

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# **ANALÝZA DESIGNU, INSERTCE A VYTRHÁVACÍCH SIL U VYBRANÝCH DRUHŮ ORTOPEDICKÝCH IMPLANTÁTŮ.**

**ON THE ANALYSIS OF THE DESIGN, INSERTION AND PULL-OUT FORCES FOR  
SELECTED ORTHOPAEDICS IMPLANTS.**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ZDEŇKA RYŠAVÁ**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**prof. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.**

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Zdeňka Ryšavá

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

**Analýza designu,inserce a vytrhávacích sil u vybraných druhů ortopedických implantátů.**

v anglickém jazyce:

**On the analysis of design, insertion and pull-out forces for selected orthopaedics implants.**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce se zabývá problematikou designu,inserce a vytrhávacích sil u vybraných druhů ortopedických implantátů.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor problému na základě literárních pramenů.

Analýza různých druhů inserčních technik.

Metody hodnocení pevnosti spojů implantát-kost.

Experimentální část.

Zpracování výsledků, diskuze.

Závěry.

Seznam odborné literatury:

PERRY CR, GILULA LA. Basic principles and clinical uses of screws and bolts.

Orthop Rev. 1992 Jun;21(6):709-13.

MICHAEL C. MCGLAMRY MELISSA F. ROBITAILLE. Analysis of screw pullout strength: A function of screw orientation in subtalar joint arthrodesis. The Journal of Foot and Ankle Surgery. Volume 43, Issue 5, September-October 2004, pp. 277-284.

RADOVAN ZDERO, SHAUN ROSE, EMIL H. Schemitsch Cortical Screw Pullout Strength and Effective Shear Stress in Synthetic Third Generation Composite Femurs J. Biomech. Eng. April 2007. Volume 129, Issue 2, 289

WILLIAM L. FOLEY, DAVID E. FROST, WILLIAM B. PAULIN JR AND MYRON R. TUCKER. Uniaxial pullout evaluation of internal screw fixation. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. Volume 47, Issue 3, March 1989, Pages 277-280

HELLER JG, ESTES BT, ZAOUALI M, DIOP A. Biomechanical study of screws in the lateral masses: variables affecting pull-out resistance. J Bone Joint Surg Am. 1996 Sep;78(9):1315-21.

BATTULA S, SCHOENFELD A, VRABEC G, NJUS GO. Experimental evaluation of the holding power/stiffness of the self-tapping bone screws in normal and osteoporotic bone material. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2006 Jun;21(5):533-7. E-pub 2006 Feb 28.

VARNER MIROSLAV, KANICKÝ VIKTOR. Hodnocení pevnosti a životnosti šroubů dle normy ASME. Dostupné na:

<[www.davar.cz/corfat/pdf/Strength\\_and\\_fatigue\\_evaluation.pdf](http://www.davar.cz/corfat/pdf/Strength_and_fatigue_evaluation.pdf)>

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 9.11.2009

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce bylo na základě literární rešerše a zpracování naměřených dat, prokázat vazbu mezi inserční a vytrhávací prací chirurgických implantátů. Práce se zabývá korelací mezi geometrií šroubu, inserčním momentem pro jeho zavádění a vytrhávací silou. Z výsledků vyplývá, že hledaná korelace existuje.

**Klíčová slova**

kostní šroub, vytrhávací síla, řezný moment, inserční práce, vytrhávací práce, korelace

**ABSTRACT**

Target of this bachelor work is, on the basis of search and analysis of information, to prove a relation between insertion and pull-out work of surgical implants. The work deals with selected screw designs, insertion moment and and correlation between the pull-out work and insertion work. In conclusions we can say that the correlation exists.

**Key words**

bone screw, pull-out force, insertion torque, insertion work, pull-out work, correlation

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

RYŠAVÁ, Z. *Název: Analýza designu, inserce a vytrhávacích sil u vybraných druhů ortopedických implantátů.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 51s, příloh 33. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma : *Analýza designu, inserce a vytrhávacích sil u vybraných druhů ortopedických implantátů*. vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....  
Zdeňka Ryšavá

**Poděkování**

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Abstrakt                                                | 4  |
| Prohlášení                                              | 5  |
| Poděkování                                              | 6  |
| Obsah                                                   | 7  |
| Seznam použitých zkratk a symbolů                       | 8  |
| Seznam tabulek a obrázků                                | 9  |
| Slovník odborných termínů                               | 11 |
| Úvod                                                    | 13 |
| 1 TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY KOSTNÍCH<br>IMPLANTÁTŮ | 14 |
| 1.1 Zpracování literární studie                         | 14 |
| 1.1.1 Stavba kosti z materiálního hlediska              | 14 |
| 1.1.2 Šroubová spojení                                  | 16 |
| 1.1.3 Vrtání                                            | 24 |
| 1.1.4 Pevnost spojení kost - šroub                      | 29 |
| 2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST                                   | 36 |
| 2.1 Popis experimentu                                   | 36 |
| 2.2 Parametry experimentu, průběh měření                | 37 |
| 2.3 Samotná měření                                      | 38 |
| 2.4 Zpracování dat                                      | 42 |
| Závěr                                                   | 48 |
| Seznam použitých zdrojů                                 | 49 |
| Seznam příloh                                           | 51 |

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

| Zkratka/symbol | Jednotka             | Popis                                    |
|----------------|----------------------|------------------------------------------|
| $\alpha$       | [-]                  | hladina významnosti                      |
| $K_r$          | [°]                  | nástrojový úhel nastavení hlavního ostří |
| $\omega$       | [rad/s]              | úhlová rychlost                          |
| $A_D$          | [mm <sup>2</sup> ]   | jmenovitý průřez třísky                  |
| $a_f$          | [mm]                 | šířka záběru ostří                       |
| $a_p$          | [mm]                 | šířka záběru ostří ve směru posuvu       |
| $b$            | [mm]                 | jmenovitá šířka třísky                   |
| $C_{Fc}$       | [N/mm <sup>2</sup> ] | řezná konstanta                          |
| $C_{Ff}$       | [N/mm <sup>2</sup> ] | řezná konstanta                          |
| $D$            | [mm]                 | průměr vrtáku                            |
| $dE_C$         | [J]                  | práce řezného procesu                    |
| $dE_{Fp}$      | [J]                  | práce posuvu                             |
| $dE_{Mc}$      | [J]                  | práce řezného momentu                    |
| $f$            | [mm]                 | posuv                                    |
| $f(x_0)$       | [-]                  | funkční hodnota v bodě $x_0$             |
| $F_C$          | [N]                  | řezná síla                               |
| $F_p$          | [N]                  | posuvová síla                            |
| $F_{Tr}$       | [N]                  | vytrhávací síla                          |
| $x_h$          | [mm]                 | jmenovitá tloušťka třísky                |
| $k_C$          | [N/mm <sup>2</sup> ] | měrný řezný odpor                        |
| $l$            | [-]                  | délka intervalu                          |
| $M_C$          | [Nm]                 | řezný moment                             |
| $n$            | [-]                  | počet měření                             |
| $N$            | [ot/min]             | otáčky                                   |
| $P$            | [W]                  | výkon                                    |
| $P_C$          | [W]                  | řezný výkon                              |
| $P_{Mc}$       | [W]                  | výkon řezného momentu                    |
| $Q$            | [-]                  | hodnota integrálu                        |
| $r$            | [-]                  | koeficient korelace                      |
| $S$            | [mm]                 | tloušťka stěny kosti (PP)                |
| $T$            | [-]                  | statistika                               |

|           |         |                             |
|-----------|---------|-----------------------------|
| $V_c$     | [m/min] | řezná rychlost              |
| $V_f$     | [m/min] | posuvová rychlost           |
| $\bar{x}$ | [-]     | průměrná hodnota veličiny x |
| $x_{Fc}$  | [-]     | řezný exponent              |
| $x_{Ff}$  | [-]     | řezný exponent              |
| $x_i$     | [-]     | i-tá hodnota veličiny x     |
| $\bar{y}$ | [-]     | průměrná hodnota veličiny y |
| $y_{Fc}$  | [-]     | řezný exponent              |
| $y_{Ff}$  | [-]     | řezný exponent              |
| $y_i$     | [-]     | i-tá hodnota veličiny y     |

## SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

|           |                                                                                                                |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab 1.1   | Mechanické vlastnosti kosti                                                                                    | 15 |
| Tab 1.2   | Chemické složení implantátové oceli                                                                            | 17 |
| Tab 1.3   | Inkluze v oceli                                                                                                | 18 |
| Tab 1.4   | Různé typy šroubů a jejich charakteristické vytrhávací síly                                                    | 30 |
| Tab 1.5   | Porovnání inserční a vytrhávací síly                                                                           | 32 |
| Tab 1.6   | Závislost pevnosti spojení na pozici šroubu v kosti                                                            | 33 |
| Tab 1.7   | Porovnání implantátové oceli a slitiny Ti ve funkci typu kosti                                                 | 34 |
| Tab. 2.1  | Skupiny šroubů použité při měření                                                                              | 37 |
| Tab. 2.2  | Parametry vrtání a vytrhávání                                                                                  | 37 |
| Tab. 2.3  | Maximální vytrhávacích hodnoty sil pro šrouby s odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost            | 38 |
| Tab. 2.4  | Maximální hodnoty vytrhávacích sil pro šrouby s odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost (upraveno) | 40 |
| Tab. 2.5  | Maximální hodnoty momentů pro šrouby s odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost                     | 40 |
| Tab. 2.6  | Maximální hodnoty posuvových sil pro šrouby s odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost              | 41 |
| Tab. 2.7  | Výsledná řezná a vytrhávací práce - kost                                                                       | 43 |
| Tab. 2.8  | Výsledná řezná a vytrhávací práce - PP                                                                         | 44 |
| Tab. 2.9  | Korelace měřených hodnot                                                                                       | 45 |
| Tab. 2.10 | Průměrné řezné a vytrhávací práce ve funkci                                                                    | 48 |

