Jsou vhodné tam, kde na konstrukci působí chvění a vibrace a hřebíkový spoj by se tak mohl uvolnit. Klasické vruty (Obr. 18) se šestihrannou hlavou se využívají primárně v tesařských konstrukcích, průměr dřívíku má být nejméně 4 mm, dále se vyrábějí průměry 8, 10, 12, 16 a 20 mm, a to v délkách od 20 do 260 mm. Úsek závitové části je obvykle 60 % délky celkové, vnější průměr závitu je stejný jako hladkého dřívíku. Vrut může být doplněn o podložku přispívající k větší odolnosti proti protažení hlavy vrutu, při připojování deskového materiálu (OSB, dřevotřískové desky) se obvykle využívají vruty se zápusťnou hlavou (Jelínek 2012).



Obr. 18 Klasický vrut (Bossard s.r.o. 2019)

### 3.4.3.1.7. Stavební vruty

V dnešní době to jsou nejrozšířenější vruty, u nás jsou to tzv. vruty nové generace. Jsou navrženy tak, aby se nemuseli předvrtávat, pouze pro velmi dlouhé vruty a jejich správnému směřování ve dřevě se doporučuje předvrtání do hloubky 5 cm. Zhotovují se v několika úpravách dřívíku, a o průměrech 3 až 13

mm. Spoje se stavebními vruty jsou velmi stále a stabilní a dokáží pracovat s rozměrovou nestabilitou dřeva (Kuklík, 2013).

Vruty se vyrábějí buď to lisování nebo válcováním, a to ze zušlechtěné uhlíkové oceli. Jako povrchová ochrana proti korozi jsou chráněny niklováním, galvanickým zinkováním nebo pomosazením, pokud je vrut navrhován pro provozní třídu 3 má být vyroben z nerezové oceli. Vruty nové generace rozlišujeme na čtyři základní typy: stavební vrut v základní variantě, s dvouchodým závitem, s plným závitem a dvouzávitový stavební vrut (Kuklík 2005).

### Stavební vrut základní

Má částečný závit s ostrou špičkou, která umožňuje snadné vniknutí do dřeva, a to při mírném tlačení na hlavičku vrutu. Vyrábí se v délkách od 160 až do 400 mm, o průměrech 6 a 8 mm. Částečný jednochodý závit zapříčiňuje vysokou pevnost vrutu proti vytažení, zápusťná hlava je opatřena hvězdicovým otvorem „torxem“, který přenese dostatečný točivý moment pro zašroubování do materiálu. Zápusťná hlava má ze spodu několik drážek ulehčující zapaštění hlavičky do dřeva, torx minimalizuje vypadnutí šroubovacího nástavce na rozdíl od křížové hlavy. Zvýšení únosnosti proti protažení zápusťné hlavy lze zvýšit použitím vhodné podložky (Jelínek 2012).

Povrchová úprava vrutu je tvořena z galvanického zinku se žlutým nebo bílým chromátem vždy doplněným o kluzný lak. Pozinkování ochraňuje dřík a všechny součásti vrutu před korozi, na vrut se nanáší v minimální vrstvě 5 µm. Kluzný lak je součástí povrchové úpravy a je jen dalším uživatelským komfortem při manipulaci. Lakovaný dřík při zašroubování značně snižuje tření a zároveň spolu s konstrukcí samotného vrutu umožňuje pohodlné zašroubování bez předvrtání, ta část, která zůstává vystavena povětrnostním vlivům, slouží lak jako další ochrana proti korozi (HPM TEC s.r.o. 2020).

### Vrut s asymetrickým závitem

Vrut s asymetrickým, někdy označován jako s dvouchodým závitem, takto navržený závit umožňuje rychlejší vniknutí do dřeva. Ostrá špička je opatřena krátkým protizávitem zamezující rozštěpování dřeva v ploše a na krajích při vnikání špičky do materiálu, za částečným dvojchodým závitem se nachází

frézující závit, který umožňuje zašroubování vrutů i do větších hloubek a redukuje tak tření na části hladkého dřívku. Větší průměr zápuštné hlavy zajišťuje dobrou odolnost na protažení hlavičky vrutu, použitím podložky se odolnost dále zvyšuje. Nevýhoda použití podložky společně s vrutem je její celkové nezapuštění do povrchu dřeva, ze spodní strany je hlava vrutu opatřena šestnáct drážek usnadňující zapuštění (fischerwerke GmbH & Co 2020).

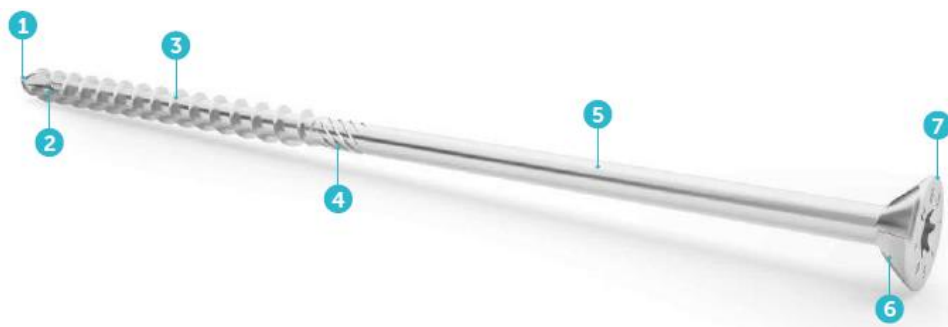
Vyrábějí se různé typy hlav stavebních vrutů. Rozeznáváme talířovou, šestihrannou a válcovou hlavu. Tam, kde potřeba vyvolat značnou svěrnou sílu bez použití podložky, tak se používá stavební vrut s talířovou hlavou. Šestihranná hlava se používá nejčastěji s podložkou, k jejímu vycentrování slouží kónická ploška pod hlavou při dotažení. Hlava válcová se společně s podložkami nepoužívají, úzká hlava umožňuje celkové zapuštění do dřeva (Kuklík 2005).

Vrut s plným závitem má úzkou válcovou hlavu nebo zápuštnou hlavou s frézovacími drážkami. Klasická ostrá špička je nahrazena závrtným hrotem, který má funkci vrtáku, a tím redukuje riziko štípnutí dřeva. Vyrábí se v průměru 6 až 10 mm, a to do délek až 1 m. Pro dobré statické působení je někdy potřeba zašroubovat vrut pod správným úhlem, to se zabezpečuje vhodným přípravkem dodávaným výrobcem (Jelínek 2012).

Dvouzávitový stavební vrut (Obr. 19) má stejně jako vrut s plným závitem válcovou hlavu. Mají dva závity, mezi nimi se nachází krátký hladký dřív, první ze závitů vnikající do dřeva má menší průměr, než druhý závit blíže k hlavě. Používají se ke spojení dvou trámů, a to bez jejich oslabení, hladký dřív musí být uprostřed spáry dvou spojovaných trámů. Pro konstrukční spojení musí být tyto vruty vždy ve dvojici, jeden vrut je namáhám na tah a druhý na tlak. Výhodou tohoto spojení je skrytí spojovacích prostředků, a tudíž jeho dobrá požární odolnost, dále pak vhodné použití do interiéru jako estetická záležitost. Jejich uplatnění nacházíme hlavně v nosných konstrukcích a rekonstrukcích, pro příklad:

- spojení roštů z více trámů,
- zvýšení únosnosti při rekonstrukci starých trámů,
- připojení vedlejšího trámu na hlavní,
- přípevnění krokví k vaznici a pozednici v osedlání,
- upevnění ztužujících pásku ke sloupu a vaznici,
- zesílení zářezu nosníku v místě uložení,

- zpevnění míst kolem otvorů v trámu,
- zesílení nosníku, a to v lokálních místech namáhaných na tlak nebo tah,
- možnost provedení nadkroevní izolace,
- spojení vazniček nad nosným prvkem,
- připojení vazniček do nosníku (Jelínek 2012).



**Obr. 19** Stavební vrut (ROTHOBLAAS SRL 2020)

1) samovrtný hrot, 2) zářez, 3) závit, 4) fréza, 5) dřík, 6) zapuštění, 7) hlava

### 3.4.3.2. Povrchové spojovací prostředky

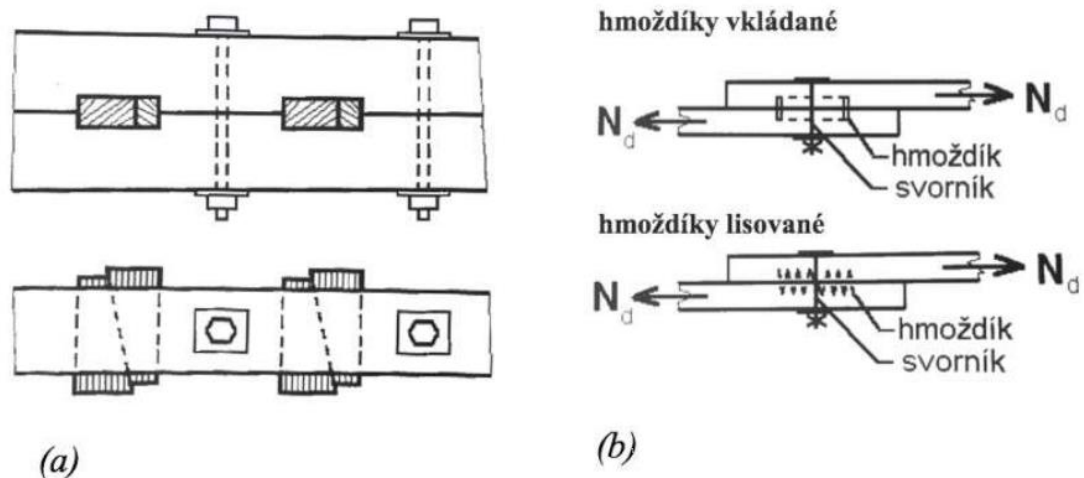
#### 3.4.3.2.1. Spoje s hmoždíky

Spoje s hmoždíky (Obr. 20 a 21) se vkládají mezi dva dřevěné trámy a omezují jejich vzájemné posunutí. Dokáží přenést velká zatížení, a to kvůli zapojení větší plochy materiálu, jsou zatěžovány hlavně na smyk a konstrukce musí být zabezpečeny několika svorníky. Rozlišujeme dřevěné a kovové hmoždíky (Koželouh 1998).



**Obr. 20** Hmoždíkový spoj (BOVA Březnice spol. s r.o. 2020)

Dřevěné hmoždíky mají většinou tvar obdélníkového hranolku nebo dvou klínů, podle jejich vložené polohy v konstrukci nosníku rozlišujeme příčné a podélné. Do předem připravených zářezů podle statického posouzení se dávají hmoždíky a společně se svorníky zajistí spolupůsobení trámů jako jeden nosník. Spojované nosníky se mohou sebe dotýkat ve smykové spáře, pro větší únosnost se může ponechat mezera. Dřevěné hmoždíky se v dnešní době používají hlavně u rekonstrukcí. Kovové hmoždíky se vyrábějí ve dvou provedeních, zalisované nebo vkládané. Vkládané hmoždíky jsou vkládány do vyvrtaných otvorů. Vyrábějí se v průměrech od 60 do 260 mm, tvar je vždy kruhový. Drážka pro hmoždík je vždy doplněna o vyvrtání otvoru pro svorník. Dříve se používaly tzv. Tuchschererovy kroužky. V České Republice se používají tzv. Bulldog, hmoždíky kruhového tvaru. Lisují se z tenkého plechu, na okrajích vytvářejí trojúhelníkové zuby. Proto aby styčné plochy spojovaných trámů byly co nejmenší, tak se můžou předem vyvrtat drážky odpovídající průměru a tloušťce hmoždíku. Rozlišují se oboustranné a jednostranné hmoždíky.



**Obr. 21** Spoje s hmoždíky (Jelínek 2012)

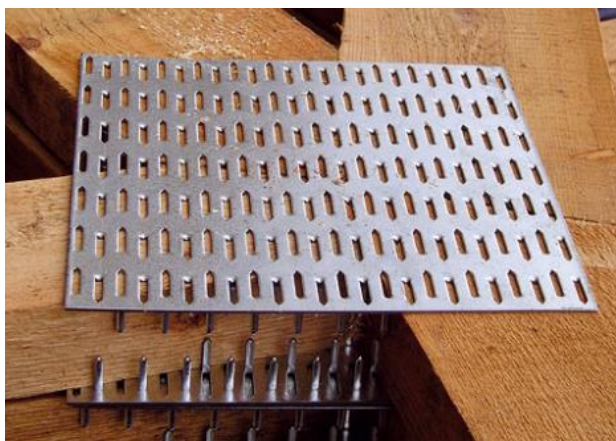
a) dřevěný hmoždík, b) ocelový hmoždík

Oboustranné se používají pro spolupůsobení „dřevo – dřevo“. Hmoždíky jsou rozmístěny podle statického výpočtu a každý je doplněn o svorník s podložkou. Jednostranné hmoždíky jsou určeny hlavně pro spojení „ocel – dřevo“, v menší míře pro „dřevo - dřevo“, jsou vhodné pro demontovatelné konstrukce. U oboustranných hmoždíků má svorník pouze fixační funkci, oproti tomu u jednostranných svorník a hmoždík působí společně. Otvor pro svorník ve hmoždíku musí odpovídat průměru svorníku s minimální odchylkou. Rozměry

hmoždíků a spojovaných dřev jsou dále popsány v platné normě ČSN EN 1995–1–1 (2006).

#### **3.4.3.2.2. Spoje se styčnickovými deskami z prolisovaného plechu**

Jejich nosnou částí je deska ze slabého pozinkovaného plechu (0,9 až 2,5 mm), z něhož lis vytlačí jednostranně orientované trny, průřez trnu připomíná tvar písmene V. Jsou asi desetkrát větší, než je tloušťka plechu, jednotlivé řady trnů mají opačný směr. Využití nachází při spojení dřevěného materiálu stejné tloušťky, nejvíce se však používají při konstruování styčnicku u dřevěných příhradových nosníků (Obr. 22 a 23).



**Obr. 22** Styčnicková deska z prolisovaného plechu (Kasper cz s.r.o. 2020)

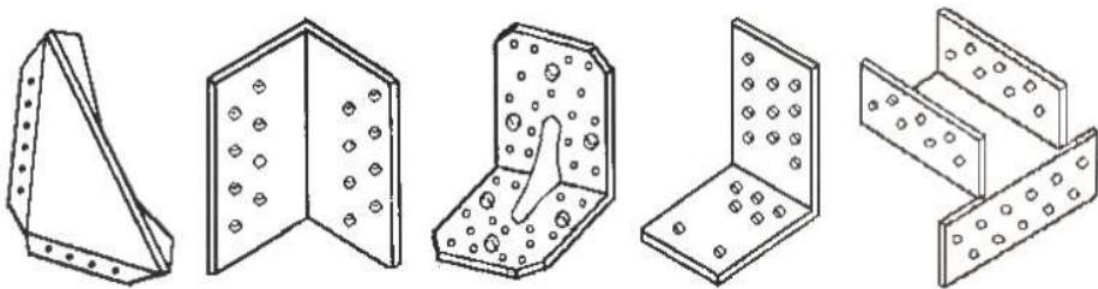


**Obr. 23** Příklady použití styčnickových desek (Kasper cz s.r.o. 2020)

#### **3.4.3.2.3. Spoje s tvarovými součástmi z ocelového plechu**

Používají se tam, kde je potřeba napojit nebo připojit trámy na tzv. na tupo, a to bez oslabení průřezu. Pro připojení trámy na vaznici se použije patka

nosníku, pro délkové napojení nosníku jsou určeny trámové spojky, pro křížové napojení pak úhelníkové plechy. Tvarované spojovací prostředky z ocelového plechu (Obr. 24) mají na sobě rozmístěny otvory pro hřebíky, počet hřebíků ve spoji předepíše statik. Používají se konvexní někdy také označovány jako kroužkové hřebíky, zatloukají se bez předvrtání, mají dobrou únosnost proti vytažení a zabezpečují trvalost spoje. Přednosti těchto spojů je jejich snadná a rychlá montáž, stálost spojů, neoslabují spojované prvky. V dnešní době vystřídaly běžné tesařské spoje, jedním z důvodů je menší pracnost a časová náročnost.



**Obr. 24** Spoje s tvarovými součástmi (Jelínek 2012)

## 4. Metodika

Obsah této kapitoly seznamuje čtenáře o samotném provedení experimentu. Informuje o použitém materiálu a postupu zkoušek. Jednotlivé podkapitoly se zaměřují na podrobné popsání určitých náležitostí, které se nemohou vzhledem ke správnosti zkoušky vynechat a musejí se dodržet. Provedený experiment byl uskutečněn v souladu s platnými normami, aby mohly být výsledky porovnávány mezi sebou i s jinými pokusy. Průběh zkoušky může sloužit i jako předloha pro znovu zopakování pokusu nebo ověření popsaného postupu, jestli se postupovalo podle normy. Záměrem experimentální části této diplomové práce je stanovení parametru na vytažení a odporu dřeva proti vytažení vrutu ze dřeva.

Měření se členilo na jednotlivé části:

- 1) Příprava zkušebních vzorků
- 2) Klimatizování zkušebních těles, vážení, měření těles
- 3) Teplotní zatížení
- 4) Zjišťování únosnosti vrutů
- 5) Vyhodnocení

### 4.1. Materiál

Pro tento experiment byly vybrány dva zástupci jehličnatého dřeva, a to modřínu a smrku. Co se týče výběru spojovacích prostředků tak byly zvoleny tři druhy vrutů o stejném průměru, délce a materiálu.

#### Dřeviny

**Smrk ztepilý** (*Picea abies* (L.) Karst.) patří do kategorie jehličnanů, běžně se vyskytuje v různých částech Evropy. V jižní části Evropy se vyskytuje ve vyšších nadmořských výškách, horských hřebenech až po Balkán, v severní části roste od nížin Německa a Polska až po Skandinávii. Na našem území je smrk nejrozšířenější jehličnatá dřevina. Dříve se smrk vyskytoval v horských oblastech okolo 800-900 metrů. V nížinách závisí na vzdušné a půdní vlhkosti (Osvald 2003).

Dožívá se okolo 200-300 roků a dosahuje výšky 35 až 60 metrů. Průměrné hodnoty hustoty smrku jsou u suchého dřeva 420 kg/m<sup>3</sup>, při 12 % vlhkosti 450



kg/m<sup>3</sup> a při konvenční hustotě pak 370 kg/m<sup>3</sup>. Má převážně průběžný rovný kmen dorůstající do průměru 1 - 1,5 metru (okolo 30-40 cm ve 100 letech). Koruna stromu má kuželovitý tvar a je špičatá. Větve jsou převážně vodorovné nebo mírně skloněné. Povrchový kořenový systém má za následek náchylnost smrku na vyvrácení při silných větrech (Maděra 2001).

Smrk patří mezi naše nejpoužívanější dřeviny pro stavební účely i přesto, že smrkové dřevo je velmi lehce zápalné, štípatelné a náchylné na napadení dřevokazným hmyzem. Co se týče našich dřevin tak těžba smrku je nejrozšířenější. Používá se jako konstrukční materiál, ale i jako surovina pro výstavbu dřevostaveb nebo nábytku (Osvald 1997).

V čerstvém stavu má dřevo smrku bílou až žlutobílou barvu, a to z důvodu velkého obsahu vody, po čase, jak dřevo vysychá, tak žloutne. Při samotném řezání má čerstvé řezivo typický zápach po pryskyřici (Požgaj a kol. 1993).

**Modřín opadavý** (*Larix decidua* Mill.) je opadavý jehličnatý strom s kuželovitě vejcovitou, nepravidelnou vzdušnou korunou. Průměrné hodnoty hustot modřínu jsou u suchého dřeva 560 kg/m<sup>3</sup>, při 12 % vlhkosti 590 kg/m<sup>3</sup> a při konvenční hustotě potom 485 kg/m<sup>3</sup>. Dorůstá do výšky až 50 metrů a dožívá se 450 i více let. V mládí roste nejrychleji ze všech jehličnanů. Nejrychleji roste do 20 roku stárí, ve vhodných stanovištních podmínkách dosahuje tloušťky kmene až 2 metry. Kůra modřínu je rozpraskaná, ale velmi silná a dosahuje do tloušťky 3-6 cm. Kořenový systém je kúlový, časem zakrňuje, z něho pak vyrůstají postranní rozvětřující se kořeny zajišťující dostatečnou stabilitu stromu. Jehlice jsou měkké, ploché, dorůstají do délky 35 mm a každý rok opadávají a nově narůstají (Hieke 2008).

Modřín je vhodný materiál především pro dřevařský stavební průmysl. Mezi jeho přednosti se můžeme zařadit odolnost proti hnilobě, povětrnostním vlivům, pevnost, barva, struktura letokruhu. Nevýhodou pak je obtížnější sušení (Maděra 2001).

Modřínové dřevo je odolné proti hnilobě, i proto je stále více doporučováno a navrhováno do venkovního prostředí, a to i z hlediska otázky životního prostředí kdy je snaha o nahrazení chemické ochrany dřeva pro použití ve vnějším prostředí. Použití těchto přirozeně odolných dřevin je jedna z možností nahrazení v méně náročnějších podmínkách a snadno vyměnitelných vnějších konstrukcí (Curnel 2008).

Různé výzkumy prokázaly, že odlišná odolnost modřínu záleží na množství taxifolinu (flavonoid) a konečné koncentraci fenolu. Obsah těchto látek pozitivně vyvažují odolnost dřeva, naopak hustota a absorpční vlastnosti působí opačným účinkem (Heikkonen 2007).

V Alpách má modřín všeobecně dobrou pověst jako stavební materiál. To je dáno dobrými mechanickými vlastnostmi spolu s přirozenou trvanlivostí. Vedle samotné kvality dřeva je potřeba dodržet správnou konstrukční ochranu, pro bezproblémové používání konstrukce. Nicméně z různých výzkumů vyplývá, že vlastnosti dřeva modřínu se liší v závislosti na místě růstu, druhu dřeviny, stáří stromu a jeho genetice (Curnel 2008).

## Vruty

**Klasický vrut do dřeva** (Obr. 25) je opatřen jednoduchým plným závitem zaručující vysokou pevnost zašroubování. Plný závit neumožňuje samovolné přitažení připojovaného dílce. Naopak umožňuje zhotovit spojení dvou dílů s pevnou mezerou, dále je vhodný pro použití do hmoždinek. V dřevěných konstrukcích se používá pro vyztužení nosníku proti otláčení a rozštípnutí (fischerwerke GmbH & Co 2020).



**Obr. 25** Klasický vrut do dřeva

Jde o nejběžněji používaný vrut do dřeva, lze ho použít jak v interiéru, tak v exteriéru. Je vhodné před zavrtáním vrut předvrtat, a to z důvodu praskání spojovaného materiálu nebo pozdějšího štípaní (Šúriková 2006).

Zápustná hlava je bez frézujících drážek. Pro pěkné spojení je vhodné vrut předvrtat menším průměrem, než je průměr dřívku a předvrtání otvor zahloubit. A

to i z toho důvodu, že špička vrutu je klasická bez dalších konstrukčních úprav (HPM TEC s.r.o. 2020).

**Stavební vrut do dřeva** (Obr. 26) je opatřen zápusťnou hlavou, která se po zašroubování zapustí do materiálu a nevyčnívá tak z plochy. Pod zápusťnou hlavou se nacházejí frézovací drážky usnadňující zapuštění hlavičky, zahlazují otřepení a zvednutá vlákna dřeva.

Jednochodý částečný závit zabezpečuje vysokou rychlost zašroubování. Částečný závit potom zajistí přitažení připojovaného dílu.

Zářez na špičce umožňuje přetržení dřevních vláken při zašroubování vrutu do dřeva, čím je zabráněno pozdější vzniku trhlin nebo prasklin v materiálu (fischerwerke GmbH & Co 2020).



**Obr. 26** Stavební vrut do dřeva

**Stavební vrut do dřeva s frézovacím závitem** (Obr. 27) má speciální zápusťnou hlavu, která zajišťuje perfektní zapuštění. Při šroubování do dřeva dokáže pod sebe vtáhnout zvednutá vlákna a případně drobné otřepy. Výsledkem je hladké zapuštění hlavy bez vytlačených vláken v jejím okolí. Doporučuje se tam, kde je kladen důraz na povrchovou čistotu spojení. Pod hlavou se nacházejí frézovací drážky zahlazující třepení dřevních vláken.

Dvouchodý závit poskytuje vrutům ještě vyšší rychlost při zašroubování, a to při zachování stejných hodnot vytahovacích zkoušek a nízkého odporu proti zašroubování.

Na začátku dvouchodého závitu se nachází frézující závit snižující tření dřívku a odpor vrutu při šroubování do materiálu. Při použití vrutu bez předvrtání se vytlačený materiál snaží dostat do počáteční polohy, frézující závit odfrézuje přebytečný materiál, který při šroubování vyvozuje vysoké tření, dřív tak bez problému vniká do dřeva s minimálním třením. K lepšímu vniknutí celého vrutu do materiálu přispívá i ošetření kluzným lakem.

Závit je ukončen špičkou se zářezem zabezpečující rychlé zakousnutí špičky vrutu do materiálu, zmenšuje tak riziko zvednutých vláken při rychlém vnikání a minimalizuje tření dřívku (ROTHOBLAAS SRL 2020, fischerwerke GmbH & Co 2020, HPM TEC s.r.o. 2020).



**Obr. 27** Stavební vrut do dřeva s frézovacím závitem

## 4.2 Příprava materiálu

Pro experiment byly použity tři druhy vrutů o stejném materiálu a rozměru 3,5 x 50 mm (30 mm závitová část). Vruty se do zkušebního tělesa zašroubovaly vždy po jednom kuse do tangenciálního a radiálního směru, kolmo na povrch boční strany. Pro správné umístění vrutu a dostatečných minimálních odstupů od kraje dle normy byl na povrch těles nakreslen tužkou křížek. Zavedení vrutů do dřeva bylo provedeno pomocí aku vrtačky a bez předvrtání.

Minimální hloubka zasahování spojovacího prostředku včetně špičky byla stanovena podle normy ČSN EN 1382 (2018) na 28 mm. Podle ČSN 0135 (1984)

má být zašroubování vrutu do hloubky minimálně  $20 \pm 1$  mm. Pro objektivní porovnání výsledku, byla zvolena konečné hloubka 28 mm.

Rozměry zkušebních těles byly zvoleny z minimálních rozměrů dle ČSN EN 1382 (2018), a to na 50 x 50 x 150 mm.

Materiál pro tuto a ostatní zkoušky poskytl školní podnik v Kostelci nad Černými lesy. Prvotní materiál byl předán do školní truhlárny ve formě několika oddenkových fošen, které byly vymanipulovány ze stromů podobných parametrů (obvod kmene, stáří, výška kmene, nenapadený strom) rostoucích na shodných stanovištích. Fošny o rozměrech přibližně 450 x 55 x 4100 mm pocházely z dřevového řeziva, na kterém je nejlépe rozeznatelný tangenciální a radiální směr, což je pro tuto zkoušku důležité. Fošny byly zhoblovány na konečnou tloušťku 50 mm a poté rozřezány na čtyřmetrové latě o šířce 50 mm. Následně každá lať byla zkrácena na délku jednoho metru (Obr. 28) a označena kombinací písmen a číslic.



**Obr. 28** Popsané a zkrácené latě o rozměrech 50 x 50 x 1000 mm

Popisování má zabezpečit správné zařazení latí tak, jak byly umístěny ve fošně. Princip značení je naznačen na obrázku 29.

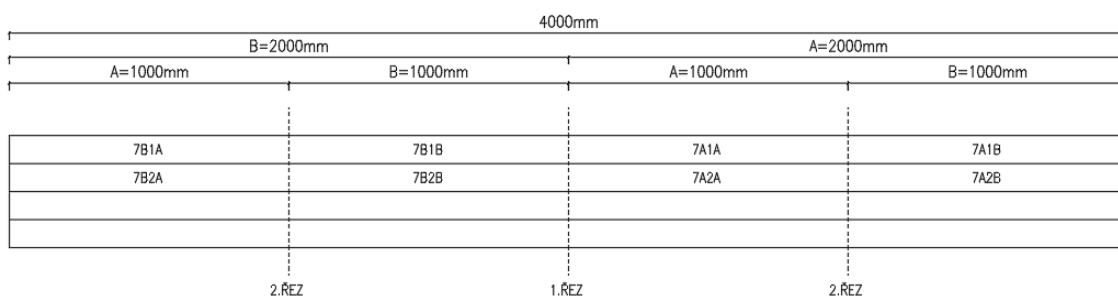
např. označení 7B1A znamená:

7 – pořadové číslo fošny,

B - první půlka ze 4. metrové fošny,

1 – pořadové číslo latě

## A – metrová část latě ze 4. metrové latě



**Obr. 29** Princip popisování latí

Následovalo krácení latí na délky 150 mm, pro účel této zkoušky musí být zkušební tělesa bez přirozených vad dřeva. Proto při zkracování byly vymanipulovány okem viditelné vady pro co nejpřesnější měření. Konečné tělesa o rozměrech 50 x 50 x 150 mm (Obr. 30) jsou rozděleny a označeny pro druh vrutu a jednotlivé teplotní zatížení.



**Obr. 30** Popsané zkušební tělesa o rozměrech 50 x 50 x 150 mm

Princip popisování je znázorněn na obrázku 31.

Označení 7-1-1-K REF znamená:

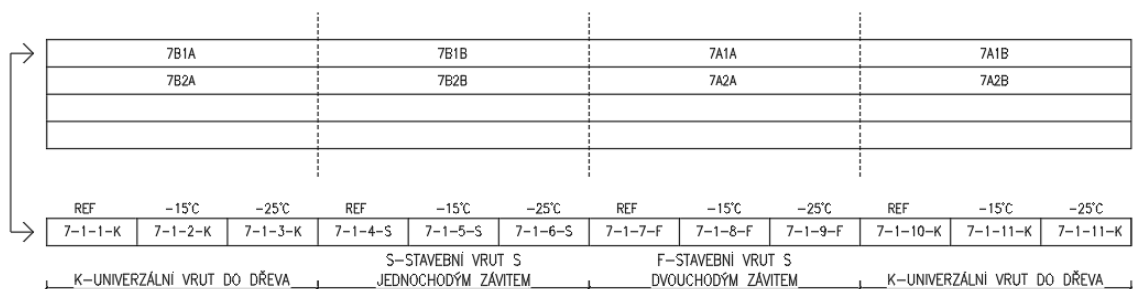
7 – číslo fošny

1 – číslo latě

1 – číslo vzorku v pořadí

K – univerzální vrut do dřeva

REF – teplotní zatížení zkušební vzorku



**Obr. 31** Princip popisování zkušebních těles

Jak už bylo zmíněno, materiál pro výrobu zkušebních těles je ze dřeva smrku a modřínu, kvůli jejich rozdílné hustotě dřeva bude možnost porovnání únosnosti v závislosti na hustotě. Popsaný materiál byl rozdělen podle druhu dřeviny do dvou kategorií (modřín, smrk) po 180 kusech. Dále pak do skupinek podle teplotního zatížení (referenční hodnota, -15 °C, -25 °C), každá po 60 kusech (Tab. 4). V každé skupině teplotního zatížení se dále tělesa rozdělily do třech skupin podle typu použitého vrutu (klasický vrut do dřeva, stavební vrut do dřeva, vrut do dřeva s frézovacím závitem), každá v počtu 20 kusů.

Takto popsaná a rozdělená tělesa je potřeba před samotným teplotním zatížením kondicionovat. To znamená, že všechny tělesa musí být minimálně jeden týden uloženy při  $20 \pm 2$  °C a  $65 \pm 5$  % při relativní vlhkosti vzduchu, to odpovídá vlhkosti dřeva při 12 %. Materiál je kondicionován, když při těchto podmínkách dosáhne konstantní hmotnosti, tedy pokud se jeho hmotnost během dvou posledních vážení v rozmezí 6 hodin neliší o více jak 0,1 % hmotnosti materiálu. Pro velký počet těles se klimatizace prováděla ve třech etapách podle teplotního zatížení. Do klimatizační komory se zkušební tělesa vkládala tak, aby mezi sebou měla dostatek prostoru pro proudění vzduchu. Po vyjmutí těles z klimatizační komory je potřeba vypočítat hustotu při 12 % vlhkosti podle vzorce číslo 8.

**Tab. 4** Celkový počet zkušebních těles

	Referenční hodnota	-15 °C	-25 °C
Smrk ztepilý	60	60	60
Modřín opadavý	60	60	60

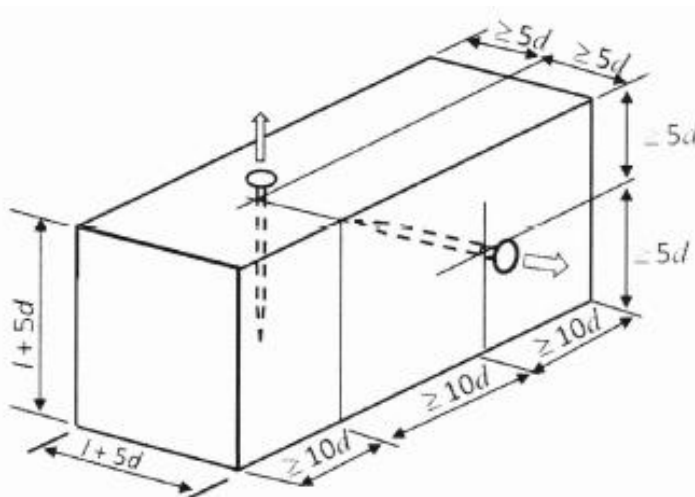
Ještě před samotnou zkouškou únosnosti nebo vystavení těles teplotnímu zatížení je potřeba všechny klimatizovaná tělesa zvážit a změřit jejich rozměry.

Jako další krok je potřeba opatřit zkušební tělesa vruty. Umístění vrutů a jejich odstupy dle ČSN EN 1382 (2018) jsou znázorněny na Obrázku 32. Hloubka zasahování vrutu do dřeva byla též stanovena podle této normy, v tomto případě 28 mm. Vrutu byly zašroubovány po jednom kuse do tangenciálního a radiálního směru, celkový počet kusů je vidět v tabulce 5.

**Tab. 5** Celkový počet použitých vrutů

	Referenční hodnota	-15 °C	-25 °C
K	80	80	80
S	80	80	80
F	80	80	80

*Poznámka: K - Univerzální vrut do dřeva s jednochodým závitem, S - stavební vrut s jednochodým závitem, F - stavební vrut s dvouchodým závitem*



**Obr. 32** Umístění vrutů dle normy

#### 4.2.2. Referenční skupina těles

Tato skupina nebyla vystavena žádnému teplotnímu zatížení, a primárně je určena pro porovnání s ostatními vzorky. Do komory bylo uloženo celkem 120 těles, z toho 60 modřínu a 60 smrku. Uložení do klimatizační komory probíhalo, jak je znázorněno na obrázku 33. Referenční tělesa byla pouze kondicionována na 12 % vlhkost dřeva. Po dosažení vlhkosti následovalo měření rozměrů, vážení hmotnosti a výpočet hustoty při 12 % vlhkosti.





**Obr. 33** Tělesa v klimatizační komoře

Poté následovalo rozdělení referenčních těles podle popsaného kódu na skupinky po 20 kusech u obou dřevin (20 kusů pro klasický vrut, 20 kusů pro stavební vrut a 20 kusů pro stavební vrut s frézovacím závitem), jejich zašroubování a následné vytahování. Po rozdělení následovalo zašroubování jednotlivých vrutů do těles, které byly připravené na měření únosnosti proti vytažení.

#### **4.2.3. Tělesa teplotně zatížená**

Tělesa vystavená teplotnímu zatížení byla stejně jako u referenční skupiny uložena do klimatizační komory, po dosažení 12 % vlhkosti byla vyjmuta, zvážena a změřeny jejich rozměry. Následovalo rozdělení podle dřeviny a použitého typu vrutu. Jednotlivé spojovací prostředky byly zašroubovány a opět zváženy.

Po přeměření se přenesla do předem spuštěného mrazícího boxu (Obr. 34) na požadovanou teplotu (-15 °C nebo -25 °C). Tělesa byla vkládána do mrazícího boxu stejným způsobem jako do klimatizační komory, a poté vystavena nízké teplotě po dobu 12 hodin.



**Obr. 34** Tělesa v mrazícím boxu

Mezitím byla zapnuta školní sušárna nastavená na teplotu  $70 \pm 2$  °C. Zmražená tělesa byla po 12 hodinách vyjmuta a opět zvážena a změřena. Do předem zapnuté sušárny (Obr. 35) se naskládala tělesa stejným způsobem jako do klimatizační komory opět na 12 hodin. Po uplynutí tohoto intervalu následovalo opětovné vážení a měření rozměrů. Po těchto operacích jsou tělesa připravena na zkoušku únosnosti proti vytažení.



**Obr. 35** Sušárna Binder (ČZU 2020)

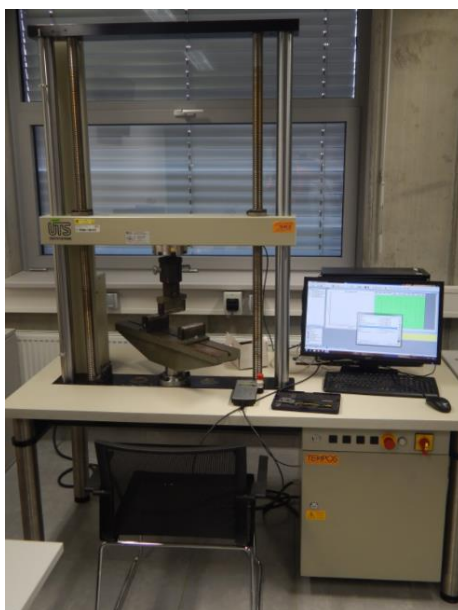
Pro ověření vlhkosti kondicionovaných těles, byla po ukončení zkoušky únosnosti vybrána z každé skupiny dvě tělesa. Ta se následně umístila do školní sušárny při teplotě  $103 \pm 2$  °C. Během vysoušení těles na nulovou vlhkost byla průběžně vážena. Po dosažení 0 % vlhkosti dřeva se zvážené hodnoty dosadily

do vzorce pro výpočet vlhkosti absolutně suchého dřeva, a tím se spočetla vlhkost dřeva v různých fázích experimentu.