|           |                                                                           |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|----|
|           | testované skupiny šroubů - kost                                           |    |
| Tab. 2.11 | Průměrné řezné a vytrhávací práce ve funkci testované skupiny šroubů - PP | 48 |
| Obr 1.1   | Stavba kosti                                                              | 14 |
| Obr 1.2   | Závislost Youngova modulu na hustotě kosti                                | 15 |
| Obr 1.3   | Charakteristické rozměry závitu                                           | 16 |
| Obr 1.4   | Rozměry šroubu                                                            | 17 |
| Obr 1.5   | Kostní šrouby – kortikální a maleolární                                   | 18 |
| Obr 1.6   | Kostní šrouby – spongiozní                                                | 19 |
| Obr 1.7   | Kanalizované šrouby                                                       | 20 |
| Obr 1.8   | Porovnání kortikálního samořezného a nesamořezného šroubu                 | 20 |
| Obr 1.9   | DHS šroub                                                                 | 21 |
| Obr 1.10  | DHS spirálový šroub                                                       | 21 |
| Obr 1.11  | DHS pohotovostní šroub                                                    | 21 |
| Obr 1.12  | DHS kompresní šroub                                                       | 22 |
| Obr 1.13  | DHS aretační šroub                                                        | 22 |
| Obr 1.14  | Fixace pomocí hřebu                                                       | 23 |
| Obr 1.15  | Zaslepovací hlavy                                                         | 23 |
| Obr 1.16  | Standardní zajišťovací šrouby                                             | 24 |
| Obr 1.17  | Kinematika vrtacího procesu                                               | 24 |
| Obr 1.18  | Šroubovitý vrták                                                          | 25 |
| Obr 1.19  | Šířka záběru ostří                                                        | 25 |
| Obr 1.20  | Řezné síly                                                                | 26 |
| Obr 1.21  | Kostní vrták                                                              | 27 |
| Obr 1.22  | Kostní vrták kanalizovaný                                                 | 27 |
| Obr 1.23  | Závitník kortikální                                                       | 27 |
| Obr 1.24  | Závitník spongiozní                                                       | 28 |
| Obr 1.25  | Závitník kanalizovaný                                                     | 28 |
| Obr 1.26  | Graf závislosti vytrhávací síly ve funkci cementace PMMA                  | 29 |
| Obr 1.27  | Geometrie šroubu                                                          | 29 |
| Obr 1.28  | Hloubka inserce                                                           | 31 |
| Obr 1.29  | Závislost vložené inserční síly a vynaložené vytrhávací síly              | 31 |
| Obr 1.30  | Rozdílné pozice šroubu v kosti                                            | 33 |

|          |                                                                                                          |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr 1.31 | Graf tahové zkoušky pro různé hustoty kosti                                                              | 34 |
| Obr 1.32 | Inkluze v implantátové oceli                                                                             | 35 |
| Obr 1.33 | Vady implantátové oceli                                                                                  | 35 |
| Obr 1.34 | Závislost maximálního napětí na počtu cyklů                                                              | 36 |
| Obr 2.1  | Graf závislosti vytrhvací síly na čase pro odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost           | 38 |
| Obr. 2.2 | Graf závislosti vytrhvací síly na čase pro odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost (upraven) | 39 |
| Obr. 2.3 | Graf závislosti řezného momentu na čase pro odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost          | 40 |
| Obr. 2.4 | Graf závislosti posuvové síly na čase pro odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost            | 41 |
| Obr. 2.5 | Graf korelace řezného momentu a vytrhvací síly - kost                                                    | 46 |
| Obr. 2.6 | Graf korelace práce řezné a vytrhvací síly - kost                                                        | 46 |
| Obr. 2.7 | Graf korelace řezného momentu a vytrhvací síly - PP                                                      | 47 |
| Obr. 2.8 | Graf korelace práce řezné a vytrhvací síly - PP                                                          | 47 |

## SLOVNÍK ODBORNÝCH TERMÍNŮ

|                    |                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| cavitas medullaris | dřeňová dutina kosti                                 |
| diafýza            | rovnoměrná, střední část dlouhých kostí              |
| epifýza            | hlavice dlouhých kostí                               |
| epifyzeolýza       | porušení růstové ploténky                            |
| fisura             | trhlina na dlouhých a lebečních kostech              |
| Haversův kanálek   | prvek kompaktní kosti zajišťující rozvod nervů a cév |
| hematopoézy        | krvetočba                                            |
| infrakce           | částečné nalomení                                    |
| medulla ossea      | kostní dřeň                                          |
| ossa breva         | krátké kosti                                         |
| ossa longa         | dlouhé kosti                                         |
| ossa plana         | ploché kosti                                         |

|                      |                                                      |
|----------------------|------------------------------------------------------|
| osteocyt             | kostní buňka                                         |
| osteon               | základní stavební prvek kosti                        |
| periost              | okostice                                             |
| revaskulace          | obnovení cévní struktury                             |
| substantia compacta  | kompaktní kostní tkáň                                |
| substantia spongiosa | houbovitá kostní tkáň                                |
| Volkmannův kanálek   | prvek kompaktní kosti, zajišťující provázanost tkáně |

## ÚVOD

Lékařství patří k základním oborům lidské činnosti, který nás provází po celý život. Každý z nás využije lékařské poznatky a lékařskou praxi nespočetně během života. Nehody či úrazy jsou bohužel častým aspektem a leckdy jsou doprovázeny zlomeninami.

Existuje velké množství typů zlomenin (infrakce, fisura, epifyzeolýza, atd.), [1] záleží smozřejmě i na typu kosti, ale základní problém zůstává stejný, jak zajistit obnovu, srůst kosti při zachování maximální pohyblivosti a minimálních následků po úrazu.

Touto otázkou se lidé zabývali už od počátků civilizace. Pro zhojení zlomeniny je třeba zajistit správnou fixaci. Jelikož existuje více typů zlomenin, či porušení kosti, tak nacházíme i více možností fixace kosti.

Cílem této práce je studovat jeden ze způsobů upevnění kostí a to šroubové spojení, přesněji vztah mezi vynaloženou silou při zavrtávání kostních šroubů a silou nezbytnou pro následné vytržení šroubu.

## 1 TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY KOSTNÍCH IMPLANTÁTŮ

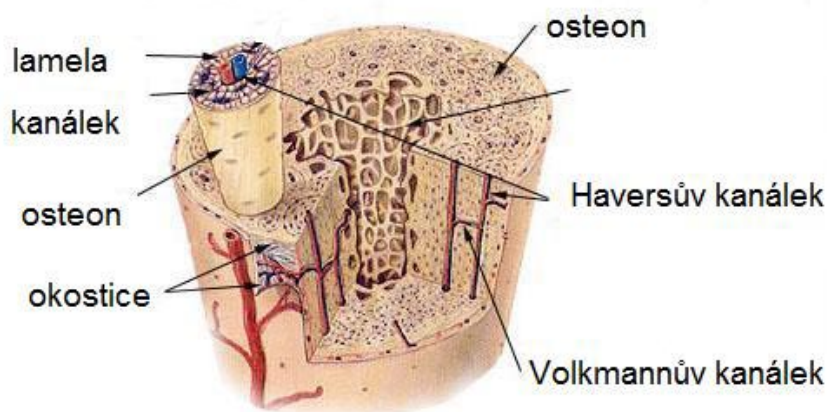
### 1.1. Zpracování literární studie

#### 1.1.1 Stavba kosti z materiálního hlediska

Kost jakožto materiál je značně heterogenního charakteru. Definice kosti mluví o tvrdé, mineralizované struktuře sloužící jako opora těla, ochraně vnitřních orgánů, zásobárně minerálů a orgánu hematopoézy [2]. Kosti dělíme podle tvaru na čtyři typy:

- dlouhé (ossa longa),
- krátké (ossa breva),
- ploché (ossa plana),
- nepravidelné.

U dlouhých kostí jednoznačně převládá délka nad ostatními rozměry, střed kosti nazýváme diafýza, koncovou část pak epifýza. Pro krátké kosti jsou všechny rozměry ve zhruba stejném poměru, „krychlovitá“ kost. Ploché kosti jsou oploštělé někdy, často bývají i lehce zakroucené [3].



Obr. 1.1 Stavba kosti [4]

#### ➤ Stavba kosti

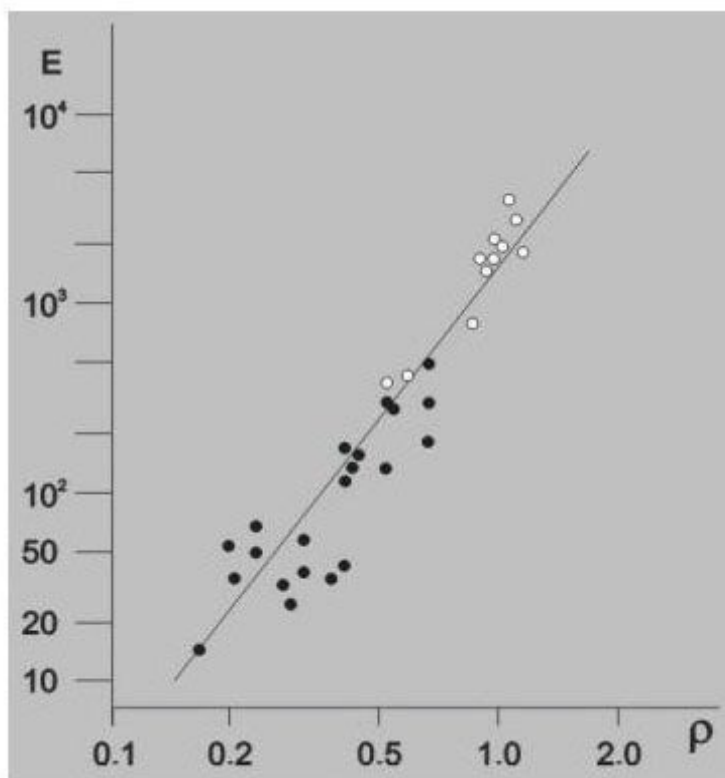
Na povrchu každé kosti je okostice (periost) což je pevná, tuhá vazivová blána, proměnné tloušťky, zajišťující povrchovou ochranu kosti. Je rozprostřena po celé délce kosti výjma míst kde je kost pokryta kloubní chrupavkou či kde dochází k upínání šlach a vazů. Jedná se o dvouvrstvou strukturu, kterou probíhají cévy a nervy [3].