### 4.3. Postup zkoušky

Zkouška probíhala ve školních laboratořích. Vytahování vrutů probíhalo na školním univerzálním trhacím stroji UTS 50 o rozsahu 0-50 kN (Obr.36), který je řízen počítačem s nainstalovaným Softwarem TIRAtest umožňující správné nastavení parametrů zkoušky (rychlost, pokles síly, zapisování naměřených hodnot, atd.) podle normy.

Pomocí trhacího stroje byla stanovena maximální síla na vytažení vrutu ze dřeva pro konkrétní anatomický směr. Síla byla následně dosazena do vzorce pro výpočet odporu dřeva proti vytažení vrutu a vzorce parametru vytažení.

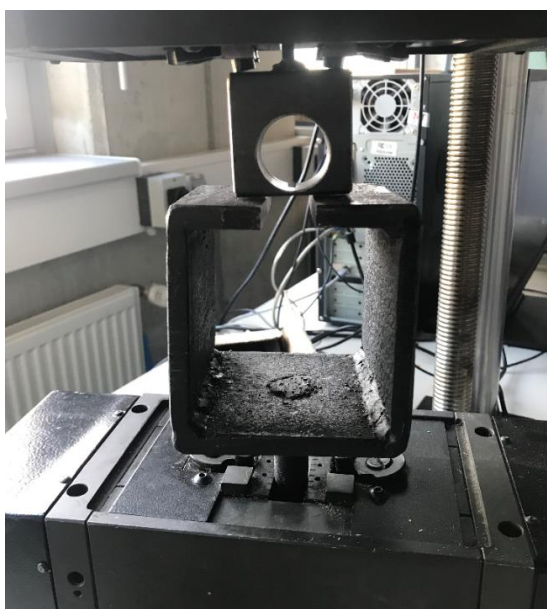


**Obr. 36** Trhací stroj UTS 50 připojený na počítač (ČZU 2020)

Do čelistí trhacího stroje se upevnily speciální prostředky pro uchycení hlavičky vrutu a zkušebního tělesa s vruty. Spodní statická část sloužila pro umístění samotného tělesa a horní část pohyblivá se vertikálně byla navržena pro uchycení hlavičky vrutu (Obr. 37). Před samotnou zkouškou byla potřeba nastavit výchozí polohu čelistí s ohledem na koukající část vrutu, do které se přípravky po jednotlivé zkoušce vrátily (Obr.38).



**Obr. 37** Umístění zkušební vzorku



**Obr. 38** Nastavení přípravku do výchozí polohy

Při vytahování vrutů bylo postupováno tak, že mezi přípravky ve výchozí poloze bylo umístěno zkušební těleso opatřené vruty. Po zapnutí zkoušky se horní čelist za stálé rychlosti odtahovala od spodní a vytahovala tak vrut ze dřeva. Rychlost zatěžování musí být dle normy taková, aby doba pro dosažení maximální síly ( $F_{max}$ ) nepřekročila  $60 \pm 15$  sekund. Po překročení maximální síly na vytažení a poklesu maximální síly o více jak 20 % došlo k ukončení zkoušky a navrácení přípravků do výchozí polohy. Stejný postup vytahování vrutu platil jak pro tangenciální, tak pro radiální směr. Únosnost na vytažení vrutů je rovna maximální síle na vytažení. Parametr vytažení se stanoví ze vzorce:

$$f_{ax} = \frac{F_{max}}{d \times l_d} \quad [\text{MPa}] \quad (13)$$

kde:

- $f_{ax}$  – parametr na vytažení (N/mm<sup>2</sup>),
- $F_{max}$  – největší síla na vytažení (N),
- $d$  – průměr závitu vrutu (mm),
- $l_d$  – účinná hloubka závitu vrutu (mm)

Odpor dřeva proti vytažení vrutů se následně stanoví podle následujícího vzorce.

$$R = \frac{F_{max}}{l} \quad [\text{N/mm}] \quad (14)$$

kde:

- $R$  – odpor dřeva proti vytažení vrutu (N/mm),
- $F_{max}$  – největší síla na vytažení (N),
- $L$  – hloubka zaražení (mm),

První zmíněný vzorec pro výpočet parametru vytažení zohledňuje maximální sílu potřebnou na vytažení vrutu vztaženou k délce spojovacího prostředku ve dřevě vynásobené průměrem spojovacího prostředku.

Ve druhé normě je zohledněna pouze maximální síla na vytažení k délce spojovacího prostředku ve dřevě.

## 5. Výsledky a diskuze

Naměřené hodnoty byly zapisovány do vytvořené tabulky v Excelu a vyhodnoceny v softwaru Statistica 13. Pro statistické vyhodnocení naměřených dat byla použita více faktorová analýza rozptylu využívající Fischerův test. Analýza má 95 % spolehlivost statistického vyhodnocení s dovolenou 5 % chybou (hladina významnosti). Pokud je statistická chyba menší než 5 %, sledovaná vlastnost je statisticky významná.

### 5.1. Fyzikální vlastnosti

#### Vlhkost a hustota

Fyzikální vlastnosti se mění podle jeho teplotního zatížení. Předpokládá se, že po mražení zkušebních těles se jejich vlhkost zvětší. To je dáno tím, že voda v chladícím boxu se z těles nevypařuje, dřevo tak absorbuje více vlhkosti. Obráceně pak to je u těles, které jsou ohřívány. Kde dochází k odpařování vody ze dřeva, a tím snižuje svou vlhkost. Pokud je teplota vyšší, tím je i rychlejší odpařování vody ze dřeva. Z tohoto pohledu byly zkoumány dvě fyzikální vlastnosti, a to hustota a vlhkost dřeva.

Tabulka 6 zobrazuje fyzikální a mechanické vlastnosti referenčních a teplotně zatížených těles. Je zde vidět průběh vlhkosti po teplotním zatížení. Po mražení došlo k nárůstu vlhkosti u obou zkoumaných dřevin. Průměrný nárůst vlhkosti po prvním zmražení byl 1,12 %, a po následném ohřátí se vlhkost snížila o 55,60 %. Větší nárůst vlhkosti sledujeme u smrku, naopak nižší vlhkost byla u dřeva modřínu.

V tabulce 6 je znázorněn průběh vlhkosti a hustoty po každé fázi teplotního zatížení. Zvýšení vlhkosti po mražení došlo u obou dřevin, jak u smrku, tak u modřínu. S nárůstem vlhkosti je spojeno zvýšení hustoty, po mražení je hustota vyšší než u referenčních vzorků, po ohřátí se naopak hustota snížila.

Průměrné hodnoty hustoty dřeva v tomto experimentu při 12 % vlhkosti dřeva jsou pro smrk 395,5 kg/m<sup>3</sup> a pro dřevo modřínu 611,49 kg/m<sup>3</sup>. Hustotu dřeva při 12 % vlhkosti dřeva uvádí Matovič (1993) pro smrk 445 kg/m<sup>3</sup>, modřín 660 kg/m<sup>3</sup>. Gandelová a kol. (2009) ve své práci potom 450 kg/m<sup>3</sup>, pro modřín 590 kg/m<sup>3</sup>.

**Tab. 6** Vlhkost a hustota smrkového a modřínového dřeva

Soubor	Dřevina	Teplota (°C)	Vlhkost			Hustota		
			$W_p$ (%)	$W_m$ (%)	$W_k$ (%)	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )
1	Smrk	reference	11,85	-	-	396,12	-	-
2	Smrk	-15	11,70	11,85	3,59	395,20	396,05	383,25
3	Smrk	- 25	11,92	12,05	4,91	395,05	395,90	384,50
4	Modřín	reference	11,72	-	-	612,89	-	-
5	Modřín	-15	11,83	11,90	7,48	608,14	609,85	591,54
6	Modřín	- 25	11,88	11,95	8,27	613,45	614,80	597,85

$W_p$  – počáteční vlhkost těles po klimatizaci na 12 %,  $W_m$  – vlhkost těles po mražení na danou teplotu,  $W_k$  – konečná vlhkost těles po ohřevu na danou teplotu,

$\rho_p$  – počáteční hustota těles po klimatizaci na 12 %,  $\rho_m$  – hustota těles po mražení na danou teplotu,  $\rho_k$  – konečná hustota těles po ohřevu na danou teplotu.

V úplně suchém dřevě jsou aktivní -OH skupiny celulózy a hemicelulózy první místa, kde se vážou molekuly vody vnikající do buňkových stěn. Molekuly obsazují ta místa, kde jsou nejsilnější volné valenční vazby. Vlivem vnikání dalších molekul vody do dřeva se vodíkové vazby v amorfní oblasti otevírají a další vodíkové vazby vznikají ve spojení celulóza – voda – celulóza. Vytvářejí se tak místa, kde celulózové vazby nejsou vzájemně propojené, prostřednictvím vodíkové vazby vzniká tak méně pevná vazba než spojení celulóza – celulóza (Šúriková 2006).

## 5.2. Technologické vlastnosti

### 5.2.1. Parametr vytažení

Z tabulky 7 vyplývá, že statisticky nejvýznamnější faktory jsou druh dřeviny, což je dáno přirozeně rozdílnou stavbou dřeva (chemické složení, průběh letokruhů, hustota), typem použitého vrutu a teplotou, která působila na tělesa. Naopak méně významným, avšak stále důležitým faktorem, je anatomický směr. Naopak kombinace všech faktorů, které působí dohromady na parametr vytažení, mají nejmenší vliv.

**Tab. 71** Statistické vyhodnocení parametru vytažení  $f_{AX}$

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův F - Test	Hladina významnosti
Intercept	379306,6	1	379306,6	26254,93	0,000000
Dřevina	25978,1	1	25978,1	1798,16	0,000000
Teplota	445,4	2	222,7	15,41	0,000000
Typ vrutu	1045,5	2	522,7	36,18	0,000000
Anatomický směr	214,5	1	214,5	14,85	0,000128
Dřevina * Teplota * Typ vrutu * Anatomický směr	12,0	4	3,0	0,21	0,934606
Chyba	9881,8	684	14,4	-	-

Na obrázku 39 je znázorněn rozptyl parametru na vytažení v závislosti na použité dřevině. U obou dřevin je parametr blízko u sebe a neliší se o více jak 2 MPa, což může být připisováno stejným podmínkám při růstu stromu, stejné vnitřní struktuře a vymanipulování vad při přípravě materiálu. V případě smrku se hodnoty parametru na vytažení pohybují okolo 15-18 MPa a jsou tak nižší než u modřínu, kde jsou hodnoty v rozmezí 28-30 MPa. Z tohoto hlediska je patrné, že na parametr vytažení má vliv druh dřeviny, a to zejména hustota dřeva. Dosažené hodnoty pro modřín byly v průměru 1,75krát vyšší než pro smrk.

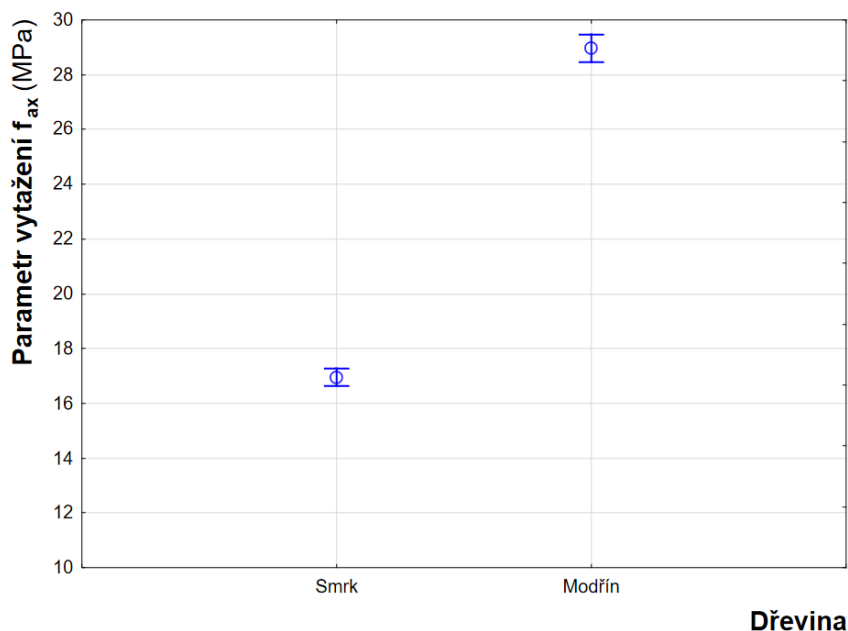
Kollman a kol. (1975) uvádí, že čím má rostlé dřevo větší hustotu, tím lepší je jeho schopnost držet spojovací prostředky, obecně mají listnaté dřeviny tyto hodnoty vyšší než jehličnaté dřeviny.

Joščák a kol. (2012) uvádí průměrné hodnoty pro vrut o průměru 2,6 mm a hloubku vniknutí 22 mm, u dřeva borovice v tangenciálním směru 28,4 MPa, radiální potom 28,8 MPa. Pro dřevo dubu je to pak 46,5 MPa (tangenciální), 41,54 MPa (radiální), pro lípu 19,6 MPa a 18 MPa.

Šúriková (1999) ve své práci uvádí, že pro smrk a pro vruty o průměru 4 mm, zašroubované 30 mm do dřeva je potřebná maximální síla na vytažení v radiálním směru 2080 N, což po přepočítání je 17,3 MPa. Naměřené hodnoty v této práci pro vrut o průměru 3,5 mm a hloubky zaražení 28 mm jsou 16,5 MPa.



Efe a kol. (2004) zjistili, že vruty o průměru 6 mm a hloubky zaražení 20 mm ve dřevě dosahují maximální síly na vytažení 2975 N, to odpovídá 24,8 MPa.

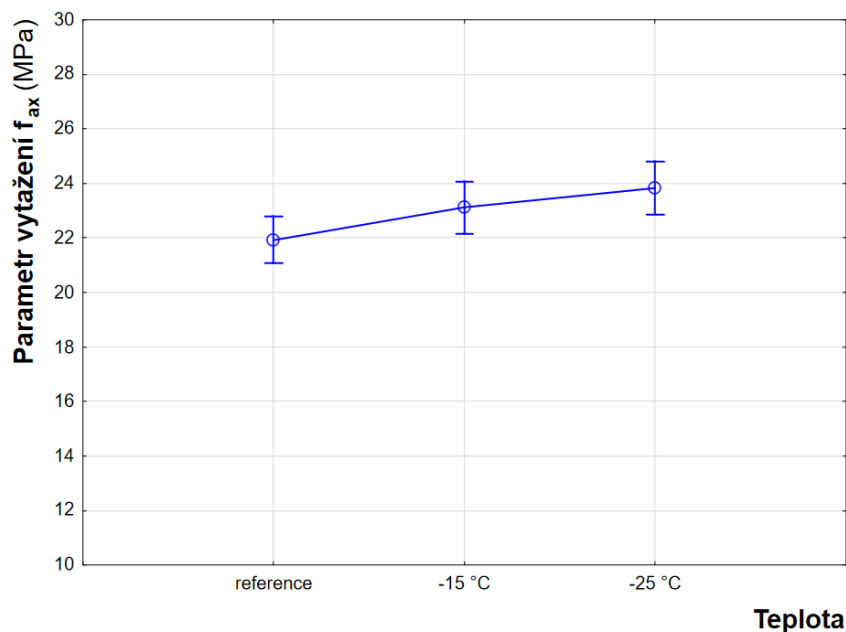


**Obr. 39** Závislost parametru vytažení na druhu dřeviny

Na obrázku 40 je zobrazena závislost parametru vytažení na teplotním zatížení. Teplotně nezatížená referenční skupina těles se pohybovala v hodnotách 21-23 MPa. Při 12 hodinovém cyklu zmrazování dřeva při teplotě 15 °C a následnému ohřevu při teplotě 70 °C ve dřevu došlo k poklesu vlhkosti, kdy se mechanické vlastnosti zvyšují. Při teplotě 70 °C mohlo dojít k rychlému odpařování vody ze dřeva a vzniku trhlin. Rámcově se hodnoty pohybovaly okolo 22-24 MPa. Při teplotním zatížení (-25 °C, 70 °C) došlo ke zvýšení vlhkosti a následnému vysoušení, kdy nebylo takové riziko vzniku trhlin, parametr vytažení je tak vyšší než při -15 °C, pohybuje se okolo 23-25 MPa.

Dřevo bez teplotního zatížení (referenční skupina) má nejmenší hodnoty parametru vytažení. Zatímco s poklesem vlhkosti se hodnoty zvyšují, což je vidět u teplotně zatíženého dřeva.

Šúriková a Tóthová (2006) zkoumaly vliv vlhkosti na velikost vytrhávací síly ze dřeva smrku (Tab 8.) Použily vruty o průměru 4 x 40 mm a hloubky zašroubování 12, 15, 18, 21, 24 mm, při třech variantách vlhkosti dřeva 8, 20 %. Zjistily, že vlhkost spojovaného materiálu je významným faktorem, který ovlivňuje maximální sílu pro vytržení vrutu ze dřeva, se stoupající vlhkostí se snižuje velikost vytrhávací síly, tedy snižuje odpor proti vytažení vrutu ze dřeva.



**Obr. 40** Závislost parametru vytažení na teplotě

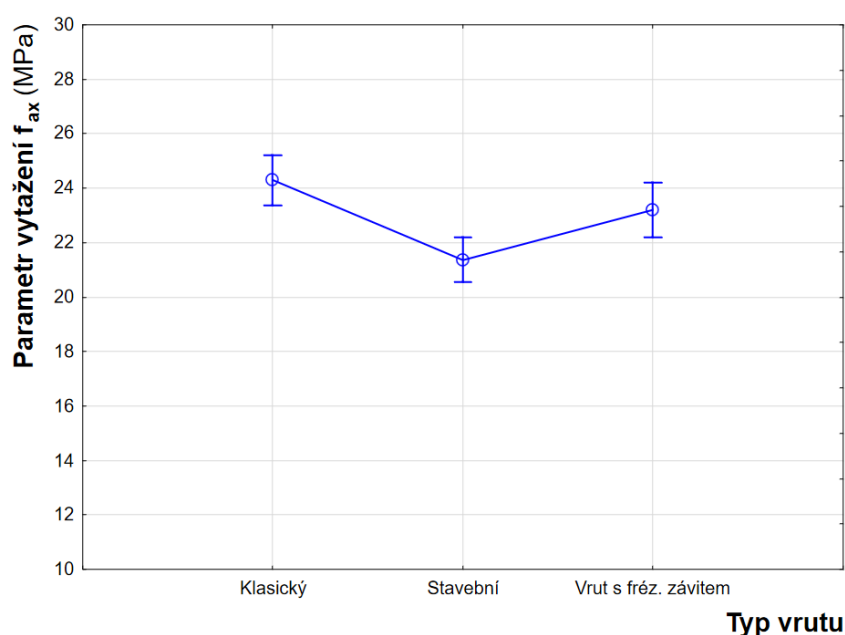
**Tab. 8** Hodnoty odporu vůči vytažení při hustotě 465 kg/m<sup>3</sup> (Šúriková 2006)

Hloubka zašroubování (mm)	Odpor dřeva proti vytažení vrutu ze dřeva (N/mm)			
	vlhkost 8 % směr		vlhkost 20 % směr	
	Rad.	Tang.	Rad.	Tang.
12	106,67	73,33	93,33	80
15	113,33	84,67	108,67	80
18	117,22	83,89	108,89	83,89
21	123,81	85,24	120,48	79,52
24	145	113,75	132,92	110,83

Obr. 41 ukazuje závislost na parametru vytažení na použitém vrutu. Všechny vruty byly aplikovány bez předvrtání. Největších hodnot okolo 23-25 MPa dosahoval klasický vrut do dřeva.

Výrobce fischerwerke GmbH & Co (2020) uvádí pro vrut 3,5 x 50 mm, při hustotě dřeva 350 kg/m<sup>3</sup> průměrné hodnoty dosahující parametru vytažení kolmo na vlákna 16,0 MPa. Mezi prostor závitů se dostane větší množství materiálu a dochází tak ke zvýšení lokální hustoty a sevření, na rozdíl od vrutů se zářezem na špičce. Pokud bychom použili univerzální vrut o větším průměru, mohlo by dojít k velkému odklonu vláken okolo dříku vrutu, při velkém odchýlení by se snížilo množství materiálu obklopující dřík vrutu. Při použití větších průměrů je potřeba vrutu předvrtávat, a to i z důvodu praskání při kolísající vlhkosti.

Jako další typ použitého vrutu je stavební vrut do dřeva a frézovacím zářezem, který dosahoval 22-24 MPa, dle výrobce ROTHOBLAAS SRL (2020) je průměrný parametr na vytažení je 16,1 MPa (kolmo na vlákna), a to pro hustotu dřeva 365 kg/m<sup>3</sup>. Má dvouchodý závit pro rychlejší zašroubování do dřeva, na špičce je zářez způsobující prořezání dřevních vláken, což způsobuje menší lokální hustotu dřeva kolem dříku. Výhoda zářezu na špičce je, že nedochází k odklonu vláken nebo praskání dřeva při zašroubování vrutu. Dosahuje větších hodnot než vrut s jednochodým závitem a to je zapříčiněno větší plochou závitu ve dřevě.



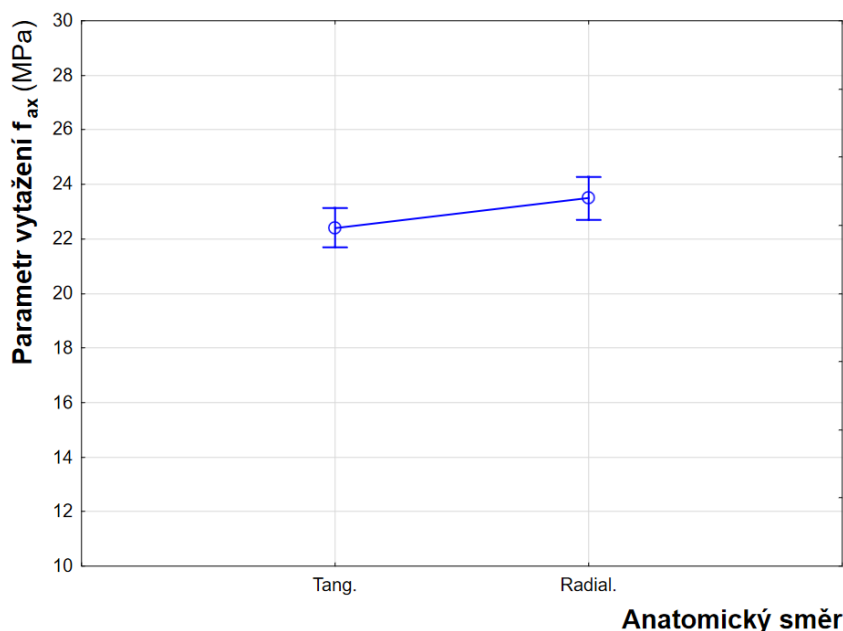
**Obr. 41** Závislost parametru vytažení na použitém vrutu

Poslední použitý typ je stavební vrut do dřeva, který dosahuje nejmenších hodnot přibližně 21-22 MPa, a to díky menší ploše závitu ve dřevě.

Na obrázku 42 je vidět rozdíl mezi hodnotami v závislosti na směru. V radiálním směru má parametr na vytažení větší hodnoty okolo 22-24 MPa, než ve směru tangenciálním 22-23 MPa.

Velká I. (2014) uvádí, že větších hodnot parametru na vytažení dosahuje dřevo při zašroubování vrutu kolmo na vlákna, jelikož proniká více vrstvami buňkových stěn než při vnikání ve směru podélném, kdy osa vrutu je rovnoběžná s osou dřevních vláken. Rozdíl mezi radiálním a tangenciálním směrem je, že ve směru radiálním proniká spojovací prostředek více vrstvami jak letního, tak jarního dřeva. Naopak ve směru tangenciálním je závit v letním a jarním dřevě

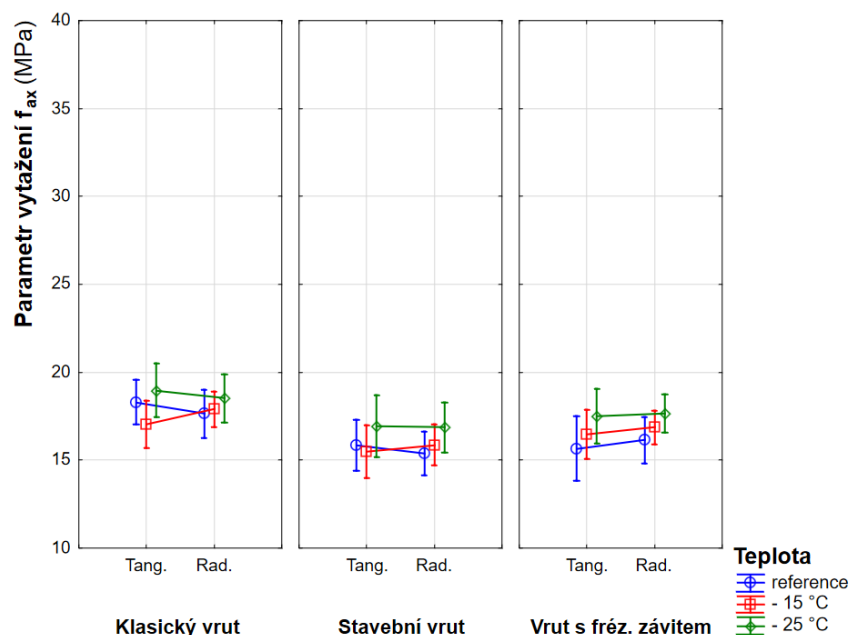
nebo větší část v letním, menší v jarním nebo naopak. Přičemž hustota letního dřeva je průměrně vyšší než hustota jarního dřeva.



**Obr. 42** Závislost parametru vytažení na směru vytahování ze dřeva

Na obrázku 43 je porovnání parametru na vytažení pro dřevo smrku v závislosti na teplotě, typu vrutu a směru. Největší hodnoty dosahoval univerzální vrut, poté vrut s dvouchodým závitem a nejmenších hodnoty vykazoval vrut s jednochodým závitem. Vrut s dvouchodým závitem má větší hodnoty ve směru radiálním ve všech variantách teplotního zatížení. Vrut s jednochodým závitem dosahuje největších hodnot ve směru radiálním při teplotním zatížením  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , naopak referenční skupina má větší hodnoty v tangenciálním směru. Obecně vysokých hodnot dosahovalo dřevo vystavené teplotnímu cyklu s nejnižší teplotou, nejnižších hodnoty byly naměřeny u referenčních těles. U univerzálního vrutu byly naměřené hodnoty při teplotě  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a referenčních vzorků vyšší ve směru tangenciálním než u teploty  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Pro smrkové dřevo dosahoval klasický vrut do dřeva hodnoty 18,29 MPa a pro radiální 17,64 MPa. Po prvním teplotním cyklu ( $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) došlo k poklesu o 6,9 % ve směru tangenciálním a v radiálním došlo k navýšení o 1,4 %. Po druhém teplotním zatížení ( $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) došlo u obou směrů k nárůstu o 3,7 % v tangenciálním a o 4,9 % v radiálním.

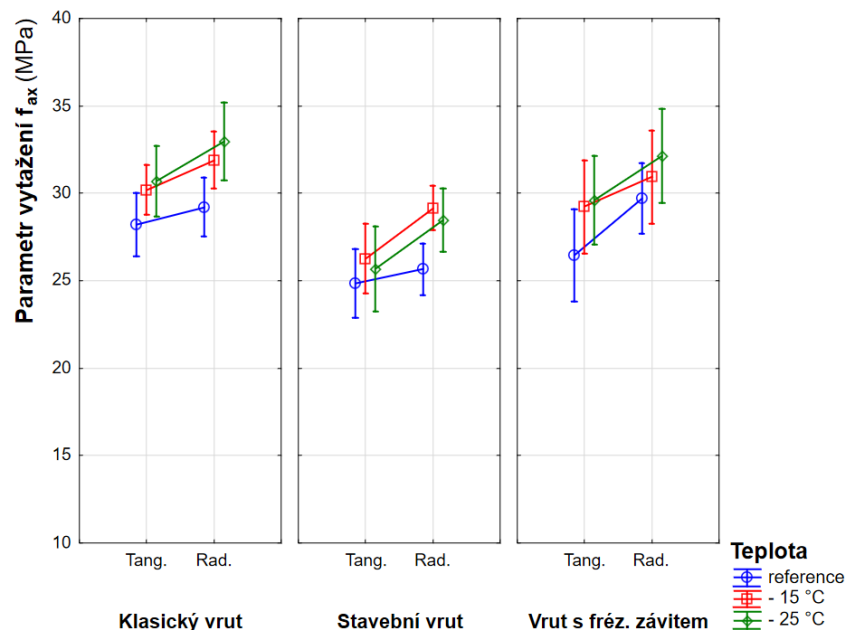


**Obr. 43** Závislost parametru vytažení na typu vrutu a teplotě pro smrk

Stavební vrut s frézovacím závitem dosahoval průměrných hodnot v tangenciálním směru 15,81 MPa a pro radiální 15,40 MPa. V tangenciálním směru došlo k poklesu o 4,1 % vlivem teplotního zatížení (-15 °C, +70 °C), po druhém teplotním zatížení (-25 °C, +70 °C) naopak došlo k nárůstu o 7,02 % oproti referenční skupině. Stavební vrut ve směru radiálním zvýšil po teplotním zatížení (-15 °C, +70 °C) parametr vytažení o 3,5 % a po zatížení (-25 °C, +70 °C) došlo opět k nárůstu o 9,5 % vůči referenční skupině.

Třetí skupina vrutu dosahovala pro tangenciální směr parametru vytažení 15,66 MPa, po prvním zatížení (-15 °C, +70 °C) došlo k nárůstu o 5,1 %, po druhé zátěži (-25 °C, +70 °C) ještě o 11,68 % oproti referenční skupině těles. Ve směru radiálním se jednalo o hodnoty 16,14 MPa a opět docházelo k růstu, v prvním případě o 4,4 % a ve druhém o 9,2 %.

Pro modřínové dřevo jsou výsledky na obrázku 44. Největší hodnoty v modřínovém dřevě dosahoval univerzální vrut, pro směr tangenciální se jednalo o 28,21 MPa a ve směru radiálním 29,22 MPa. V prvním (-15 °C, +70 °C) a druhém (-25 °C, +70 °C) teplotním zatížení hodnoty v tangenciálním směru vzrostly v průměru o 8 % a v radiálním o 9,2 % a + 12,7 %.



**Obr. 44** Závislost parametru vytažení na typu vrutu a teplotě pro modřín

Při zkoušení vrutů s jednochodým závitem bylo dosaženo hodnoty v tangenciálním směru 24,86 MPa, která po prvním zatížení (-15 °C, +70 °C) vzrostla o 5,7 % a po druhém o 3,3 %. Při vytahování z radiálního směru došlo k nárustu pro obě teplotní zatížení o 10 % vůči hodnotě referenční 25,65 MPa.

Zbývající skupina vrutů s dvouchodým závitem měla hodnoty 26,47 MPa a v radiálním 29,70 MPa. Tangenciální se po prvním a druhém zatížení zvětšily o 10 %. Radiální se po prvním zatížení (-15 °C, +70 °C) navýšily o 4,2 % a po druhém zatížení (-25 °C, +70 °C) také vzrostly vůči počáteční skupině o 8,1 %. V tabulce 9 jsou uvedeny průměrné hodnoty parametru vytažení.

**Tab. 9** Průměrné hodnoty parametru vytažení pro smrkové a modřínové dřevo

Dřevo	Typ vrutu	Anat. směr	Teplota (°C)	Parametr vytažení $f_{ax}$				
				průměr (MPa)	Směrodatná odchylka	Standardní chyba - SE	- 95% (MPa)	+ 95% (MPa)
SMRK	Klasický vrut do dřeva	Tang.	REF	18,29	2,719	0,608	17,02	19,56
		Tang.	-15	17,02	2,870	0,642	,68	18,36
		Tang.	- 25	18,98	3,304	0,739	17,43	20,52
		Rad.	REF	17,64	2,893	0,647	16,29	18,99
		Rad.	-15	17,90	2,187	0,489	16,87	18,92
		Rad.	- 25	18,52	2,912	0,651	17,16	19,89
	Stavební vrut do dřeva	Tang.	REF	15,85	3,145	0,703	14,37	17,32
		Tang.	-15	15,51	3,191	0,713	14,01	17,00
		Tang.	- 25	16,92	3,733	0,835	15,17	18,67
		Rad.	REF	15,40	2,667	0,596	14,15	16,65
		Rad.	-15	15,87	2,507	0,561	14,69	17,04
		Rad.	- 25	16,87	3,068	0,686	15,43	18,30
	Stavební vrut do dřeva s fréz. závitem	Tang.	REF	15,66	3,950	0,883	13,81	17,51
		Tang.	-15	16,47	2,968	0,664	15,08	17,86
		Tang.	- 25	17,49	3,338	0,746	15,93	19,05
		Rad.	REF	16,14	2,813	0,629	14,82	17,45
		Rad.	-15	16,86	2,061	0,461	15,90	17,83
		Rad.	- 25	17,64	2,320	0,519	16,56	18,73
MODŘÍN	Klasický vrut do dřeva	Tang.	REF	28,21	3,883	0,868	26,39	30,03
		Tang.	-15	30,19	3,049	0,682	28,76	31,61
		Tang.	- 25	30,69	4,274	0,956	28,69	32,69
		Rad.	REF	29,22	3,630	0,812	27,52	30,92
		Rad.	-15	31,91	3,505	0,784	30,27	33,55
		Rad.	- 25	32,95	4,752	1,062	30,73	35,17
	Stavební vrut do dřeva	Tang.	REF	24,83	4,200	0,939	22,86	26,79
		Tang.	-15	26,27	4,219	0,943	24,29	28,24
		Tang.	- 25	25,67	5,199	1,163	23,24	28,10
		Rad.	REF	25,65	3,103	0,694	24,20	27,11
		Rad.	-15	29,16	2,684	0,600	27,90	30,41
		Rad.	- 25	28,47	3,839	0,859	26,68	30,27
	Stavební vrut do dřeva s fréz. závitem	Tang.	REF	26,47	5,624	1,257	23,83	29,10
		Tang.	-15	29,22	5,667	1,267	26,57	31,87
		Tang.	- 25	29,60	5,430	1,214	27,05	32,14
		Rad.	REF	29,70	4,342	0,971	27,67	31,73
		Rad.	-15	30,95	5,690	1,272	28,28	33,61
		Rad.	- 25	32,13	5,733	1,282	29,44	34,81

## 5.2.2. Odpor dřeva proti vytažení vrutu

Statistické vyhodnocení (Tab. 10) proběhlo stejným způsobem jako u parametru na vytažení. Hladina významnosti u sledovaných faktorů nepřesahující 0,05 ve velké míře ovlivňují odpor vůči vytažení. Z tohoto hlediska jsou statisticky významnými faktory druhy dřeviny a typ použitého vrutu. Dále pak menší, ale stále statisticky významnými vlivy, jsou teplotní zatížení a anatomický směr, což se týče kombinace všech faktorů, nemá na výsledek podstatný vliv.

**Tab. 10** Statistické vyhodnocení odporu vůči vytažení R

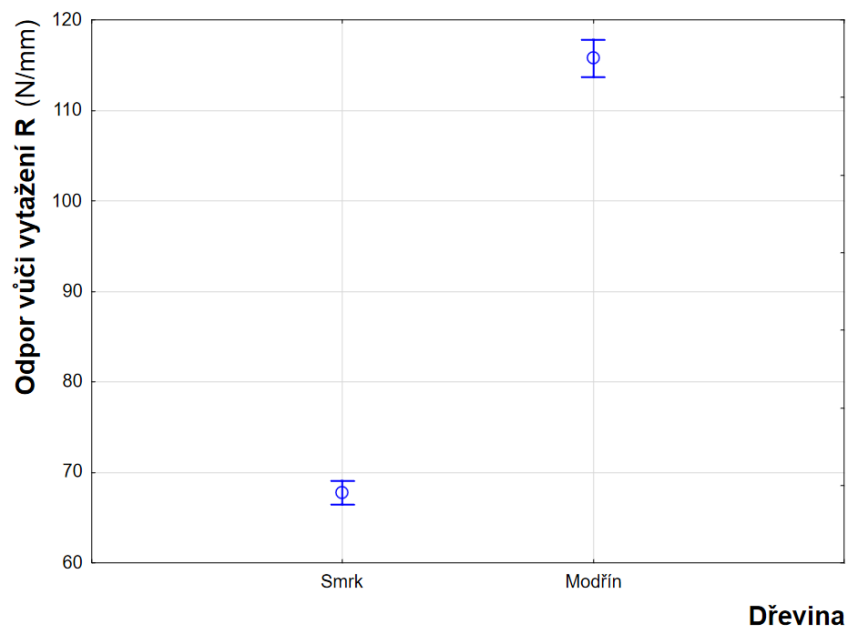
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův F - Test	Hladina významnosti
Intercept	6060491	1	6060491	26662,00	0,000000
Dřevina	414688	1	414688	1824,34	0,000000
Teplota	5546	2	2773	12,20	0,000006
Typ vrutu	16697	2	8348	36,73	0,000000
Anatomický směr	3459	1	3459	15,22	0,000105
Dřevina * Teplota * Typ vrutu * Anatomický směr	199	4	50	0,22	0,928029
Chyba	155479	684	227		

Na obr. 45 je znázorněno, která dřevina dosahuje větších hodnot odporu proti vytažení, stejně jako u parametru vytažení i zde je výsledek ovlivňován hustotou, tudíž vyšel lépe pro modřín, v průměru 115,7 N/mm, a pro smrk 67,7 N/mm.