Pod okosticí se nachází tenká kompaktní vrstva kosti (substantia compacta), je to jediná kompaktní část kosti a tvoří asi 70 procent skeletu člověka. Její hlavní funkcí je odolávání tlaku a tahu. Pro její strukturu je typická přítomnost osteonů. Jedná se o válcové prvky, jejichž stěna je tvořena 6-15 trubicovými lamelami. Válcová plocha je orientována rovnoběžně s povrchem

kosti a jejím středem prochází tzv. Haversův kanálek, který zajišťuje rozvod cév a nervů kostní tkáně. Pro lepší propojení a kvalitnější výživu buněk jsou tyto pak propojeny tzv. Volkmannovými kanálky [3].

Pod kompaktní vrstvou nacházíme houbovitou tkáň (substancia spongiosa), která zajišťuje přenos tahu a tlaku na kompaktní část kosti. Je tvořena trámčitou strukturou (šířka jednotlivých trámčů cca 200-300 $\mu$ m), schopnou se orientovat ve směru působícího zatížení [3].

Poslední část pak tvoří kostní dřev (medulla ossea) vyplňující dřevnou dutinu (cavitas medullaris). Tu pak dále dělíme na červenou, žlutou a šedou [3].



Obr. 1.2 Závislost Youngova modulu na hustotě kosti [5]

Tab. 1.1 Mechanické vlastnosti kosti [5]

| Věk [roky]                |         |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                           | 10 - 20 | 20 - 30 | 30 - 40 | 40 - 50 | 50 - 60 | 60 - 70 | 70 - 80 |
| <b>Mez pevnosti [MPa]</b> |         |         |         |         |         |         |         |
| Tah                       | 114     | 123     | 120     | 112     | 93      | 86      | 86      |
| Tlak                      | -       | 167     | 167     | 161     | 155     | 145     | -       |
| Ohyb                      | 151     | 173     | 173     | 162     | 154     | 139     | 139     |
| Krut                      | -       | 57      | 57      | 52      | 52      | 49      | 49      |
| <b>Deformace [%]</b>      |         |         |         |         |         |         |         |
| Tah                       | 1,5     | 1,4     | 1,4     | 1,3     | 1,3     | 1,3     | 1,3     |
| Tlak                      | -       | 1,9     | 1,8     | 1,8     | 1,8     | 1,8     | -       |
| Krut                      | -       | 2,8     | 2,8     | 2,5     | 2,5     | 2,7     | 2,7     |

Z obrázku 1.2 a tabulky 1.1 je zřejmé, že mechanické vlastnosti kosti jsou proměnné. Závisí především na hustotě kosti, hodnota se během života jedince mění, maxima dosahuje kolem dvacátého roku a ke stáří pak klesá, není proto překvapením i pokles mechanických vlastností kostí.

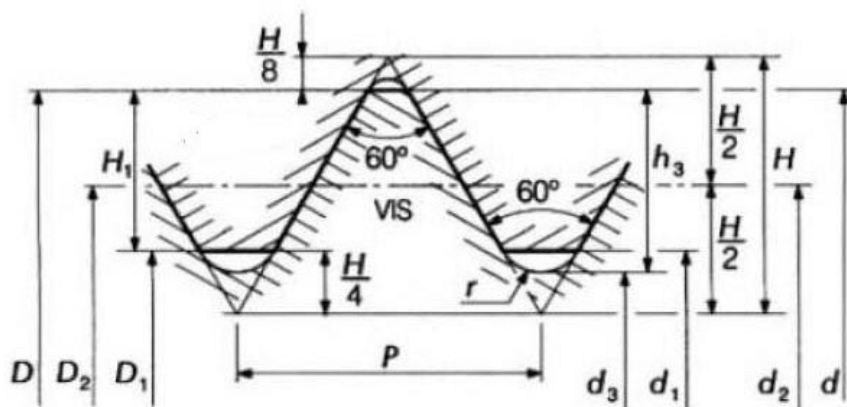
### 1.1.2 Šroubová spojení

Patří k základnímu druhům rozebíratelných spojení. Používají se k přenosu sil působících v ose šroubu a kolmo na ni [6].

#### ➤ Šroub

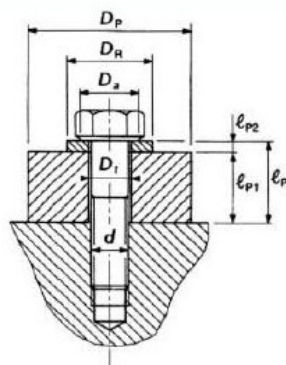
Realizace šroubového spojení je zabezpečena pomocí šroubů. Šroub jako takový je jeden z nejzákladnějších konstrukčních prvků, hojně využívaný v mnohých doménách lidské činnosti. Zajišťuje pevné spojení dvou či více prvků ať už v klasických konstrukčních aplikacích tak stejně dobře je využitelný i v oblasti medicíny při fixaci kostních tkání.

Výhodou šroubových spojení je využití nakloněné roviny (závit lze definovat jako zatočenou nakloněnou rovinu) a tudíž síla nezbytá pro otažení šroubu je menší než síla posouvající šroub. Dalším nesporným kladem je normalizace šroubů z čehož vyplývá jejich snadna vyměnitelnost, zaměnitelnost [7].



Obr. 1.3 Charakteristické rozměry závitů [8]

Šroub je charakterizován typem závitů (metrický, Whitworthův, lichoběžníkový, oblý...), tvarem hlavy (šestihranná, čtyřhranná, válcová...), dále pak celkovou délkou, délkou závitů, jmenovitý průměrem, roztečí.



Obr. 1.4 Rozměry šroubu [8]

### ➤ Šrouby v medicíně

#### • Šrouby kostní

Jak název napovídá používají se ke spojení kostí, nejčastěji v případě zlomenin (lýtkové, patní, distální pažní, loketní, vřetenní, distální holenní kosti, čéšky, kruhové zlomeniny pánve, atd.) či popřípadě jiných degradací chrupavky či kosti (artrodéza) a samozřejmě i při fixaci dalších implantátů (fixace dlah a hřebů, fixace vazů) [9].

Pro výrobu šroubů se využívá dvou normalizovaných materiálů. Jednak implantátová ocel ISO 58321E a pak slitina titanu TiAl64V ELI ISO 5832-3 [10].

Tab. 1.2 Chemické složení implantátové oceli [10]

| Prvek    | Hmotnostní zlomek [%] |
|----------|-----------------------|
| uhlík    | 0,03 max              |
| křemík   | 1,00 max              |
| hořčík   | 2,00 max              |
| fosfor   | 0,025 max             |
| síra     | 0,01 max              |
| dusík    | 0,10 max              |
| chrom    | 17 - 19 max           |
| molybden | 2,25 - 3,00           |
| nikl     | 13 - 15               |
| měď      | 0,50 max              |
| železo   | Zbytek                |

Tab. 1.3 Inkluze v oceli [10]

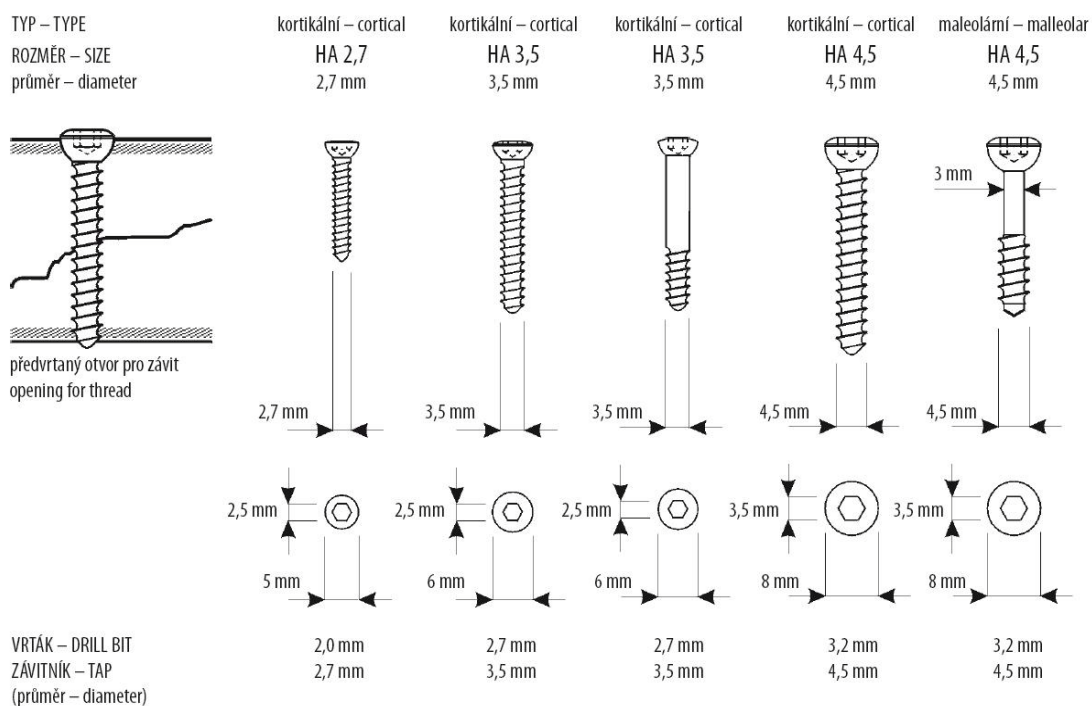
| Druh inkluze    | Index obsaženého množství |             |
|-----------------|---------------------------|-------------|
|                 | Jemná série               | Běžná série |
| A - sulfidy     | 1,5                       | 1           |
| B - hlinitany   | 1,5                       | 1           |
| C - křemičitany | 1,5                       | 1           |
| D - oxydy       | 1,5                       | 1           |

Z tabulek 1.2 a 1.3 lze vyčíst charakteristiky implantátové oceli, velikost austenitických zrn nesmí přesáhnout hodnotu 5 a procentualita obsažených vad materiálu nabývá rozdílných maxim pro dvě výrobní řady oceli.

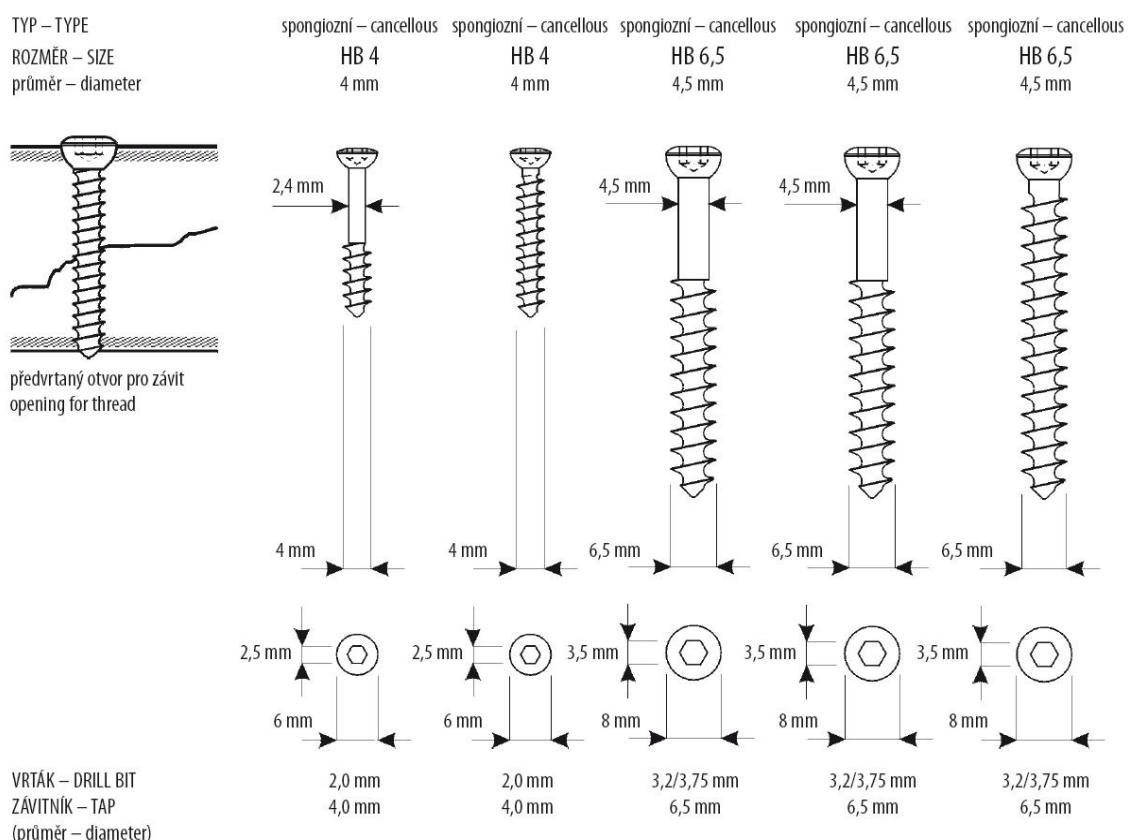
### • Jednotlivé typy šroubů

#### Šrouby kostní [9]

- kulová hlava s vnitřním šestihranem
- vyrábí se ve dvou provedeních, se samořezným závitem či bez samořezné části
- použití v ortopedii a traumatologii
  - *kortikální*
  - *spongiozní*
  - *maleolární* – závit na polovině šroubu, při zlomeninách patní kosti, vnitřního kotníku, hlavice holenní kosti



Obr. 1.5 Kostní šrouby – kortikální a maleolární [9]



Obr. 1.6 Kostní šrouby – spongiozní [9]

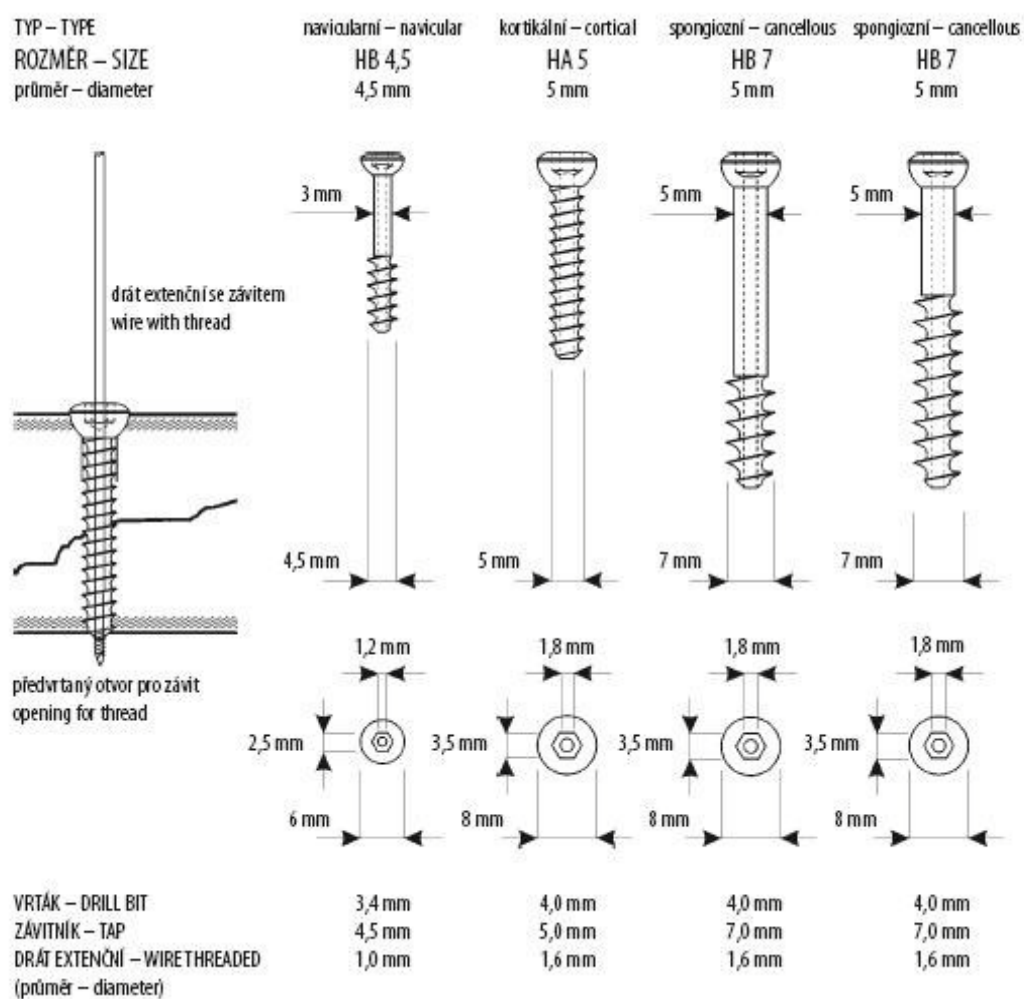
Šrouby kostní kanalizované [9]

- kulová hlava s vnitřním šestihranem
- průřez šroubu je prstencovitého tvaru, tudíž osou šroubu lze vést extenční draty, které slouží k navedení nástroje posléze šroubu do předvrtané díry

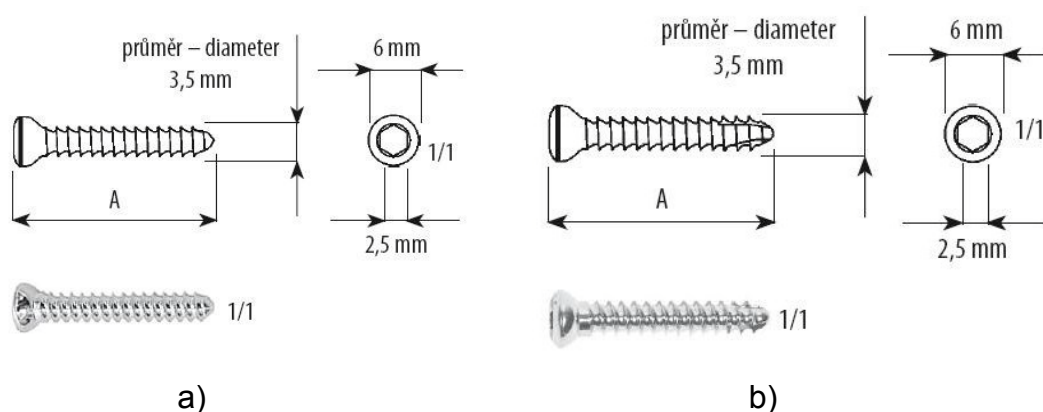
-naviculární

-kortikální

-spongiozní



Obr. 1.7 Kanalizované šrouby [9]

Obr. 1.8 Porovnání kortikálního samořezného a nesamořezného šroubu  
( a) nesamořezný, b) samořezný) [9]

DHS – šrouby (dynamic hip system) [11]

Jedná se o dynamický kyčelní systém, který umožňuje volbu léčebných postupů v závislosti na pacientovi a místě zlomeniny.