Daňková (2012) ve své práci uvedla pro vrut průměru 4 mm a hloubce zašroubování 18 mm do dřeva smrku o hustotě 514 kg/m<sup>3</sup> průměrné hodnoty odporu proti vytažení 95,19 N/mm.

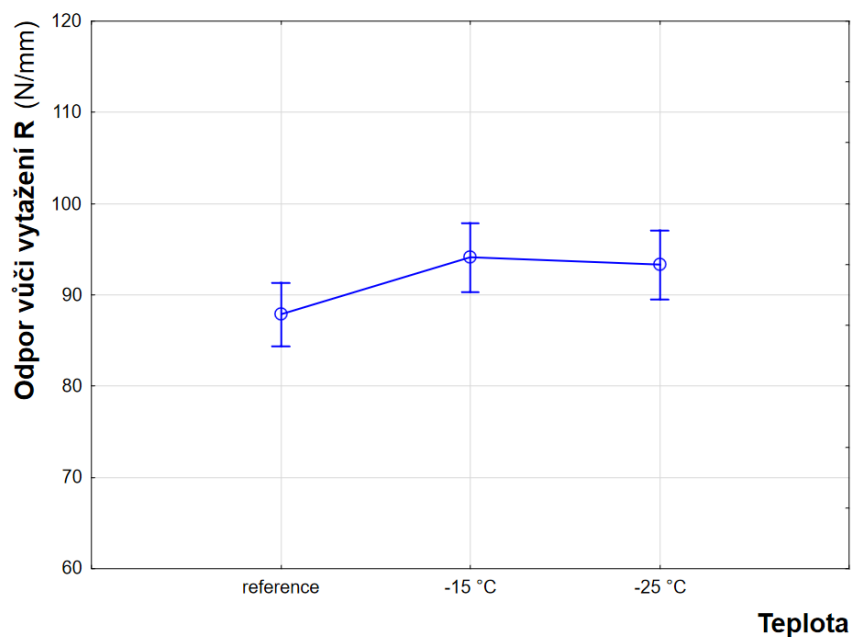
Firma ROTHOBLAAS SRL (2020) pro dřevo hustoty 420 kg/m<sup>3</sup> pro vrut 3,5 x 50 mm (hloubka zaražení 24 mm) v technické příručce pro projektanty počítá s maximální silou na vytažení 1,0 KN, což je 43,7 N/mm.





**Obr. 45** Závislost odporu vytažení na druhu dřeviny

Obrázek 46 ukazuje závislost teplotního zatížení na odpor proti vytažení vrutů, zároveň ale můžeme pozorovat, že po ohřevu vzorků na konečnou teplotu 70 °C došlo i ke snížení vlhkosti a zvýšení odporu. Nejmenší průměrné hodnoty 88 N/mm dosáhla skupina referenčních vzorků, a to při 12 % vlhkosti dřeva. Lepších výsledku se dosáhlo po ohřevu dřeva 70 °C pro obě teplotní zatížení na průměrnou 95 N/mm.

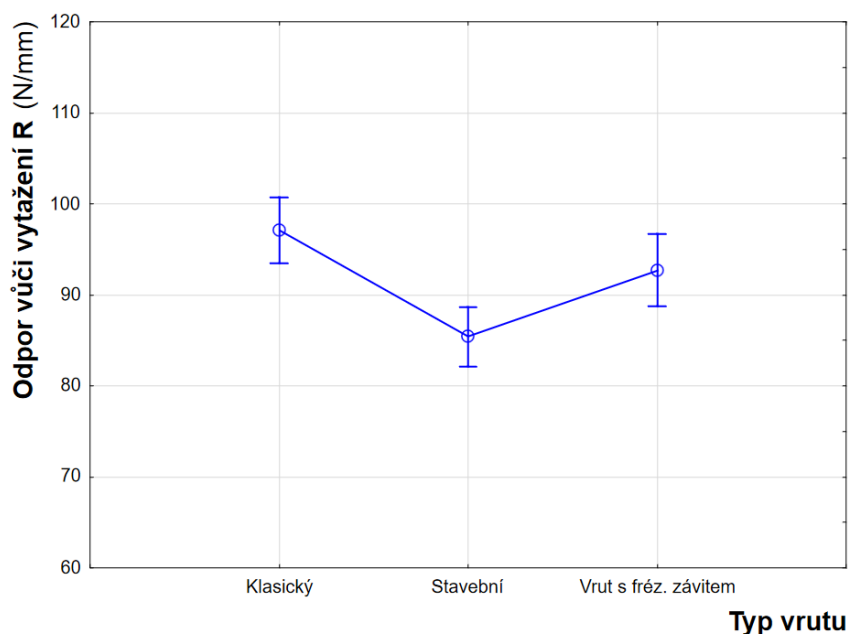


**Obr. 46** Závislost odporu vytažení na teplotě

Joščák a kol. (2012) zkoumali maximální sílu na vytažení vrutu o průměru 3 a 4 mm (hloubka zašroubování 24 a 32 mm) ze dřeva smrku. Pro vrut průměru 3 mm byla potřebná síla na vytažení 1041,7 N (43,4 N/mm) v tangenciálním směru a 1113,1 N (46,38 N/mm) ve směru radiálním, pro 4 mm potom 1630,1 N (50,94 N/mm) tangenciální a 1715,8 N (53,6 N/mm) radiální směr.

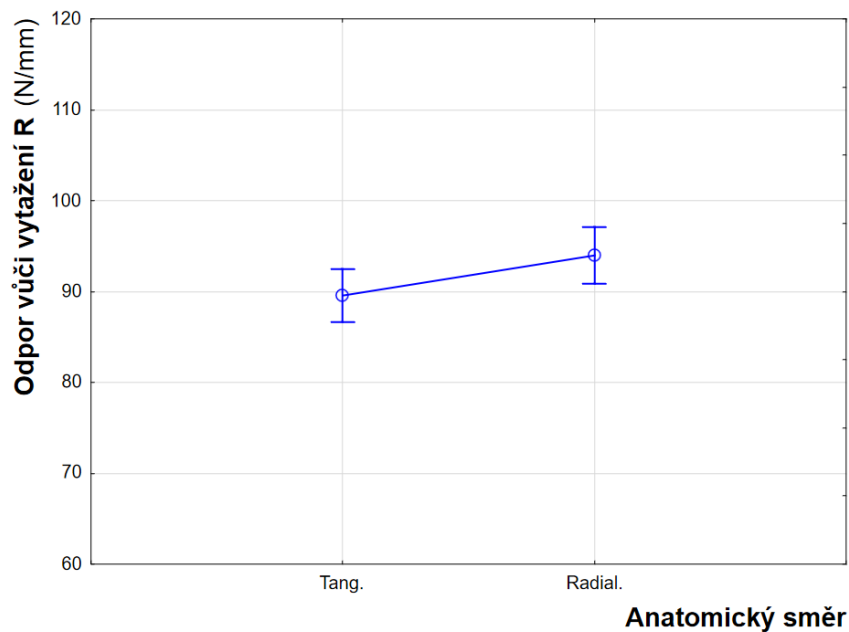
Pro další porovnání společnost HPM TEC s.r.o. (2020) pro stavební vruty o průměru s dvouchodým závitem garantuje odpor proti vytažení na 65,49 N/mm, a pro dřeva s hustotou 365 kg/m<sup>3</sup>.

Další sledovaný faktor je vliv použitého vrutu na obrázku 47, kde je vidět stejný průběh jako u parametru vytažení. Největších hodnoty dosahují vruty klasické s jednochodým závitem o průměru 98 N/mm. O trochu nižších hodnot dosahoval stavební vrut s dvouchodým závitem přibližně 93 N/mm, nejhůře z těchto výsledků vychází stavební vrut s jednochodým závitem.



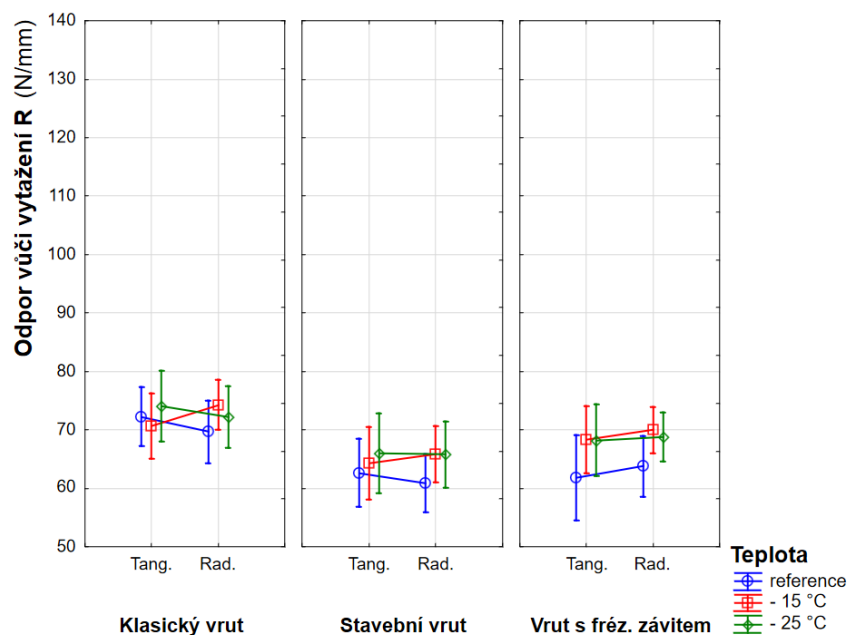
**Obr. 47** Závislost odporu vytažení na typu vrutu

Obrázek 48 nám zobrazuje vliv anatomického směru na odpor proti vytažení vrutu ze dřeva. Průběh letokruhů ve dřevě je významným faktorem ovlivňující maximální sílu potřebnou pro vytažení spojovacího prostředku. Pokud zohledníme průměrné hodnoty pro vruty tak zjistíme, že největší odpor klade dřevo ve směru radiálním, okolo 95 N/mm. Naopak nižší sílu na vytažení je potřeba vynaložit v tangenciálním směru, cca 90 N/mm.



**Obr. 48** Závislost odporu vytažení na směru

Nejlepších výsledků odporu proti vytažení u obou dřevin dosahovaly univerzální vruty s jednochodým závitem, zašroubované do radiálního směru obr. 49. a obr. 50.

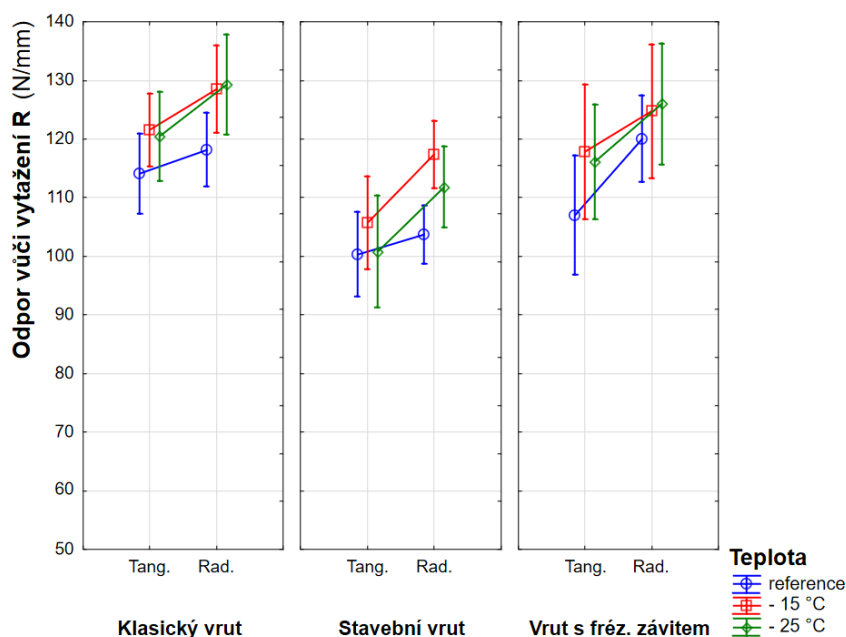


**Obr. 49** Závislost odporu vytažení na typu vrutu, teploty a anatomickém směru pro smrk

U smrkového dřeva univerzální vruty s jednochodým závitem dosahovaly nejvyšších hodnot v radiálním směru 72,26 N/mm a tangenciálním směru 69,68 N/mm. Po teplotním zatížení (-15 °C, +70 °C) je pozorován pokles o 2,5 % ve

směru tangenciálním a 6,6 % v radiálním. Při teplotě (-25 °C, +70 °C) se hodnoty zvýšily o 2,4 % v tangenciálním a o 3,7 % radiálním oproti referenční hodnotě.

Ve dřevě smrkovém pro stavební vrut s jednochodým závitem byly naměřeny hodnoty 62,59 N/mm, a ve směru radiálním 60,83 N/mm. Po zatížení (-15 °C, +70 °C) se odpor v tangenciálním směru zvýšil o 2,25 %, stejně tak i v tangenciálním směru o 8,2 %. Po teplotním zatížení (-25 °C, +70 °C) se oproti referenční skupině hodnoty zvýšily o 5,43 % radiálně a o 8,1 %, taktéž se zvýšily v tangenciálním směru.



**Obr. 50** Závislost odporu vytažení na typu vrutu, teploty a anatomickém směru pro modřín.

Stavební vruty s dvouchodým závitem ve smrkových vzorcích získaly průměrně 61,84 N/mm ve směru tangenciálním a 63,75 N/mm v radiálním. Ve směru tangenciálním došlo po zátěži (-15 °C, +70 °C) ke zvýšení o 10,5 %, a po (-25 °C, +70 °C) o + 10,3 % od referenční skupiny. Co se týče směru radiálního, došlo také k nárůstu o 9,7 % (-15 °C, +70 °C), 7,9 % (-25 °C, +70 °C).

Univerzální vrut v modřínovém dřevě dosáhl 114,09 N/mm pro tangenciální směr, 118,15 N/mm pro radiální. Hodnoty tangenciální po teplotním zatížení (-15 °C, +70 °C) vzrostly o 6,5 %, a o 5,5 % po (-25 °C, +70 °C). Pro radiální směr tyto hodnoty odporu také vzrostly o 8,8 % po (-15 °C, +70 °C) a po zatížení (-25 °C, +70 °C) byl nárůst o 9,4 % vůči referenční skupině.

V případě stavebního vrutu s jednochodým závitem se hodnoty pohybovaly pro tangenciální směr 100,31 N/mm, po teplotním zatížení (-15 °C, +70 °C) byl nárůst o 5,3 % a po (-25 °C, +70 °C) taktéž nárůst o 0,5 %. Pro radiální směr jsou průměrné hodnoty 103,66 N/mm, po teplotním zatížení (-15 °C, +70 °C) došlo k navýšení o 13,2 % a po dalším zatížení (-25 °C, +70 °C) vzrostl odpor proti vytažení o 7,8 %.

Poslední skupinou jsou stavební vruty s dvouchodým závitem, ty dosahovaly pro tangenciální směr 107,00 N/mm a pro radiální 120,04 N/mm. Po teplotním zatížení (-15 °C, +70 °C) odpor narostl o 10,1 % a po druhém zatížení (-25 °C, +70 °C) odpor také vzrostl o 8,1 %. V radiálním směru narostl o 3,9 % a po druhém zatížení (-25 °C, +70 °C) o 4,9 % oproti referenční skupině. V tabulce 11 jsou uvedeny průměrné hodnoty parametru vytažení.

Tab. 11 Průměrné hodnoty parametru vytažení pro smrkové a modřínové dřevo

Dřevo	Typ vrutu	Anat. směr	Teplota (°C)	Odpor vůči vytažení R				
				průměr (N/mm)	Směrodatná odchylka	Standardní chyba - SE	- 95% (N/mm)	+ 95% (N/mm)
SMRK	Klasický vrut do dřeva	Tang.	REF	72,26	10,741	2,402	67,23	77,28
		Tang.	-15	70,63	11,912	2,663	65,05	76,20
		Tang.	- 25	74,02	12,884	2,881	67,99	80,05
		Rad.	REF	69,68	11,427	2,555	64,33	75,03
		Rad.	-15	74,28	9,075	2,029	70,03	78,53
		Rad.	- 25	72,24	11,355	2,539	66,92	77,55
	Stavební vrut do dřeva	Tang.	REF	62,59	12,423	2,778	56,78	68,41
		Tang.	-15	64,35	13,242	2,961	58,15	70,55
		Tang.	- 25	65,99	14,559	3,255	59,17	72,80
		Rad.	REF	60,83	10,533	2,355	55,90	65,76
		Rad.	-15	65,85	10,405	2,327	60,98	70,72
		Rad.	- 25	65,77	11,965	2,675	60,17	71,37
	Stavení vrut do dřeva s fréz. závitem	Tang.	REF	61,84	15,604	3,489	54,53	69,14
		Tang.	-15	68,36	12,317	2,754	62,59	74,12
		Tang.	- 25	68,23	13,016	2,911	62,13	74,32
		Rad.	REF	63,75	11,113	2,485	58,55	68,95
		Rad.	-15	69,98	8,554	1,913	65,98	73,98
		Rad.	- 25	68,81	9,048	2,023	64,58	73,05
MODŘÍN	Klasický vrut do dřeva	Tang.	REF	114,09	14,485	3,239	107,31	120,87
		Tang.	-15	121,54	13,304	2,975	115,31	127,76
		Tang.	- 25	120,41	16,234	3,630	112,81	128,00
		Rad.	REF	118,15	13,388	2,994	111,88	124,42
		Rad.	-15	128,57	15,896	3,554	121,13	136,01
		Rad.	- 25	129,28	18,273	4,086	120,73	137,83
	Stavební vrut do dřeva	Tang.	REF	100,31	15,460	3,457	93,08	107,55
		Tang.	-15	105,66	16,876	3,774	97,76	113,56
		Tang.	- 25	100,81	20,392	4,560	91,27	110,36
		Rad.	REF	103,66	10,616	2,374	98,70	108,63
		Rad.	-15	117,42	12,266	2,743	111,68	123,16
		Rad.	- 25	111,79	14,767	3,302	104,88	118,70
	Stavení vrut do dřeva s fréz. závitem	Tang.	REF	107,00	21,693	4,851	96,85	117,15
		Tang.	-15	117,81	24,403	5,456	106,39	129,23
		Tang.	- 25	116,11	20,923	4,678	106,32	125,90
		Rad.	REF	120,04	15,851	3,544	112,62	127,45
		Rad.	-15	124,76	24,383	5,452	113,35	136,17
		Rad.	- 25	126,02	22,003	4,920	115,72	136,31

## 6. Závěr

Účelem diplomové práce bylo zjištění vlivu střídajících se teplot na schopnost dřeva držet spojovací prostředky. První část se věnuje teoretickému rozboru problematiky posouzení vlivu nízkých teplot na odolnost dřeva proti vytažení vrutů, které popisuje strukturu, fyzikální a mechanické vlastnosti. Druhá experimentální část se zabývá zjišťováním únosnosti vrutů (odpor dřeva proti vytažení vrutu, parametr vytažení). Pro experiment byly použity dva druhy dřevin (smrk, modřín). Ty byly rozděleny do tří skupiny. První skupina byla referenční bez teplotního zatížení, která sloužila pro porovnání s teplotně zatíženými tělesy. Další dvě skupiny byly teplotně zatíženy na  $-15\text{ °C}$  a  $70\text{ °C}$ ,  $-25\text{ °C}$  a  $70\text{ °C}$ . Do takto připraveného dřeva byly zavrtány tři druhy vrutů (klasický vrut do dřeva, stavební vrut do dřeva, stavební vrut do dřeva s frézovacím závitem).