*- DHS šroub*

- léčba zlomenin proximálního femuru
- korozivzdorná ocel / TiAl6Nb7 (TAN)
- délka 50 – 145 mm, vnější průměr 12,5 mm



a)



b)

Obr. 1.9 DHS šroub [11]

*- DHS spirálový šroub*

- užití při léčbě osteoporózy
- oproti běžnému DHS šroubu se snižuje riziko jeho uvolnění
- korozivzdorná ocel / TAN
- délka 65 – 145 mm, vnější průměr 12,5 mm



a)



b)

Obr. 1.10 DHS spirálový šroub [11]

*- DHS pohotovostní šroub*

- pro revizní operace mladých pacientů
- korozivzdorná ocel
- délka 50 – 145 mm, vnější průměr 14 mm



Obr. 1.11 DHS pohotovostní šroub [11]

- *DHS kompresní šroub*

- v kombinaci s dlahami slouží ke kompresi úlomků kosti
- korozi-vzdorná ocel / TAN
- vnitřní šestihran, délka 36 mm



Obr. 1.12 DHS kompresní šroub [11]

- *DHS aretační šroub*

- používá se k zajištění spirálového šroubu
- korozi-vzdorná ocel / TAN
- délka 35 mm



Obr. 1.13 DHS aretační šroub [11]

AO/ASIF fixace hřebů za pomoci kostních šroubů

Hřeb nahrazuje funkci vnitřní dlahy, snaží se minimalizovat mikroposuvy kosti, ale nemůže jim zcela zabránit. Díky správné volbě počtu a velikosti šroubů lze optimalizovat fixaci celého spojení. Co se týče metody inserce při předvrtání dochází k menšímu poškození okolní tkáně, na druhou stranu při předvrtání dojde k porušení cév, což vede k nucené revaskulaci, která pak následně pomáhá hojení kosti [12].



Obr. 1.14 Fixace pomocí hřebu [12]

Možnost zablokování jednoho ze šroubů zaslepovací hlavou (zlepšení úhlové stability, zábrana zarůstání tkání, tudíž snadnější vyjmutí hřebu) [12].



Obr. 1.15 Zaslepovací hlavy [12]

Hřeby se vyrábí ze slitiny Ti ve dvou provedeních: kanylované od průměru 8 mm do 13 mm, které lze za pomoci vodícího trnu zavést do předvrtaného otvoru či z plného materiálu (8-10mm) [12].

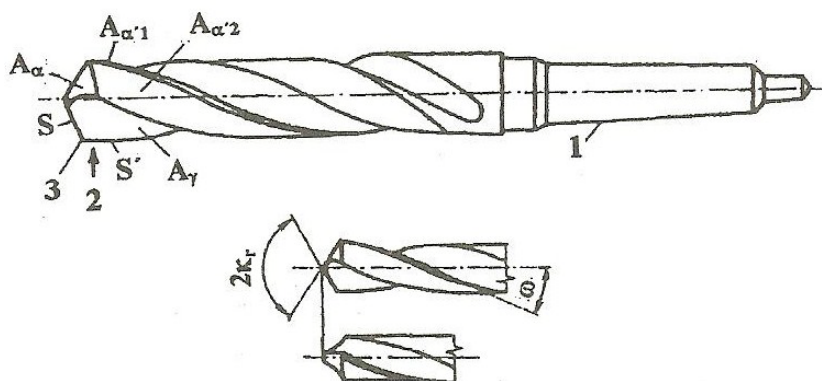
Zajišťovací šrouby jsou vyráběny s jemnou roztečí a závitová část dosahuje až těsně k hlavě šroubu což vede k většímu kontaktu kostí se šroubem a tudíž i k lepší fixaci. Slitina Ti dodává potřebnou únavovou odolnost a mechanické vlastnosti. Dalším zlepšením je samosvorné zahloubení v hlavě, které napomáhá při extrakci. Pro hřeby s průměrem 8 a 9 mm používáme šrouby o průměru 4 mm; 5 mm se pak využívá pro hřeby o průměru větším než 10 mm a menším než 13 mm [12].



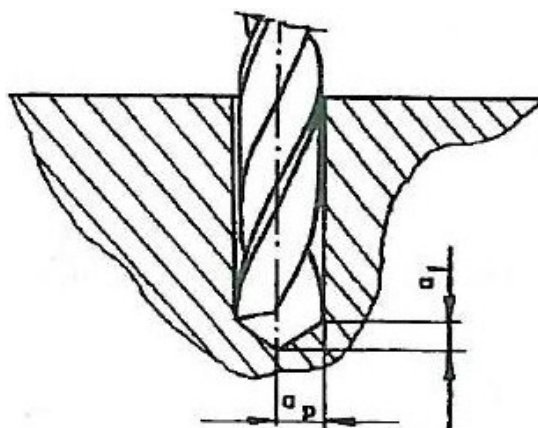
Řezný výkon  $P_c$  [kW] lze stanovit na základě znalosti řezné síly  $F_c$  [N] a řezné rychlosti  $v_c$  [m/min]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 2 \cdot 10^3} \quad (1.2) [13]$$

Nástroje dále dělíme podle typu vrtaných děr (výroba krátkých a dlouhých děr). Vrtáky k výrobě krátkých děr pak dále ještě dělíme na kopinaté, frézovací a šroubovitě vrtáky, kde poslední jmenovaný je nejpoužívanějším nástrojem. U kopinatých vrtáků jsou parametry drsnosti povrchu horší než pro šroubovitě, ale na druhou stranu jsou velmi tuhé a umožňují vrtat díry do poměru  $L:D = 3:1$  bez navrtání. Dále pak frézovací vrtáky umožňují oproti šroubovitým 5 až 10krát vyšší úběr materiálu [13].



Obr. 1.18 Šroubovitý vrták, kde 1 – stopka, 2- řezná část, S – ostří, S' – vedlejší ostří [13]

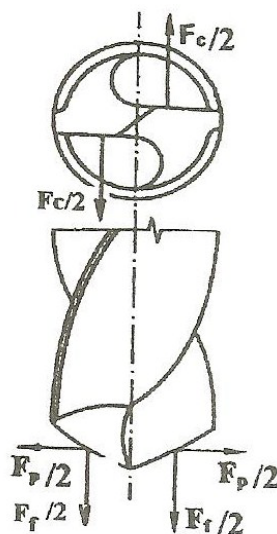


Obr. 1.19 Šířka záběru ostří [13]

Pro daný průměr vrtáku a posuv lze snadno dopočíst šířku záběru vrtáku  $a_p$  [mm] a šířku záběru ve směru posuvu  $a_f$  [mm]:

$$a_p = \frac{D}{2} \quad (1.3) [13]$$

$$a_f = \frac{f}{2} \quad (1.4) [13]$$



Obr. 1.20 Řezné síly [13]

Řezné a posuvové síly určujeme na základě empirických vztahů.

$$F_C = C_{F_C} \cdot D^{X_{F_C}} \cdot f^{Y_{F_C}} \quad (1.5) [13]$$

$$F_f = C_{F_f} \cdot D^{X_{F_f}} \cdot f^{Y_{F_f}} \quad (1.6) [13]$$

Řeznou sílu, známe-li měrný řezný odpor  $k_c$  [N/mm<sup>2</sup>], lze určit za pomoci průřezu třísky  $A_D$  [mm<sup>2</sup>]:

$$F_C = k_c \cdot A_D \quad (1.7) [13]$$

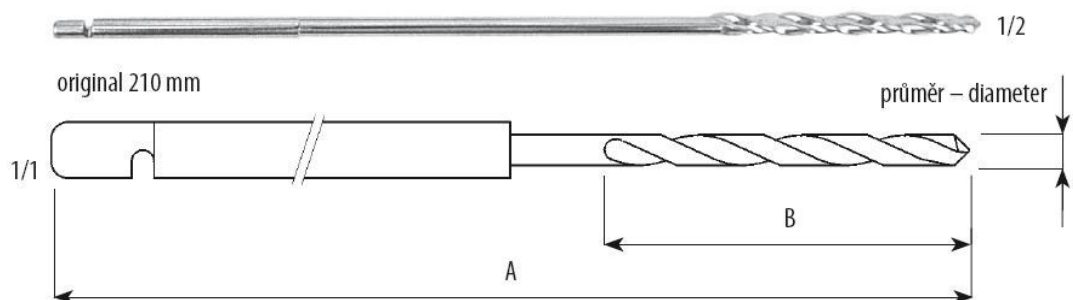
$$A_D = h \cdot b = \frac{D \cdot f}{4} \quad (1.8) [13]$$

kde  $h$  je jmenovitá tloušťka třísky [mm] a  $b$  je jmenovitá šířka třísky [mm]

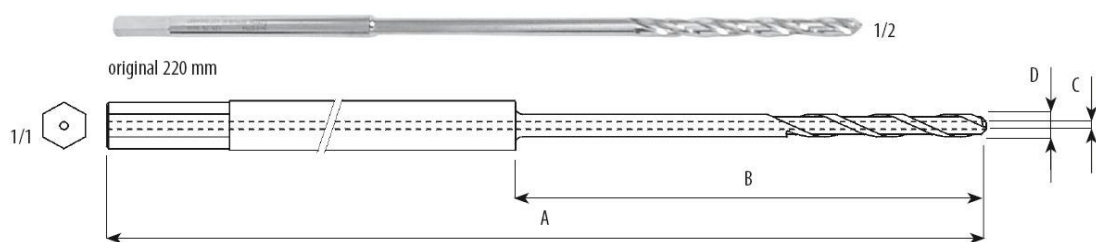
$$h = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \quad (1.9) [13]$$

$$b = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad (1.10) [13]$$

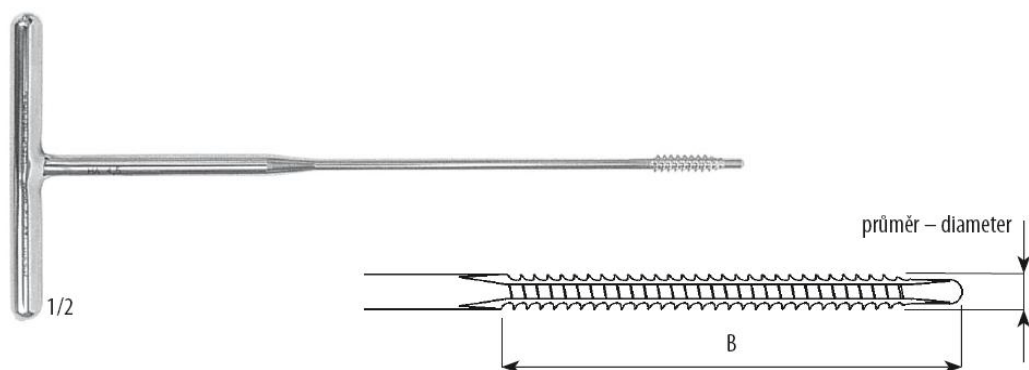
Vrtáky a závitníky používané v chirurgické praxi jsou založeny a navrženy na stejných základech a principech jako běžné nástroje ve strojírenství, navíc jsou upraveny pro konkrétní použití, můžeme tedy nalézt závitník kortikální, spongiozní atd.