Výstupem je, že dřeva, která prošla teplotním zatížením, mají větší hodnoty jak parametru vytažení, tak i odporu proti vytažení než referenční dřevo. Po mražení u těles mírně vzrostla vlhkost, ale po ohřevu značně klesla. Malé procento vlhkosti ve dřevě má za následek větší schopnost dřeva držet spojovací prostředky.

Největších naměřených hodnot dosahoval klasický vrut do dřeva, a to jak pro odpor dřeva proti vytažení, tak i pro parametr vytažení. Taktéž pro stavební vrut do dřeva s frézovacím závitem a nejhorších výsledků dosahoval stavební vrut do dřeva.

Z hlediska anatomického směru kladl v průměru větší odpor radiální směr než tangenciální. Co se týče použité dřeviny, lepších hodnot dosahoval modřín.

Klasický vrut do dřeva má největší hodnoty ve všech variantách teplotního zatížení, pokud ale použije vrut v praxi bez předvrtání, hrozí riziko prasknutí dřeva v okolí vrutu. Předvrtání je vhodné pro případy velké pravděpodobnosti štípnutí, jako například na konci nebo kraji materiálu. Samopředvrtávací vruty mají menší parametr na vytažení i odpor vůči vytažení, jedním z důvodů je přetrhání vláken předvrtávací špičkou.

Získané poznatky se v praxi mohou využít pro navrhování spojů v dřevěných stavbách jako jsou dřevostavby, altány, obklady, terasy, atd. A to v oblastech, kde dochází k výraznému střídání teplot pod bodem mrazu a vysokých teplot. Z uvedených výsledků je zřejmé, který vrut má největší

únosnost, pokud ale použijeme klasický vrut do dřeva na připevnění obkladu a terasových prken v exteriéru bez předvrtání, vystavujeme dřevo riziku pozdějšímu praskání. Při použití těchto vrutů nezbývá nic jiného, než je předvrtávat i za cenu snížení pevnosti spoje a časové náročnosti. Další možností je použití samopředvrtávacích vrutů, které nemají takovou pevnost, ale odpadá předvrtávání a tím i úspora času navzdory vyšší ceně.

V této práci byl proveden experiment na dřevu s vlhkostí pod mezí hygroskopicity. Do budoucna z pohledu pochopení chování vrutu ve dřevě by bylo zajímavé zopakovat experiment s vlhkostí dřeva nad mezí hygroskopicity a jeho následné zmražení.



## 7. Seznam literatury

- BALABÁN, K. (1955). Nauka o dřevě: anatomie dřev. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 216 s.
- BARNETT, J. R. a JERONIMIDIS G. (2003). Wood quality and its biological basis. Boca Raton, FL: Published in the USA/Canada by CRC Press. Biological sciences series (Oxford, England). 211 s. ISBN 1-84127-319-8.
- BLAŽEJ, A. (1975) Chémia dreva. Bratislava: Alfa. Edícia drevárskej, celulózskej a papiernickej literatúry. 221 s.
- BODIG, J., a JAYNE, B. (1982). Mechanics of wood and wood composites. New York: Van Nostrand Reinhold Company. 712 s. ISBN 0-442-00822-8.
- DAŇKOVÁ, K. (2012). Metodika hodnocení stavu dřeva pomocí měření mechanického odporu při zatlačování trnu. Diplomová práce. Fakulta stavební: ústav stavebního zkušebnictví. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 69 s.
- DESCH, H. E., a DINWOODIE, J. M., (1996). Timber: structure, properties, conversion, and use. 7th ed. New York: Food Products Press. 297 s. ISBN 978-0-333-60905-7.
- DUBOVSKÝ, J. (1993). Ohybové charakteristiky a kvalita dreva - (Vedecké a pedagogické aktuality 5/93). Technická univerzita vo Zvolene. 77 s. ISBN: 80-2280273-5.
- GANDELOVÁ, L., HORÁČEK P., a ŠLEZINGEROVÁ J. (2009). Nauka o dřevě. Vyd. 3., nezměn. Brno Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2.
- GIBBS, N. (2005). Dřevo: obrazový přehled více než 100 druhů dřev včetně jejich využití. V Praze: Slovart. 265 s. ISBN 80-7209-720-2.
- HALPERIN, D. A., a BIBLE, T. (1994). Principles of timber design for architects and builders. New York, N.Y: J. John Wiley & Sons. 416 s. ISBN 0471557684.

- HEIKKONEN S., LUOSTRARINEN K., PIISPA K. (2007). Kiln drying of Siberian Larch (*Larix sibirica*) timber. Research Reports, Finland, Mikkeli University of Applied Sciences. 78 s. ISBN 978-951-588-210-3.
- HIEKE, K. (2008). Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů. Brno: Computer Press. 248 s. ISBN 978-80-251-1901-3.
- HILL, A. S. (2006). Wood modification: chemical, thermal and other processes. Hoboken, John Wiley & Sons. 260 s. ISBN 978-0470021729.
- HORÁČEK, P. (1998). Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 124 s. ISBN 80-7157-347-7.
- JELÍNEK, L. (2008). Tesařské konstrukce. 2. aktualiz. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT. Technická knihovnice autorizovaného inženýra a technika. 236 s. ISBN 978-80-87093-74-0.
- JELÍNEK, L., a ČERVENÝ, P. (2012). Tesařské konstrukce. 3. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT. Technická knihovnice autorizovaného inženýra a technika. 294 s. ISBN 978-80-87438-34-3.
- JOŠČÁK, P., VELKA, I., POLAČIK, L. (2012). Osová únosnosť skrutiek do dreva používaných v konštrukciách nábytku. ACTA FACULTATIS XYLOGOLOGIAE ZVOLEN, 54(1): 87–93. Technická univerzita vo Zvolene.
- KOLLMANN, F. F. P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. (1975). Principles of Wood Science and Technology: II. Wood Based Materials. Springer Science & Business Media. 703 s. ISBN: 978-3-642-87933-3
- KOŽELOUH, B. (1998). Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5: Navrhování a konstrukční materiály. Zlín: KODR. 500 s. ISBN 80-238-2620-4.
- KUKLÍK, P. (2005). Dřevěné konstrukce. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT. 228 s. ISBN 80-01-03310-4.
- KUKLÍK, P. (2005). Dřevěné konstrukce. České vysoké učení technické v Praze. Praha: Informační centrum ČKAIT. 76 s. ISBN 978-80-86769-72-1.
- MADĚRA, P., ÚRADNÍČEK, L. (2001). Dřeviny České republiky. Písek: Matice lesnická. 333 s. ISBN 80-86271-09-9.
- MATOVIČ, A. (1993). Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva: Určeno pro posl. les. fak. obor dřevař a les. Brno: Vysoká škola zemědělská. 212 s. ISBN 8071570869.

- NATTERER, J., HERZOG, T., a VOLZ, M. (2001). *Holzbau Atlas zwei*. 2. vyd. Basel: Birkhäuser Verlag. 348 s. ISBN 3764362308.
- NAVI, P., a SANDBERG, D. (2012). *Thermo-Hydro-Mechanical Processing of Wood*. Boca Raton: CRC Press. Engineering Sciences. 357 s. ISBN 978-1-4398-6042-7.
- OSVALD, A. (1997). *Požiarnotechnické vlastnosti dreva a materiálov na báze dreva*. Zvolen: TU. 52 s. ISBN 80-228-0656-0.
- OSVALD, A., a OSVALDOVÁ, L. (2003). *Retardácia horenia smrekového dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 61 s. ISBN 80-228-1274-9.
- PERELYGIN, L. M. (1965) *Náuka o dreve: učebnica pre drevárske školy*. 2. preprac. a dopln. vyd. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, Edícia drevárskej literatúry. 444 s.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. (1993). *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd., Bratislava: Príroda, 485 s. ISBN 80-07-00960-4.
- RAMMER, D. R. (2010). *Fastenings. Wood handbook : wood as an engineering material: chapter 8*. Centennial ed. General technical report FPL ; GTR-190. Madison, WI : U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010: p. 8.1-8.28.
- REINPRECHT, L. (2008). *Ochrana dreva: vysokoškolská učebnica*. Vo Zvolene: Technická univerzita. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.
- ROWELL, R. M. (2005). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton, Fla.: CRC Press. 487 s. ISBN 0-8493-1588-3.
- SZMUTKU, B., CAMPEAN, M., SANDU, I. (2011) - *Microstructure modifications induced in spruce wood by freezing*. PRO LIGNO. ISSN 2069-7430. Vol. 7(4):26-31
- ŠÚRIKOVÁ, A., TÓTHOVÁ, M. (2006). *Vplyv hĺbky zaskrutkovania samořezných skrutiek na odpor proti vytiahnutiu*. Acta facultatis xylogologiae, roč. 48, č.2, TU Zvolen, s. 41-49, ISSN 1336-3824.
- ŠÚRIKOVÁ, A., KOSKA, P. (1999). *Drevovruty, kovové spojovacie prvky v konštrukčných spojoch*. 50 rokov vysokoškolského drevárskeho štúdia 1949 – 1999: medzinárodná konferencia Zvolen. Zborník referáto. Sekcia č. 2, *Nové aspekty v technológii a výzkume dreva*. Zvolen: Technická univerzita.

- VANÍČEK, R. (1960). Technologie I. – učební obor tesař. Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 110 s.
- VANIN, S. I. (1955). Nauka o dřevě. Praha: SNTL. Řada dřevařské a papírenské literatury. s. 428.
- VELKÁ, I. (2014). Únosnost a tuhost spojov nábytkových drevených konštrukcií vytvorených skrutkami do dreva. Diplomová práce. Technická univerzita vo Zvolene, Drevárská fakulta. 85 s.

## Internetové zdroje

- BHUIYAN, T. R., HIRAI, N., a SOBUE, N. (2000). Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. Journal of Wood Science [online]. 46(6), 431-436 [cit. 2020-02-20]. DOI: 10.1007/BF00765800. ISSN 1435-0211. Dostupné z: <https://jwoodscience.springeropen.com/articles/10.1007/BF00765800>.
- BOVA Březnice spol. s r.o. (2020). Kování na dřevěné a tesařské konstrukce. [online]. [5.4.2020]. Dostupné z. <http://bova-nail.cz/>
- CAMPEAN, M., a ISPAS, M., (2018) Experimental research on sawing frozen wood. Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering 7/56 No.1 - 2014 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z. [http://webbut.unitbv.ro/BU2014/Series%20II/BULETIN%20II%20PDF/08\\_ISPAS\\_Campean\\_.pdf](http://webbut.unitbv.ro/BU2014/Series%20II/BULETIN%20II%20PDF/08_ISPAS_Campean_.pdf)
- CURNEL, Y., JACQUES D., GIERLINGER, N., a PÂQUES, L. (2008). Variation in the decay resistance of larch to fungi. Annals of Forest Science 65(8), 810-810 [cit. 2020-05-19]. DOI: 10.1051/forest:2008062. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1051/forest:2008062>
- FISCHERWERKE GMBH & CO. (2020). Screws for common and special applications in wood, interior fittings and drywall construction. [online]. [5.6.2020]. Dostupné z. <https://www.fischer.de/de-de>
- HERNÁNDEZ, R. E., PASSARINI, L., KOUBAA, A. (2014). Effects of temperature and moisture content on selected wood mechanical properties involved in the chipping process. Wood Science and Technology 48(6), 1281-1301 [cit.

- 2020-03-18]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-014-0673-9>. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00226-014-0673-9>
- HPM TEC s.r.o. (2020). Katalog vruty RAPI-TEC 2019 [online]. [5.6.2020]. Dostupné z. <https://www.hpmttec.cz/>
- KASPER CZ S.R.O. (2020). Dřevěné vazníky. [online]. [5.4.2020]. Dostupné z. <https://www.kaspercz.cz/>
- ROTHOBLAAS SRL. (2019). Vruty a spojovací prostředky do dřeva [online]. [10.5.2020]. Dostupné z. <https://www.vruty-koudelak.cz/>
- SFS GROUP CZ S.R.O. (2020). Spojovací materiály. [online]. [5.6.2020]. Dostupné z. <https://www.sfsintec.biz/mo/cz/cs/web/homepage.html>
- STANLEY BLACK & DECKER CZECH S.R.O. (2020). Přehled spojovacího materiálu [online]. [5.6.2020]. Dostupné z: <http://www.stanley-bostitch.cz/>
- YILDIZ, S. (2005). Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat., Karadeniz Technical University. [cit. 2020-05-15] DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.017> Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/>.
- ZHAO, L., a JIANG, J., LU J., a ZHAN, T. (2015). Flexural property of wood in low temperature environment. Cold Regions Science and Technology 116, 65-69 [cit. 2020-04-18]. DOI: 10.1016/j.coldregions.2015.04.001. ISSN 0165232X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165232X15000804>

## **Technické normy**

- ČSN EN 1382. (2018). Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Únosnost na vytažení spojovacích prostředků. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 12 s.
- ČSN 49 0135 (1984). Drevo. Metóda zisťovania odporu proti vytiahnutiu klincov a skrutiek. Praha: Úřad pro technickou normalizaci a měření. 8 s.

## **8. Přílohy**

Všechny uvedené hodnoty v přílohách byly naměřeny a vypočteny podle uvedené normy v kapitole 4.

Vysvětlivky k přílohám:

- $\rho_p$  -počáteční hustota těles po klimatizaci na 12 % ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\rho_m$  -hustota těles po mražení na danou teplotu ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\rho_k$  -konečná hustota těles po ohřevu na danou teplotu ( $\text{kg/m}^3$ )
- Rad. -označení radiálního směru
- Tang. -označení tangenciálního směru
- $F_{\max}$  -maximální síla pro vytažení vrutu (N)
- $F_{ax}$  -parametr vytažení (MPa)
- R -odpor dřeva proti vytažení vrutu ze dřeva (N/mm)

**Příloha. 1** Naměřené hodnoty pro klasické vruty

Číslo tělesa	Dřevina	Teplota (°C)	Typ vrutu	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$F_{\max}$ Tang. (N)	$F_{\max}$ Rad. (N)	$f_{\max}$ Tang. (MPa)	$f_{\max}$ Rad. (MPa)	R Tang. (N/mm)	R Rad. (N/mm)
9-3-4	Smrk	Referenční hodnota	Klasický vrut	373,21	-	-	1803,35	2003,5	15,22	16,91	60,11	66,78
9-3-13				386,66	-	-	1836,95	1740,75	15,50	14,69	61,23	58,03
9-3-22				375,39	-	-	2041,05	1680,4	17,22	14,18	68,04	56,01
9-4-8				387,28	-	-	2322,9	1971,05	19,60	16,63	77,43	65,70
9-4-17				381,15	-	-	1673,85	1827	14,13	15,42	55,80	60,90
9-5-4				430,11	-	-	2564,85	2069,5	21,64	17,46	85,50	68,98
9-5-13				426,64	-	-	2362,15	1985,25	19,93	16,75	78,74	66,18
9-5-22				408,00	-	-	1804,5	1870,25	15,23	15,78	60,15	62,34
9-6-7				413,45	-	-	2145,8	1953,1	18,11	16,48	71,53	65,10
9-6-16				404,16	-	-	2242,9	1952,8	18,93	16,48	74,76	65,09
9-7-2				391,91	-	-	1965,9	2164,3	16,59	18,26	65,53	72,14
9-7-11				385,20	-	-	1877,35	1792,55	15,84	15,13	62,58	59,75
9-7-20				379,29	-	-	1848,05	1721,1	15,60	14,52	61,60	57,37
9-8-7				400,22	-	-	2219	2161,75	18,73	18,24	73,97	72,06
9-8-16				405,96	-	-	2123,35	1925,5	17,92	16,25	70,78	64,18
8-1-6				591,19	-	-	2831,31	2758,15	23,89	23,28	94,38	91,94
8-1-15				568,43	-	-	2630,6	2649,1	22,20	22,36	87,69	88,30
8-1-24				546,46	-	-	2350,4	2560,45	19,83	21,61	78,35	85,35
8-2-9				443,91	-	-	2105,1	2229,5	17,76	18,81	70,17	74,32
8-2-18				486,91	-	-	2603	2792	21,97	23,56	86,77	93,07
9-2-20	Smrk	Teplotní zatížení -15 °C, 70 °C	Klasický vrut	365,42	366,62	340,865	1804,85	1880,00	14,50	15,10	60,16	62,67
9-3-5				369,80	370,87	353,417	2135,10	2180,05	17,15	17,51	71,17	72,67
9-3-14				379,13	381,28	365,948	2098,10	2135,65	16,85	17,15	69,94	71,19
9-4-9				385,87	387,29	368,699	1471,20	2403,25	11,82	19,30	49,04	80,11
9-4-18				391,93	393,59	379,675	1692,15	2087,25	13,59	16,77	56,41	69,58
9-5-5				428,72	429,69	414,075	2061,10	2299,65	16,56	18,47	68,70	76,66
9-5-14				420,96	421,69	404,864	1923,30	2138,80	15,45	17,18	64,11	71,29
9-5-23				400,35	401,71	387,146	2264,05	2158,45	18,19	17,34	75,47	71,95
9-6-8				399,76	404,01	388,712	2173,25	2031,75	17,46	16,32	72,44	67,73
9-6-17				397,13	398,03	384,965	1962,00	2085,00	15,76	16,75	65,40	69,50
9-7-3				391,97	392,86	376,814	2117,20	1983,05	17,01	15,93	70,57	66,10
9-7-12				379,61	379,81	366,104	1953,20	2048,00	15,69	16,45	65,11	68,27
9-7-21				368,01	370,51	354,507	1875,20	1837,90	15,06	14,76	62,51	61,26
9-8-8				397,30	401,94	385,841	1926,40	2181,80	15,47	17,52	64,21	72,73
9-8-17				402,19	404,82	563,211	1997,60	1998,75	16,04	16,05	66,59	66,63
8-1-7				582,32	585,46	573,731	2958,10	2704,45	23,76	21,72	98,60	90,15
8-1-16				565,11	567,08	548,487	2727,80	2590,00	21,91	20,80	90,93	86,33
8-2-1				427,41	429,94	413,329	2192,05	2455,35	17,61	19,72	73,07	81,85
8-2-10				443,93	446,75	428,009	2736,05	2576,35	21,98	20,69	91,20	85,88
8-2-19				484,83	488,58	467,717	2306,75	2792,40	18,53	22,43	76,89	93,08



**Příloha. 2** Naměřené hodnoty pro klasické vruty a stavební vruty

Číslo tělesa	Dřevina	Teplota (°C)	Typ vrutu	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$F_{\max}$ Tang. (N)	$F_{\max}$ Rad. (N)	$f_{\max}$ Tang. (MPa)	$f_{\max}$ Rad. (MPa)	R Tang. (N/mm)	R Rad. (N/mm)
9-3-6	Smrk	Teplotní zatížení -25 °C, 70 °C	Klasický vrut	380,60	358,76	352,50	1685,35	1662,55	14,40	14,21	56,18	55,42
9-3-15				374,99	362,81	362,68	2253,55	1971,70	19,26	16,85	75,12	65,72
9-4-1				383,34	376,39	366,91	2188,10	1927,90	18,70	16,48	72,94	64,26
9-4-10				384,58	375,73	370,50	2109,50	2011,30	18,03	17,19	70,32	67,04
9-4-19				385,53	377,25	372,22	1876,35	2182,65	16,04	18,66	62,55	72,76
9-5-6				428,98	418,88	413,99	2058,00	2168,45	17,59	18,53	68,60	72,28
9-5-15				417,00	407,99	404,42	2682,65	2110,95	22,93	18,04	89,42	70,37
9-5-24				395,89	384,74	381,99	2118,05	1952,10	18,10	16,68	70,60	65,07
9-6-9				398,34	391,39	387,92	2003,90	2126,85	17,13	18,18	66,80	70,90
9-6-18				396,95	388,72	385,28	1973,70	2039,20	16,87	17,43	65,79	67,97
9-7-4				394,88	383,40	382,70	2182,25	2097,85	18,65	17,93	72,74	69,93
9-7-13				385,93	370,16	371,26	2043,75	1724,35	17,47	14,74	68,13	57,48
9-7-22				372,04	362,56	357,52	1926,45	1954,95	16,47	16,71	64,22	65,17
9-8-9				404,75	397,42	391,78	2114,05	2259,55	18,07	19,31	70,47	75,32
9-8-18				401,52	394,07	390,37	2253,25	1948,10	19,26	16,65	75,11	64,94
8-1-8				583,45	573,83	565,19	3066,60	2875,60	26,21	24,58	102,2	95,85
8-1-17				565,37	556,90	547,25	2905,50	2642,45	24,83	22,59	96,85	88,08
8-2-2				432,59	423,49	417,38	1662,55	2269,80	14,21	19,40	55,42	75,66
8-2-11				445,56	437,63	429,62	2483,85	2445,45	21,23	20,90	82,80	81,52
8-2-20				492,21	482,85	475,98	2823,50	2970,10	24,13	25,39	94,12	99,00
9-3-7	Smrk	Referenční hodnota	Stavební vrut	368,23	-	-	1553,7	1503,3	13,11	12,69	51,79	50,11
9-3-16				385,98	-	-	1488,8	1664,75	12,56	14,05	49,63	55,49
9-4-2				378,90	-	-	1874,8	1970,45	15,82	16,63	62,49	65,68
9-4-11				390,37	-	-	1669	1532,65	14,08	12,93	55,63	51,09
9-4-20				378,61	-	-	1354,15	1510	11,43	12,74	45,14	50,33
9-5-7				429,22	-	-	1655,9	1673	13,97	14,12	55,20	55,77
9-5-16				415,98	-	-	1516,7	1653,9	12,80	13,96	50,56	55,13
9-6-1				385,44	-	-	1672,15	1605,25	14,11	13,55	55,74	53,51
9-6-10				397,99	-	-	1664,45	1762,35	14,05	14,87	55,48	58,75
9-6-19				405,92	-	-	1960	1594,4	16,54	13,45	65,33	53,15
9-7-5				395,09	-	-	1670,4	1853,2	14,10	15,64	55,68	61,77
9-7-14				375,52	-	-	1678,95	1527,25	14,17	12,89	55,97	50,91
9-8-1				391,61	-	-	1844,05	2259,7	15,56	19,07	61,47	75,32
9-8-10				408,47	-	-	2066,95	1615,2	17,44	13,63	68,90	53,84
9-8-19				412,68	-	-	2626,05	1684,65	22,16	14,22	87,54	56,16
8-1-9				590,57	-	-	2669,05	2394,9	22,52	20,21	88,97	79,83
8-1-18				568,47	-	-	2482,85	2393,75	20,95	20,20	82,76	79,79
8-2-3				435,72	-	-	1863,45	1843,5	15,73	15,56	62,12	61,45
8-2-12				453,93	-	-	2119,65	2018,55	17,89	17,03	70,66	67,29
8-2-21				498,67	-	-	2123,6	2438,45	17,92	20,58	70,79	81,28

**Příloha. 3 Naměřené hodnoty pro stavební vruty**

Číslo tělesa	Dřevina	Teplota (°C)	Typ vrutu	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$F_{max}$ Tang. (N)	$F_{max}$ Rad. (N)	$f_{ax}$ Tang. (MPa)	$f_{ax}$ Rad. (MPa)	R Tang. (N/mm)	R Rad. (N/mm)
9-3-8	Smrk	Teplotní zatížení -15 °C, 70 °C	Stavební vrut	364,57	366,18	350,75	1547,25	1570,30	12,43	12,61	51,58	52,34
9-3-17				380,61	381,60	366,23	1866,65	1578,55	14,99	12,68	62,22	52,62
9-4-3				380,51	382,63	365,13	1587,10	1929,00	12,75	15,49	52,90	64,30
9-4-12				389,37	385,17	378,68	1613,30	1986,50	12,96	15,96	53,78	66,22
9-4-21				375,52	376,12	351,85	1619,25	1649,70	13,01	13,25	53,98	54,99
9-5-8				427,59	428,94	412,36	1734,85	2068,50	13,93	16,61	57,83	68,95
9-5-17				423,30	415,52	402,49	1685,85	1887,40	13,54	15,16	56,20	62,91
9-6-2				383,31	385,02	364,60	1551,20	2000,45	12,46	16,07	51,71	66,68
9-6-11				394,60	396,89	382,25	1692,40	1815,95	13,59	14,59	56,41	60,53
9-6-20				398,36	399,97	382,99	1593,65	1645,45	12,80	13,22	53,12	54,85
9-7-6				393,25	393,32	377,22	1702,40	1794,05	13,67	14,41	56,75	59,80
9-7-15				376,30	378,66	364,03	1767,00	1766,45	14,19	14,19	58,90	58,88
9-8-2				383,01	384,75	374,17	2006,40	1794,90	16,12	14,42	66,88	59,83
9-8-11				405,44	407,33	392,53	2016,40	1820,25	16,20	14,62	67,21	60,68
8-1-1				574,04	574,50	556,53	2651,50	2425,20	21,30	19,48	88,38	80,84
8-1-10				578,27	578,71	561,30	2492,65	2668,00	20,02	21,43	83,09	88,93
8-1-19				571,48	573,67	552,96	2850,20	2422,34	22,89	19,46	95,01	80,74
8-2-4				437,00	438,81	421,29	1937,55	2030,60	15,56	16,31	64,59	67,69
8-2-13				474,13	476,28	457,41	2349,75	2290,25	18,87	18,40	78,33	76,34
8-2-22				501,68	504,33	481,99	2343,55	2366,55	18,82	19,01	78,12	78,89
9-3-9	Smrk	Teplotní zatížení -25 °C., 70 °C	Stavební vrut	150,41	361,01	354,28	1846,45	1618,15	15,78	13,83	61,55	53,94
9-3-18				151,38	372,16	366,33	1647,45	1664,25	14,08	14,22	54,92	55,48
9-4-4				150,92	378,47	375,56	2003,30	1832,50	17,12	15,66	66,78	61,08
9-4-13				150,96	382,01	377,30	1630,95	1781,55	13,94	15,23	54,37	59,39
9-4-22				150,94	371,21	367,81	1379,85	1737,15	11,79	14,85	46,00	57,91
9-5-9				150,45	416,87	411,85	1886,90	1775,85	16,13	15,18	62,90	59,20
9-5-18				150,94	410,45	402,26	1558,65	1871,50	13,32	16,00	51,96	62,38
9-6-3				150,54	375,16	369,70	1765,90	1594,80	15,09	13,63	58,86	53,16
9-6-12				150,79	392,52	390,57	2001,35	1817,40	17,11	15,53	66,71	60,58
9-6-21				150,57	390,43	384,26	1604,75	1750,80	13,72	14,96	53,49	58,36
9-7-7				150,92	377,54	376,41	1416,90	1817,70	12,11	15,54	47,23	60,59
9-7-16				150,89	369,02	368,34	1518,20	1694,45	12,98	14,48	50,61	56,48
9-8-3				150,67	379,13	372,25	2023,55	1976,86	17,30	16,90	67,45	65,90
9-8-12				150,39	398,86	395,55	1952,65	1833,10	16,69	15,67	65,09	61,10
8-1-2				150,59	566,04	546,73	2649,55	2414,70	22,65	20,64	88,32	80,49
8-1-11				151,09	571,31	558,25	2659,50	2523,45	22,73	21,57	88,65	84,12
8-1-20				151,24	559,54	553,47	2732,95	2725,55	23,36	23,30	91,10	90,85
8-2-5				151,16	436,98	435,37	2402,75	1947,80	20,54	16,65	80,09	64,93
8-2-14				151,02	470,87	463,13	2456,80	2456,80	21,00	21,00	81,89	81,89
8-2-23				149,68	511,37	502,50	2453,40	2627,65	20,97	22,46	81,78	87,59

**Příloha. 4 Naměřené hodnoty pro stavební vruty**

Číslo tělesa	Dřevina	Teplota (°C)	Typ vrutu	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$F_{max}$ Tang. (N)	$F_{max}$ Rad. (N)	$f_{ax}$ Tang. (MPa)	$f_{ax}$ Rad. (MPa)	R Tang. (N/mm)	R Rad. (N/mm)
9-3-1	Smrk	Referenční hodnota	Stavební vrut s frézovacím závitem	363,03	-	-	1136,1	1571,35	9,59	13,26	37,87	52,38
9-3-10				373,57	-	-	1292,65	1354,7	10,91	11,43	43,09	45,16
9-3-19				388,24	-	-	1824,45	1656,75	15,40	13,98	60,82	55,23
9-4-5				391,12	-	-	1589,85	2095,7	13,42	17,69	53,00	69,86
9-4-14				385,66	-	-	1620,3	1629,15	13,67	13,75	54,01	54,31
9-5-1				406,32	-	-	1524,1	2031,95	12,86	17,15	50,80	67,73
9-5-10				419,34	-	-	1817,3	1952,25	15,34	16,47	60,58	65,08
9-5-19				411,64	-	-	1418,5	1747,3	11,97	14,75	47,28	58,24
9-6-4				388,77	-	-	1804,2	1862,85	15,23	15,72	60,14	62,10
9-6-13				396,40	-	-	1737,9	1846,65	14,67	15,58	57,93	61,56
9-6-22				397,72	-	-	1649,5	1787,15	13,92	15,08	54,98	59,57
9-7-8				386,18	-	-	1789,4	1598,95	15,10	13,49	59,65	53,30
9-7-17				376,50	-	-	1693,5	1619,2	14,29	13,66	56,45	53,97
9-8-4				439,62	-	-	1922,05	1791,7	16,22	15,12	64,07	59,72
9-8-13				411,37	-	-	1819,6	1800,25	15,36	15,19	60,65	60,01
8-1-3				577,75	-	-	2910,15	2640,85	24,56	22,29	97,01	88,03
8-1-12				576,51	-	-	2893,65	2381,25	24,42	20,09	96,46	79,38
8-1-21				573,86	-	-	2489,7	2461,8	21,01	20,77	82,99	82,06
8-2-6				443,97	-	-	1852,9	2202,2	15,64	18,58	61,76	73,41
8-2-15				479,34	-	-	2316,6	2215,55	19,55	18,70	77,22	73,85
9-3-2	Smrk	Teplotní zatížení -15 °C, 70 °C	Stavební vrut s frézovacím závitem	365,93	367,06	347,46	1469,80	2113,45	11,81	16,98	48,99	70,45
9-3-11				378,62	379,38	364,03	2193,15	1762,45	17,62	14,16	73,11	58,75
9-3-20				377,97	379,09	363,68	1785,20	1982,80	14,34	15,93	59,51	66,09
9-4-6				386,64	387,78	369,64	2303,90	1966,55	18,51	15,80	76,80	65,55
9-4-15				383,22	384,55	368,94	2051,70	1766,45	16,48	14,19	68,39	58,88
9-5-2				415,62	415,25	398,95	1938,35	2266,05	15,57	18,20	64,61	75,54
9-5-11				414,38	415,06	399,57	2090,10	2232,45	16,79	17,93	69,67	74,42
9-5-20				411,21	415,54	398,50	2077,30	2118,60	16,69	17,02	69,24	70,62
9-6-5				389,01	390,47	375,14	2010,70	2034,30	16,15	16,34	67,02	67,81
9-6-14				403,70	404,66	391,38	1814,55	1946,65	14,57	15,64	60,49	64,89
9-6-23				400,28	401,30	386,03	1608,15	1977,10	12,92	15,88	53,61	65,90
9-7-9				380,29	382,26	358,62	1857,55	1997,90	14,92	16,05	61,92	66,60
9-7-18				369,06	370,69	35,625	1623,25	1708,10	13,04	13,72	54,11	56,94
9-8-5				388,39	389,60	367,57	1788,35	1992,20	14,36	16,00	59,61	66,41
9-8-14				404,26	406,58	390,86	1863,50	1868,35	14,97	15,01	62,12	62,28
8-1-4				580,06	581,17	559,41	2772,20	2541,60	22,27	20,41	92,41	84,72
8-1-13				566,56	568,23	546,89	2841,40	2556,40	22,82	20,53	94,71	85,21
8-1-22				552,48	582,32	561,57	2449,20	2406,40	19,67	19,33	81,64	80,21
8-2-7				434,37	435,42	474,26	1977,95	2256,65	15,89	18,13	65,93	75,22
8-2-16				477,24	479,53	460,17	2497,75	2493,50	20,06	20,03	83,26	83,12

**Příloha. 5** Naměřené hodnoty pro stavební vruty a klasické vruty

Číslo tělesa	Dřevina	Teplota (°C)	Typ vrutu	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$F_{max}$ Tang. (N)	$F_{max}$ Rad. (N)	$f_{ax}$ Tang. (MPa)	$f_{ax}$ Rad. (MPa)	R Tang. (N/mm)	R Rad. (N/mm)
9-3-3	Smrk	Teplotní zatížení -25 °C, 70 °C	Stavební vrut s frézovacím závitem	374,97	373,61	357,84	2264,90	2111,75	19,36	18,05	75,50	70,39
9-3-12				396,04	394,62	383,41	1982,50	1770,70	16,94	15,13	66,08	59,02
9-3-21				374,58	373,54	359,93	2062,80	1747,65	17,63	14,94	68,76	58,26
9-4-7				385,12	384,23	369,16	1901,65	2015,25	16,25	17,22	63,39	67,18
9-4-16				379,91	378,43	364,96	1320,65	1853,00	11,29	15,84	44,02	61,77
9-5-3				419,80	420,86	406,58	2072,45	2312,15	17,71	19,76	69,08	77,07
9-5-12				404,80	404,67	390,99	1738,55	2069,05	14,86	17,68	57,95	68,97
9-5-21				407,37	407,16	393,41	1992,75	1982,50	17,03	16,94	66,43	66,08
9-6-6				407,04	407,21	393,69	2072,20	1946,35	17,71	16,64	69,07	64,88
9-6-15				403,09	403,16	389,66	1808,55	1883,15	15,46	16,10	60,29	62,77
9-7-1				385,44	383,62	372,88	2156,45	2121,70	18,43	18,13	71,88	70,72
9-7-10				373,75	372,68	359,73	1529,60	1769,55	13,07	15,12	50,99	58,99
9-7-19				371,67	370,31	356,62	1703,50	1835,90	14,56	15,69	56,78	61,20
9-8-6				390,39	388,52	376,91	1914,20	1897,10	16,36	16,21	63,81	63,24
9-8-15				398,82	398,70	386,62	1720,05	1861,80	14,70	15,91	57,34	62,06
8-1-5				592,13	592,29	570,99	2912,30	2672,85	24,89	22,84	97,08	89,10
8-1-14				572,20	570,27	556,20	2779,05	2590,00	23,75	22,14	92,64	86,33
8-1-23				551,53	549,94	532,11	2490,10	2417,50	21,28	20,66	83,00	80,58
8-2-8				436,97	435,31	420,76	2413,80	2113,20	20,63	18,06	80,46	70,44
8-2-17				475,84	474,63	452,23	2098,65	2317,30	17,94	19,81	69,96	77,24
5-2-11	Modřín	Referenční hodnota	Klasický vrut	712,83	-	-	3561,6	3541,4	30,06	29,89	118,72	118,05
5-2-20				680,46	-	-	3720,45	3643,6	31,40	30,75	124,02	121,45
5-3-4				737,13	-	-	4593,55	4617,2	38,76	38,96	153,12	153,91
5-3-13				678,22	-	-	3041,2	3364,05	25,66	28,39	101,37	112,14
5-3-22				615,44	-	-	3496,4	3323,05	29,51	28,04	116,55	110,77
6-1-7				573,58	-	-	3150,55	3329,3	26,59	28,10	105,02	110,98
6-1-16				582,36	-	-	3482,45	3676,05	29,39	31,02	116,08	122,54
6-2-1				602,80	-	-	4358,7	4139,2	36,78	34,93	145,29	137,97
6-2-10				572,95	-	-	2945,55	3558,2	24,86	30,03	98,19	118,61
6-2-19				562,65	-	-	2971,2	3561,9	25,07	30,06	99,04	118,73
6-3-5				544,57	-	-	3520,35	4214,95	28,28	33,86	117,35	140,50
6-3-14				567,42	-	-	3524,9	3705,65	28,31	29,76	117,50	123,52
6-3-23				559,48	-	-	3296,55	3342,1	26,48	26,84	109,89	111,40
11-1-9				615,30	-	-	3601,75	3678,9	28,93	29,55	120,06	122,63
11-1-18				611,33	-	-	3469,65	3370,85	27,87	27,08	115,66	112,36
11-2-2				643,06	-	-	3190,95	3126,35	25,63	25,11	106,37	104,21
11-2-11				635,05	-	-	3241,35	3380,55	26,03	27,15	108,05	112,69
11-2-20				580,14	-	-	3086,2	3145,4	24,79	25,26	102,87	104,85
11-3-8				587,80	-	-	2883,1	2915,95	23,16	23,42	96,10	97,20
11-3-17				589,24	-	-	3314,5	3254,45	26,62	26,14	110,48	108,48