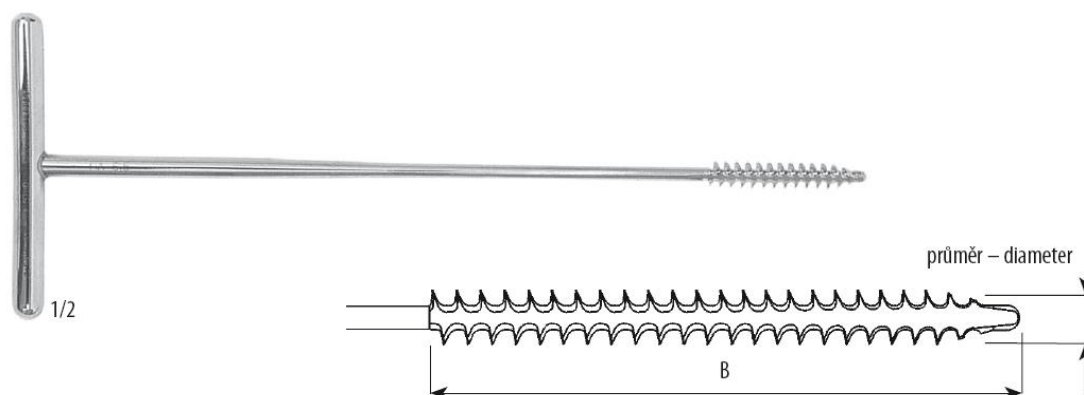
Obr. 1.21 Kostní vrták [9]



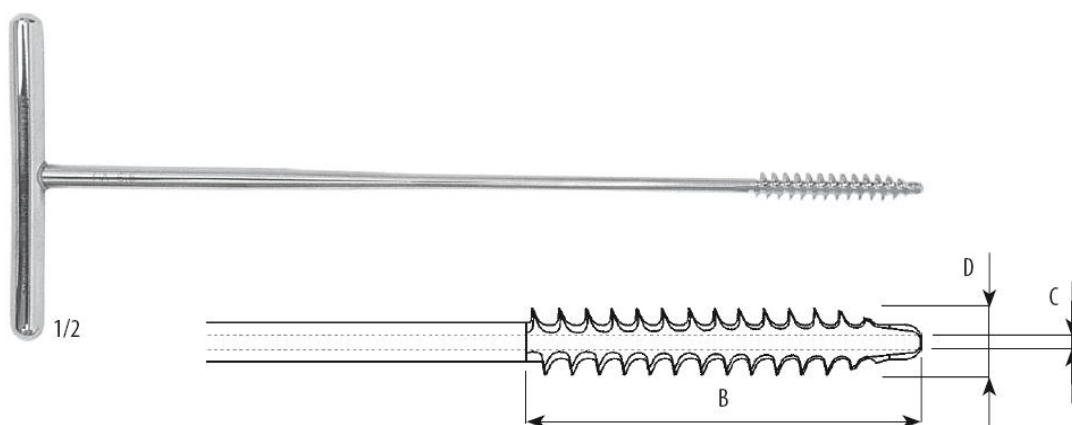
Obr. 1.22 Kostní vrták kanalizovaný [9]



Obr. 1.23 Závitník kortikální [9]



Obr. 1.24 Závitník spongiozní [9]



Obr. 1.25 Závitník kanalizovaný [9]

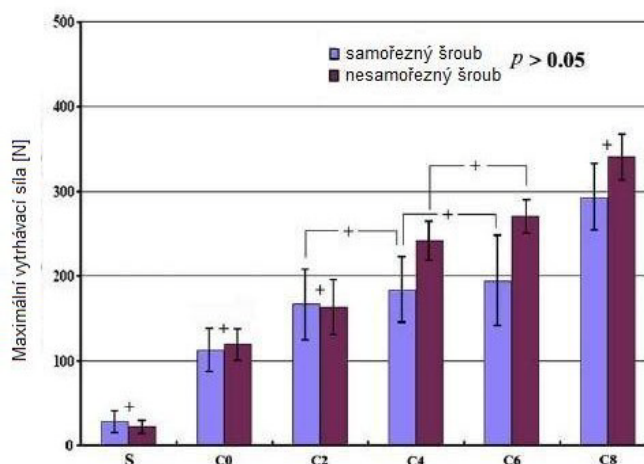
### 1.1.4 Pevnost spojení kost –šroub

Pevnost spojení můžeme experimentálně ověřit, budeme-li se zabývat vytrhávací silou, neboť jak název říká, vytrhávací síla je síla potřebná k vytržení šroubu z kosti, tudíž jde o sílu, kterou musíme vynaložit, abychom rozrušili spojení šroub - kost a tím překonali danou pevnost spojení. Lze tedy vyvodit, že s rostoucí vytrhávací silou roste i pevnost spojení.

Faktorů ovlivňujících pevnost spojení je celá řada, mezi nejvýznamnější patří: geometrie šroubu, hloubka inserce šroubu, síla vynaložená při inserci, umístění v kosti, hustota kosti, materiál šroubu.

#### ➤ Geometrie šroubu

Mluvíme-li o geometrii šroubu, budeme se zabývat jeho hlavními charakteristikami jako je jmenovitý průměr, celková délka, délka závitové části, jedná-li se o samořezný či nesamořezný šroub atd.



Obr. 1.26 Graf závislosti vytrhávací síly ve funkci cementace PMMA [13]

Z grafu 1.26 vyplývá vliv samořezné části šroubu. S rostoucím množstvím PMMA (skupiny S až C8) je patrný výraznější rozdíl mezi samořezným a nesamořezným šroubem.

Samořezné šrouby jsou v dnešní době hojně používány, redukuje čas operace a i nástroje nezbytné k samotnému zákroku, tudíž dochází i k snížení ztráty krve [14].



Obr. 1.27 Geometrie šroubu [15]

Dalším možným způsobem, jak docílit větší pevnosti spojení, je použití rozevratelného šroubu. Ten se po vložení do kosti rozevře a dojde k většímu styku s tkání a lepší výsledné fixaci.

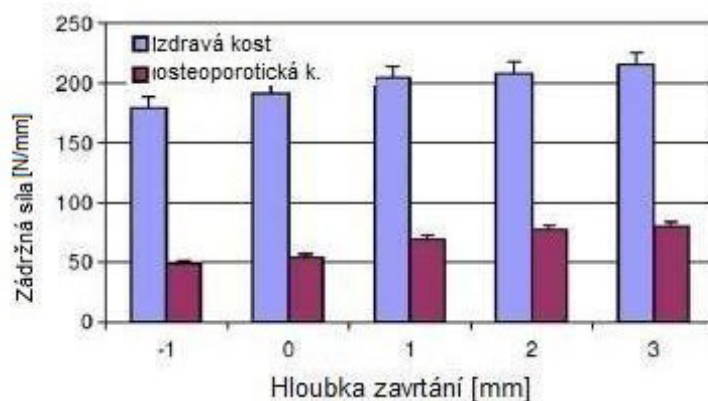
Tab. 1.4 Různé typy šroubů a jejich charakteristické vytrhávací síly [16]

| Axiální zatížení nezbytné pro porušení fixace [N] |               |                  |                                       |
|---------------------------------------------------|---------------|------------------|---------------------------------------|
| Typ šroubu                                        | Umístění      | Nejnižší hodnota | Střední hodnota a směrodatná odchylka |
| <b>S největší vytrhávací silou</b>                |               |                  |                                       |
| 3,5 mm kortikální                                 | bikortikální  | 426              | 448±253                               |
| 3,2 mm kortikální                                 | bikortikální  | 371              | 371±155                               |
| 3,5 mm spongiozní                                 | bikortikální  | 368              | 368±203                               |
| 4,5 mm kortikální                                 | bikortikální  | 367              | 369±158                               |
| <b>S střední vytrhávací silou</b>                 |               |                  |                                       |
| 2,7 mm kortikální                                 | bikortikální  | 321              | 321±223                               |
| 3,5 mm kortikální                                 | unikortikální | 319              | 289±231                               |
| 3,2 mm kortikální                                 | unikortikální | 300              | 305±207                               |
| 3,5 mm kortikální                                 | unikortikální | 277              | 277±126                               |
| 2,7 mm kortikální                                 | unikortikální | 274              | 344±383                               |
| <b>S nejnižší vytrhávací silou</b>                |               |                  |                                       |
| 3,5 mm samořezný                                  | bikortikální  | 244              | 236±124                               |
| 4,5 mm kortikální                                 | unikortikální | 239              | 231±134                               |
| 3,5 mm samořezný                                  | unikortikální | 223              | 216±166                               |

Ve výše uvedené tabulce jsou uvedeny různé typy šroubu a pro ně naměřené hodnoty vytrhávací síly, je patrné, že nejhůře dopadly samořezné šrouby a naopak nejlépe umístěné jsou bikortikální nebo-li šrouby procházející oběma částmi kortexu (kortikální kosti), která sama o sobě má vyšší pevnost a lépe tedy drží šroub.