**Příloha. 6** Naměřené hodnoty pro klasické vruty

Číslo tělesa	Dřevina	Teplota (°C)	Typ vrutu	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$F_{\max}$ Tang. (N)	$F_{\max}$ Rad. (N)	$f_{\max}$ Tang. (MPa)	$f_{\max}$ Rad. (MPa)	R Tang. (N/mm)	R Rad. (N/mm)
5-2-12	Modřín	Teplotní zatížení -15 °C, 70 °C	Klasický vrut	715,14	717,27	697,42	4160,86	4119,30	33,42	33,09	138,70	137,31
5-2-21				672,48	673,72	650,29	3915,20	4167,40	31,45	33,47	130,51	138,91
5-3-5				756,99	763,33	732,42	4524,10	4626,30	36,34	37,16	150,80	154,21
5-3-14				671,70	666,78	647,03	3368,60	3907,50	27,06	31,39	112,29	130,25
5-3-23				612,87	616,05	591,98	3194,95	3578,15	25,66	28,74	106,50	119,27
6-1-8				573,74	571,21	556,10	3036,95	3763,15	24,39	30,23	101,23	125,44
6-1-17				589,01	591,05	570,84	3942,50	4605,25	31,67	36,99	131,42	153,51
6-2-2				578,01	577,57	559,46	3879,60	4380,05	31,16	35,18	129,32	146,00
6-2-11				573,06	570,74	547,64	3931,70	3855,10	31,58	30,96	131,06	128,50
6-2-20				559,75	556,44	537,91	3933,40	4195,90	31,59	33,70	131,11	139,86
6-3-6				542,36	545,72	519,66	3764,30	3942,80	32,17	33,70	125,48	131,43
6-3-15				565,96	563,18	549,05	3541,95	3427,55	30,27	29,30	118,07	114,25
11-1-1				627,04	623,42	607,24	3612,85	3969,25	30,88	33,93	120,43	132,31
11-1-10				609,91	610,88	592,36	3766,30	3898,40	32,19	33,32	125,54	129,95
11-1-19				603,64	612,74	593,16	3859,65	3508,65	32,99	29,99	128,66	116,96
11-2-3				644,14	643,59	626,21	3440,35	4400,85	29,40	37,61	114,68	146,70
11-2-12				600,35	601,05	582,55	3633,35	3458,55	31,05	29,56	121,11	115,29
11-2-21				576,26	580,84	561,55	3089,90	3289,45	26,41	28,11	103,00	109,65
11-3-9				575,61	577,18	558,44	2998,25	2896,60	25,63	24,76	99,94	96,55
11-3-18				584,33	581,26	566,22	3325,60	3149,95	28,42	26,92	110,85	105,00
5-2-13	Modřín	Teplotní zatížení -25 °C, 70 °C	Klasický vrut	726,46	731,93	712,74	4493,70	5198,85	38,41	44,43	149,79	173,30
5-2-22				662,32	659,65	644,64	4019,15	3883,25	34,35	33,19	133,97	129,44
5-3-6				739,16	738,03	718,89	4459,55	5198,85	38,12	44,43	148,65	173,30
5-3-15				653,01	652,78	633,40	3416,20	3657,90	29,20	31,26	113,87	121,93
5-3-24				613,25	612,56	593,73	3524,65	3369,50	30,13	28,80	117,49	112,32
6-1-9				573,73	574,05	555,87	3455,75	3857,45	29,54	32,97	115,19	128,58
6-1-18				588,54	590,16	573,44	4744,80	3848,00	40,55	32,89	158,16	128,27
6-2-3				562,12	560,63	547,70	3828,70	3957,65	32,72	33,83	127,62	131,92
6-2-12				569,98	567,64	549,34	3648,80	3885,90	31,19	33,21	121,63	129,53
6-2-21				554,24	553,74	535,75	3516,95	3978,15	30,06	34,00	117,23	132,61
6-3-7				538,17	537,02	519,28	3449,50	3998,35	29,11	33,74	114,98	133,28
6-3-16				558,62	558,31	540,84	3370,10	3868,25	28,44	32,64	112,34	128,94
11-1-2				614,67	613,45	597,93	3669,30	3776,05	30,96	31,87	122,31	125,87
11-1-11				605,50	603,76	585,69	3434,15	3506,70	28,98	29,59	114,47	116,89
11-1-20				620,34	617,70	597,19	3275,30	4201,35	27,64	35,45	109,18	140,05
11-2-4				618,63	626,21	613,26	3394,25	3367,80	28,64	28,42	113,14	112,26
11-2-13				593,73	592,39	575,31	3099,35	3230,00	26,15	27,26	103,31	107,67
11-3-1				586,19	587,11	569,68	2745,75	3456,35	23,17	29,17	91,53	115,21
11-3-10				614,23	614,49	595,33	3321,40	4246,60	28,03	35,84	110,71	141,55
11-3-19				585,97	587,07	571,22	3376,05	3081,40	28,49	26,00	112,54	102,71

**Příloha. 7** Naměřené hodnoty pro stavební vruty

Číslo tělesa	Dřevina	Teplota (°C)	Typ vrutu	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$F_{max}$ Tang. (N)	$F_{max}$ Rad. (N)	$f_{ax}$ Tang. (MPa)	$f_{ax}$ Rad. (MPa)	R Tang. (N/mm)	R Rad. (N/mm)
5-2-14	Modřín	Referenční hodnota	Stavební vrut	690,78	-	-	3750,9	3747,5	31,65	31,62	125,03	124,92
5-2-23				665,48	-	-	3435,8	3175	28,99	26,79	114,53	105,83
5-3-7				727,15	-	-	3418,15	3763,15	28,85	31,76	113,94	125,44
5-3-16				651,81	-	-	2940,45	3118,1	24,81	26,31	98,02	103,94
6-1-1				576,84	-	-	3146,85	3009,6	26,56	25,40	104,90	100,32
6-1-10				581,62	-	-	2492,35	3377,7	21,03	28,50	83,08	112,59
6-1-19				609,27	-	-	4309,75	3465,4	36,37	29,24	143,66	115,51
6-2-4				565,27	-	-	2587,45	3264,1	21,84	27,55	86,25	108,80
6-2-13				563,96	-	-	3011,9	2939	25,42	24,80	100,40	97,97
6-2-22				575,86	-	-	3153,95	3305,7	26,62	27,90	105,13	110,19
6-3-8				548,51	-	-	2802,35	3205,2	22,51	25,74	93,41	106,84
6-3-17				562,19	-	-	2991,1	2902	24,02	23,31	99,70	96,73
11-1-3				624,43	-	-	3066	3183,25	24,63	25,57	102,20	106,11
11-1-12				599,21	-	-	2751,15	3019	22,10	24,25	91,71	100,63
11-1-21				619,61	-	-	3051,45	2822,3	24,51	22,67	101,72	94,08
11-2-5				633,26	-	-	2716,95	2824,6	21,82	22,69	90,57	94,15
11-2-14				595,90	-	-	2965,8	2665,75	23,82	21,41	98,86	88,86
11-3-2				574,09	-	-	2297,95	2638,95	18,46	21,20	76,60	87,97
11-3-11				578,42	-	-	2784,15	2743,15	22,36	22,03	92,81	91,44
11-3-20				591,43	-	-	2510,85	3028,4	20,17	24,32	83,70	100,95
5-2-15	Modřín	Teplotní zatížení -15 °C, 70 °C	Stavební vrut	696,45	692,84	679,16	4109,10	4525,05	35,12	38,68	136,97	150,84
5-2-24				661,92	661,81	645,45	3761,25	3214,05	32,15	27,47	125,38	107,14
5-3-8				703,56	704,22	691,66	3705,45	3924,65	31,67	33,54	123,52	130,82
5-3-17				629,85	627,34	612,52	2658,35	3102,75	22,72	26,52	88,61	103,43
6-1-2				567,88	566,72	545,62	2563,85	3056,35	21,91	26,12	85,46	101,88
6-1-11				569,88	566,56	550,66	2447,40	3112,15	20,92	26,60	81,58	103,74
6-1-20				603,70	614,83	575,73	2712,20	3891,90	23,18	33,26	90,41	129,73
6-2-5				560,47	578,19	541,90	2477,30	3319,40	21,17	28,37	82,58	110,65
6-2-14				567,02	563,46	551,66	2893,80	3609,20	24,73	30,85	96,46	120,31
6-2-23				560,70	561,09	547,45	4513,95	3885,35	38,09	32,79	150,47	129,51
6-3-9				544,66	542,33	530,39	2795,60	3289,80	23,59	27,76	93,19	109,66
6-3-18				556,88	556,84	539,57	2960,40	3510,15	24,98	29,62	98,68	117,01
11-1-4				617,91	617,03	603,15	2963,85	3574,50	25,01	30,16	98,80	119,15
11-1-13				600,49	598,37	583,14	3353,00	3287,50	28,30	27,74	111,77	109,58
11-1-22				596,88	599,00	584,07	3348,45	3225,75	28,26	27,22	111,62	107,53
11-2-6				611,46	609,05	605,38	3225,75	2897,20	27,22	24,45	107,53	96,57
11-2-15				604,16	602,35	587,32	2769,10	2933,65	23,37	24,76	92,30	97,79
11-3-3				581,29	579,18	562,93	2181,25	2920,85	18,41	24,65	72,71	97,36
11-3-12				580,08	585,19	566,60	2416,70	2703,35	20,39	22,81	80,56	90,11
11-3-21				602,02	598,13	590,061	2628,50	3089,95	22,18	26,08	87,62	103,00

**Příloha. 8** Naměřené hodnoty pro klasické vruty a stavební vruty s frézovacím závitem

Číslo tělesa	Dřevina	Teplota (°C)	Typ vrutu	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$F_{max}$ Tang. (N)	$F_{max}$ Rad. (N)	$f_{ax}$ Tang. (MPa)	$f_{ax}$ Rad. (MPa)	R Tang. (N/mm)	R Rad. (N/mm)			
5-2-16	Modřín	Teplotní zatížení -25 °C, 70 °C	Klasický vrut	696,45	692,84	679,1	4109,10	4525,05	35,12	38,68	136,97	150,84			
5-2-25				661,92	661,81	645,45	3761,25	3214,05	32,15	27,47	125,38	107,14			
5-3-9				703,56	704,22	691,66	3705,45	3924,65	31,67	33,54	123,52	130,82			
5-3-18				629,85	627,34	612,52	2658,35	3102,75	22,72	26,52	88,61	103,43			
6-1-3				567,88	566,72	545,62	2563,85	3056,35	21,91	26,12	85,46	101,88			
6-1-12				569,88	566,56	550,66	2447,40	3112,15	20,92	26,60	81,58	103,74			
6-1-21				603,70	614,83	575,73	2712,20	3891,90	23,18	33,26	90,41	129,73			
6-2-6				560,47	578,19	541,90	2477,30	3319,40	21,17	28,37	82,58	110,65			
6-2-15				567,02	563,46	551,66	2893,80	3609,20	24,73	30,85	96,46	120,31			
6-3-1				560,70	561,09	547,45	4513,95	3885,35	38,09	32,79	150,47	129,51			
6-3-10				544,66	542,33	530,39	2795,60	3289,80	23,59	27,76	93,19	109,66			
6-3-19				556,88	556,84	539,57	2960,40	3510,15	24,98	29,62	98,68	117,01			
11-1-5				617,91	617,03	603,15	2963,85	3574,50	25,01	30,16	98,80	119,15			
11-1-14				600,49	598,37	583,14	3353,00	3287,50	28,30	27,74	111,77	109,58			
11-1-23				596,88	599,00	584,07	3348,45	3225,75	28,26	27,22	111,62	107,53			
11-2-7				611,46	609,05	605,38	3225,75	2897,20	27,22	24,45	107,53	96,57			
11-2-16				604,16	602,35	587,32	2769,10	2933,65	23,37	24,76	92,30	97,79			
11-3-4				581,29	579,18	562,93	2181,25	2920,85	18,41	24,65	72,71	97,36			
11-3-13				580,08	585,19	566,60	2416,70	2703,35	20,39	22,81	80,56	90,11			
11-3-22				602,02	598,13	590,06	2628,50	3089,95	22,18	26,08	87,62	103,00			
5-2-8				Modřín	Referenční hodnota	Stavební vrut s frézovacím závitem	695,44	-	-	2743,15	3694,55	23,15	31,18	91,44	123,15
5-2-17							412,52	-	-	3700,8	3559,9	31,23	30,04	123,36	118,66
5-3-1	750,41	-	-				4977,85	5039,95	42,01	42,53	165,93	168,00			
5-3-10	700,48	-	-				4164,55	4129,55	35,14	34,85	138,82	137,65			
5-3-19	631,05	-	-				2767,35	3618,8	23,35	30,54	92,25	120,63			
6-1-4	577,81	-	-				2127,95	3126,05	17,96	26,38	70,93	104,20			
6-1-13	576,47	-	-				3529,45	3659,8	29,78	30,88	117,65	121,99			
6-1-22	608,95	-	-				3399,9	4003,4	28,69	33,78	113,33	133,45			
6-2-7	571,84	-	-				2887,5	3576,4	24,37	30,18	96,25	119,21			
6-2-16	564,90	-	-				3305,7	3747,5	27,90	31,62	110,19	124,92			
6-3-2	574,07	-	-				4041,85	4214,95	32,46	33,86	134,73	140,50			
6-3-11	554,60	-	-				3183	3423,25	25,57	27,50	106,10	114,11			
6-3-20	566,48	-	-				3284,35	3167,9	26,38	25,44	109,48	105,60			
11-1-6	617,56	-	-				3073,1	3517,75	24,68	28,26	102,44	117,26			
11-1-15	614,59	-	-				3226,8	3594,65	25,92	28,87	107,56	119,82			
11-1-24	598,20	-	-				2997,95	3343,55	24,08	26,86	99,93	111,45			
11-2-8	603,64	-	-				2989,7	3247,9	24,01	26,09	99,66	108,26			
11-2-17	597,65	-	-				2605,4	3016,15	20,93	24,23	86,85	100,54			
11-3-5	575,63	-	-				2558,95	3254,45	20,55	26,14	85,30	108,48			
11-3-14	578,00	-	-				2632,7	3084,75	21,15	24,78	87,76	102,83			

**Příloha. 9** Naměřené hodnoty pro klasické vruty a stavební vruty s frézovacím závitem

Číslo tělesa	Dřevina	Teplota (°C)	Typ vrutu	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	$F_{\max}$ Tang. (N)	$F_{\max}$ Rad. (N)	$f_{\max}$ Tang. (MPa)	$f_{\max}$ Rad. (MPa)	R Tang. (N/mm)	R Rad. (N/mm)
5-2-9	Modřín	Teplotní zatížení -15 °C, 70 °C	Stavební vrut s frézovacím závitem	698,70	703,46	677,14	3812,70	4362,70	30,62	35,04	127,09	145,42
5-2-18				686,81	688,15	667,19	4827,60	4042,70	38,78	32,47	160,92	134,76
5-3-2				754,96	754,70	733,26	2585,45	3159,95	20,77	25,38	86,18	105,33
5-3-11				713,43	713,28	690,74	4936,60	4653,35	39,65	37,38	164,55	155,11
5-3-20				621,48	620,15	600,44	2988,25	3087,90	24,00	24,80	99,61	102,93
6-1-5				571,49	572,45	546,91	2801,80	3725,05	22,50	29,92	93,39	124,17
6-1-14				568,47	569,49	551,55	4045,00	3853,70	32,49	30,95	134,83	128,46
6-1-23				576,58	575,74	558,99	4772,05	5517,90	38,33	44,32	159,07	183,93
6-2-8				573,05	571,19	551,68	3661,55	4048,50	29,41	32,52	122,05	134,95
6-2-17				558,91	559,06	538,98	3811,85	4091,70	30,62	32,87	127,06	136,39
6-3-3				564,37	561,96	543,00	3984,35	4300,65	34,05	36,76	132,81	143,36
6-3-12				557,33	554,40	539,49	3664,95	3815,55	31,32	32,61	122,17	127,19
6-3-21				556,72	555,91	538,54	3341,85	3735,55	28,56	31,93	111,40	124,52
11-1-7				618,17	616,83	600,00	3137,45	3775,10	26,82	32,27	104,58	125,84
11-1-16				618,67	619,28	598,32	3292,00	2850,75	28,14	24,37	109,73	95,03
11-1-25				588,35	592,68	575,17	3514,35	3199,50	30,04	27,35	117,15	106,65
11-2-9				619,56	616,99	600,38	3330,45	3275,80	28,47	28,00	111,02	109,19
11-2-18				590,91	591,69	569,34	2310,75	2005,00	19,75	17,14	77,03	66,83
11-3-6				578,57	577,89	560,61	2699,30	3503,80	23,07	29,95	89,98	116,79
11-3-15				583,88	585,74	564,46	3165,05	3851,70	27,05	32,92	105,50	128,39
5-2-10	Modřín	Teplotní zatížení -25 °C, 70 °C	Stavební vrut s frézovacím závitem	707,81	711,81	691,27	3852,35	4412,60	32,93	37,71	128,41	147,09
5-2-19				679,06	681,12	661,79	4235,80	4492,00	36,20	38,39	141,19	149,73
5-3-3				746,32	747,75	728,65	4943,80	5216,50	42,25	44,59	164,79	173,88
5-3-12				690,86	697,41	677,01	3715,70	4301,00	31,76	36,76	123,86	143,37
5-3-21				622,80	621,91	603,86	3012,80	3284,65	25,75	28,07	100,43	109,49
6-1-6				569,28	568,45	548,14	2637,30	3475,95	22,54	29,71	87,91	115,87
6-1-15				569,90	570,28	553,90	3528,35	3999,80	30,16	34,19	117,61	133,33
6-1-24				552,74	549,68	536,69	4673,90	4684,75	39,95	40,04	155,80	156,16
6-2-9				571,90	571,77	557,05	2838,00	3724,20	24,26	31,83	94,60	124,14
6-2-18				552,70	553,19	535,78	3846,35	3927,50	32,87	33,57	128,21	130,92
6-3-4				548,87	547,26	532,52	3757,80	4601,30	31,71	38,83	125,26	153,38
6-3-13				573,36	574,50	558,69	3354,40	3633,40	28,31	30,66	111,81	121,11
6-3-22				560,10	560,85	546,50	3653,90	3258,20	30,83	27,50	121,80	108,61
11-1-8				617,11	616,95	602,56	3310,00	3578,45	27,93	30,20	110,33	119,28
11-1-17				604,64	606,21	588,82	3480,80	2902,90	29,37	24,50	116,03	96,76
11-2-1				639,64	641,37	622,98	2816,95	3792,25	23,77	32,00	93,90	126,41
11-2-10				626,39	624,42	608,44	2941,65	3072,60	24,82	25,93	98,06	102,42
11-2-19				592,03	591,98	575,53	2861,05	3225,15	24,14	27,22	95,37	107,51
11-3-7				578,78	577,38	562,89	2851,40	2865,35	24,06	24,18	95,05	95,51
11-3-16				581,05	580,24	564,60	3354,15	3160,25	28,31	26,67	111,81	105,34



## Seznam příloh

- Příloha. 1** Naměřené hodnoty pro klasické vruty
- Příloha. 2** Naměřené hodnoty pro klasické vruty a stavební vruty
- Příloha. 3** Naměřené hodnoty pro stavební vruty
- Příloha. 4** Naměřené hodnoty pro stavební vruty
- Příloha. 5** Naměřené hodnoty pro stavební vruty a klasické vruty
- Příloha. 6** Naměřené hodnoty pro klasické vruty
- Příloha. 7** Naměřené hodnoty pro stavební vruty
- Příloha. 8** Naměřené hodnoty pro klasické vruty a stavební vruty s frézovacím závitem
- Příloha. 9** Naměřené hodnoty pro klasické vruty a stavební vruty s frézovacím závitem