#### ➤ Hloubka inserce

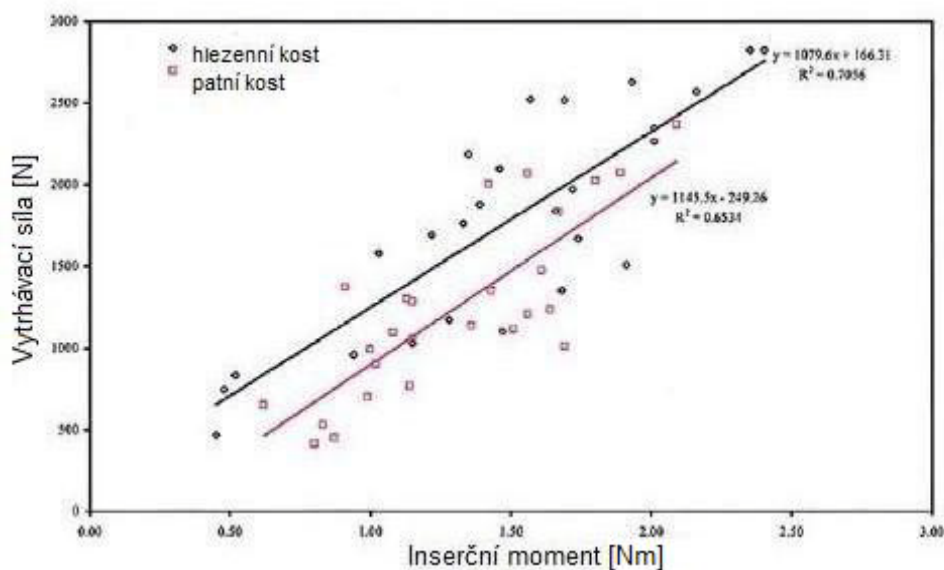
Dalším důležitým faktorem je hloubka inserce, na následném obrázku 1.28 si můžeme povšimnout, že s rostoucí hloubkou inserce roste i pevnost vazby. Můžeme mluvit o dvou faktorech zapříčínujících daný efekt, s větší hloubkou máme větší část šroubu v kosti a tudíž i lepší styk a rozložení sil podél šroubu, dále se pak dostáváme do různých částí kosti (viz. stavb kosti).



Obr. 1.28 Hloubka inserce [14]

### ➤ Síla vynaložená při inserci šroubu

Byla prokázána korelace mezi vynaloženou silou při inserci šroubu a následnou vytrhávací silou. Jinak řečeno o co větší úsilí vložíme při zavrtávání šroubu do kosti, o to více získáme na pevnosti spojení kosti se šroubem [17].

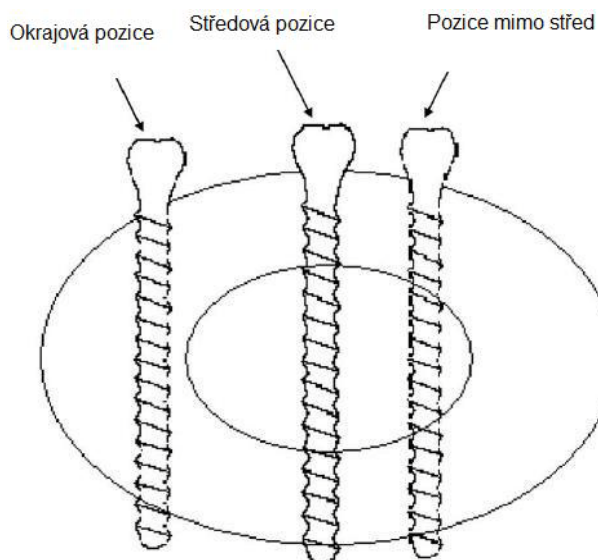


Obr. 1.29 Závislost vložené inserční síly a vynaložené vytrhávací síly [17]

Zmíněná korelace je dobře patrná z obr. 1.29 pro dva rozdílné operační postupy a pak z tab. 1.5 kde pro nejvyšší hodnoty inserčních momentů získáme nejvyšší hodnoty vytrhávacích sil a stejně tak nejnižší pevnost odpovídá nejmenšímu úsilí vynaloženému pro inserci šroubu.

Tab. 1.5 Porovnání inserční a vytrhávací síly [17]

| Dárce                                                                         | Umístění | Inserční moment [Nm] | Vytrhávací síla [N] | Typ šroubu | Poznámka                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------|---------------------|------------|-------------------------------------------|
| 1                                                                             | Pr - P   | 0,52                 | 833                 | A          | -                                         |
|                                                                               | Pr - H   | 0,62                 | 648                 | B          | -                                         |
| 2                                                                             | L - P    | 0,48                 | 746                 | A          | -                                         |
|                                                                               | L - H    | 0,87                 | 450                 | B          | -                                         |
| 3                                                                             | Pr - P   | 1,66                 | 1837                | A          | šroub zničen                              |
|                                                                               | Pr - H   | 1,42                 | 2003                | B          | -                                         |
| 4                                                                             | L - P    | 1,39                 | 1877                | A          | -                                         |
|                                                                               | L - H    | 1,06                 | 1093                | B          | -                                         |
| 5                                                                             | Pr - P   | 1,68                 | 1351                | A          | -                                         |
|                                                                               | Pr - H   | 1,43                 | 1348                | B          | -                                         |
| 6                                                                             | L - P    | 1,72                 | 1970                | A          | -                                         |
|                                                                               | L - H    | 1,56                 | 2065                | B          | -                                         |
| 7                                                                             | Pr - P   | 1,33                 | 1761                | A          | -                                         |
|                                                                               | Pr - H   | 1,61                 | 1474                | B          | -                                         |
| 8                                                                             | L - P    | 1,74                 | 1670                | A          | -                                         |
|                                                                               | L - H    | 1,67                 | 1832                | B          | -                                         |
| 9                                                                             | L - P    | 1,03                 | 1578                | A          | -                                         |
|                                                                               | L - H    | 1,00                 | 990                 | B          | -                                         |
| 10                                                                            | Pr - P   | 1,46                 | 2095                | A          | -                                         |
|                                                                               | Pr - H   | 0,91                 | 1370                | B          | -                                         |
| 11                                                                            | Pr - P   | 1,22                 | 1690                | A          | -                                         |
|                                                                               | Pr - H   | 1,02                 | 900                 | B          | -                                         |
| 12                                                                            | L - P    | 1,15                 | 1028                | A          | -                                         |
|                                                                               | L - H    | 0,80                 | 413                 | B          | -                                         |
| 13                                                                            | Pr - P   | 0,94                 | 958                 | A          | vodící trn vyjmut a posléze znovu zaveden |
|                                                                               | Pr - H   | 0,83                 | 529                 | B          | -                                         |
| 14                                                                            | L - P    | 2,40                 | 2825                | A          | překročeno limitní zatížení, šroub zničen |
|                                                                               | L - H    | 2,09                 | 2367                | B          | -                                         |
| 15                                                                            | Pr - P   | 1,47                 | 1102                | A          | -                                         |
|                                                                               | Pr - H   | 0,99                 | 701                 | B          | -                                         |
| 16                                                                            | L - P    | 0,45                 | 468                 | A          | zlomení kosti                             |
|                                                                               | L - H    | 1,13                 | 1297                | B          | -                                         |
| 17                                                                            | L - P    | 2,16                 | 2570                | A          | překročeno limitní zatížení               |
|                                                                               | L - H    | 1,60                 | 2023                | B          | -                                         |
| 18                                                                            | Pr - P   | 2,35                 | 2825                | A          | překročeno limitní zatížení, šroub zničen |
|                                                                               | Pr - H   | 1,51                 | 1113                | B          | -                                         |
| 19                                                                            | Pr - P   | 2,01                 | 2346                | A          | -                                         |
|                                                                               | Pr - H   | 1,38                 | 1134                | B          | -                                         |
| 20                                                                            | L - P    | 1,93                 | 2628                | A          | -                                         |
|                                                                               | L - H    | 1,89                 | 2071                | B          | -                                         |
| 21                                                                            | L - P    | 1,91                 | 1508                | A          | -                                         |
|                                                                               | L - H    | 1,64                 | 1233                | B          | -                                         |
| 22                                                                            | Pr - P   | 2,01                 | 2265                | A          | -                                         |
|                                                                               | Pr - H   | 1,56                 | 1206                | B          | -                                         |
| 23                                                                            | L - P    | 1,35                 | 2183                | A          | -                                         |
|                                                                               | L - H    | 1,14                 | 768                 | B          | -                                         |
| 24                                                                            | Pr - P   | 1,57                 | 2520                | A          | překročeno limitní zatížení               |
|                                                                               | Pr - H   | 1,69                 | 1010                | B          | -                                         |
| 25                                                                            | Pr - P   | 1,28                 | 1171                | A          | -                                         |
|                                                                               | Pr - H   | 1,15                 | 1054                | B          | -                                         |
| 26                                                                            | L - P    | 1,69                 | 2516                | A          | překročeno limitní zatížení               |
|                                                                               | L - H    | 1,15                 | 1281                | B          | -                                         |
| L - levá noha dárce, Pr - pravá noha dárce, P - patní kost, H - hlezenní kost |          |                      |                     |            |                                           |
| A - $\phi 7,3$ mm - délka 65 mm z toho 32 mm závitové části - samořezný       |          |                      |                     |            |                                           |
| B - $\phi 7,3$ mm - délka 65 mm z toho 16 mm závitové části - samořezný       |          |                      |                     |            |                                           |

➤ **Pozice v kosti**

Obr. 1.30 Rozdílné pozice šroubu v kosti [18]

Jak již bylo zmíněno, kost je materiál heterogenního charakteru, tudíž umístění šroubu v kosti hraje významnou roli v pevnosti spojení. Obrázek 1.30 naznačuje testované pozice šroubu vůči kosti a v tabulce 1.6 pak můžeme nalézt odpovídající výsledky experimentu, z nichž vyplývá, že nejlepších pevnostních charakteristik dosahují šrouby umístěné v kortikální části šroubu, znovu můžeme potvrdit významnou roli hustoty kosti.

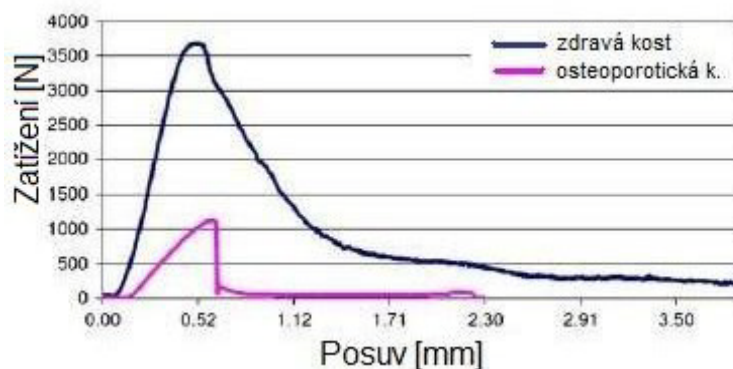
Tab. 1.6 Závislost pevnosti spojení na pozici šroubu v kosti [18]

| Typ šroubu                                   | Počet šroubů | Střední vytrhávací síla [N] | Směrodatná odchylka |
|----------------------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------------|
| všechny                                      | 20           | 1906                        | 844                 |
| "neokrajové" šrouby (37,5% poblíž střednice) | 12           | 2133                        | 841                 |
| okrajové šrouby                              | 8            | 1565                        | 776                 |
| všechny šrouby bez zlomenin                  | 16           | 2118                        | 764                 |
| okrajové šrouby se zlomeninami               | 4            | 1058                        | 634                 |
| okrajové šrouby bez zlomeninami              | 4            | 2073                        | 564                 |
| "nestředové" šrouby blíže ke střednici       | 8            | 1850                        | 660                 |
| "nestředové" šrouby vzdálenější od střednice | 8            | 1823                        | 386                 |

### ➤ Hustota kosti

Jak vyplývá již z výše uvedených příkladů pevnosti spojení a tabulky 1.1 je hustota kosti jedním z hlavních faktorů ovlivňujících spojení. Hustota se v závislosti na typu (stavbě) kosti a věku jedince mění, optimálních výsledků pevnosti šroubového spojení dosahujeme při průchodu kortikální kosti a u mladých lidí. Dalším aspektem majícím vliv na hustotu jsou různá onemocnění např. osteoporóza, která v dnešní době postihuje stále více lidí.

Na obrázku 1.31 můžeme rozpoznat závislost zatížení ve funkci posunu. V grafu jsou znázorněny dvě křivky, modrá reprezentuje zdravou kost o běžné hustotě a druhá pak kost postiženou osteoporózou, tudíž kost s nižší hustotou. Je víc než dobře patrné, že u zdravé kosti dosahujeme vyšších hodnot zatížení a tedy i optimálnějšího spojení. Z experimentu vyplývá, že vyšší hustota zlepšuje pevnost fixace.



Obr. 1.31 Graf tahové zkoušky pro různé hustoty kosti [14]

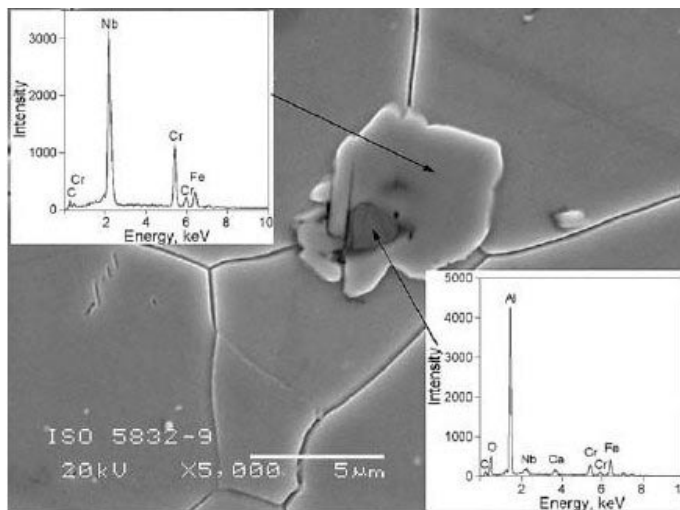
### ➤ Materiál šroubu

Výrobní materiál šroubu a všech implantátů je dán normou ISO jak již bylo výše zmíněno. Existují dvě variace a to korozivzdorná ocel a slitina titanu. Pokud je kost v dobrém stavu, je zdravá, nezáleží na volbě materiálu pro daný implantát, ale naopak je-li kost napadena nemocí (v tomto případě osteoporózou) dochází k významnému rozdílu pevnosti v závislosti na volbě materiálu - viz tab 1.7 [14].

Tab. 1.7 Porovnání implantátové oceli a slitiny Ti ve funkci typu kosti [14]

| Hloubka inserce [mm]                                            | Zdravá kost  |              | Osteoporotická kost |              |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|
|                                                                 | ZS Ti [N/mm] | ZS SS [N/mm] | ZS Ti [N/mm]        | ZS SS [N/mm] |
| -1                                                              | 177,4        | 180,0        | 44,7                | 49,7         |
| 0                                                               | 192,7        | 190,7        | 47,6                | 56,3         |
| 1                                                               | 197,2        | 208,0        | 62,5                | 71,4         |
| 2                                                               | 205,9        | 208,3        | 71,8                | 79,5         |
| 3                                                               | 207,1        | 216,7        | 78,0                | 80,3         |
| ZS - zádržná síla, Ti - slitina titanu, SS - korozivzdorná ocel |              |              |                     |              |

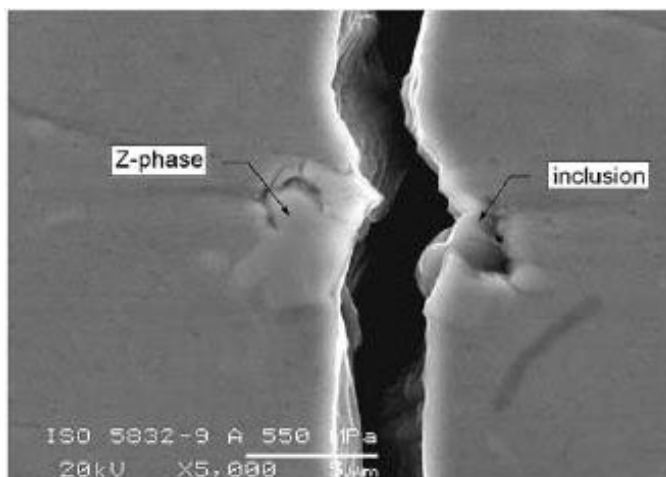
Pro osteoporotickou kost je statisticky významný rozdíl v použití materiálu, je proto vhodnější volit korozivzdornou ocel nežli slitinu titanu.



Obr. 1.32 Inkluze v implantátové oceli [19]

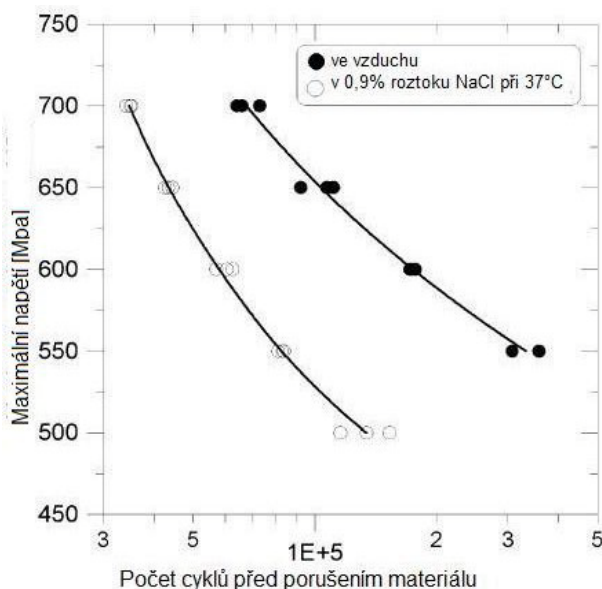
Struktura materiálu má zásadní význam na mechanické vlastnosti součásti, implantátová oceli i slitina titanu obsahují nečistoty, precipitáty a další nehomogenní strukury. Mezi tyto nedostatky patří i inkluze bohaté na hliník jak znázorňuje obrázek 1.32 a dále pak Z – fáze ( $\text{Nb}_2(\text{Cr,Fe})_2\text{N}_2$ ) [19].

Obě zmíněné nesourodosti zvyšují napjatost a v místech jejich výskytu nejčastěji dochází k porušení slitiny.



Obr. 1.33 Vady implantátové oceli [19]

Krom výše zmíněných příměsí a precipátů, degradaci materiálů ovlivňuje i únavový cyklus. Jak vyplývá z grafu (obr. 1.34) se zvyšujícím se počtem cyklů dochází k poklesu možného maximálního zatížení součásti.



Obr. 1.34 Závislost maximálního napětí na počtu cyklů [19]

## 2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 2.1. Popis experimentu

Experiment umožňuje na základě provedených měření a jejich následnému matematickému zpracování zavrhnout či podpořit hypotézu se kterou jsme na začátku přistoupili k řešení daného problému.

V této bakalářské práci jsem studovala výsledky měření provedeného panem Jamborem pod záštitou VUT v Brně a firmy Medin a.s. [22].

Jejich cílem bylo vyhodnotit optimální geometrii samořezné části kostních šroubů [22].

Samotný experiment spočíval v zavrtávání a následnému vytržení kostních šroubů ze dvou různých materiálů. Z hlediska praktické nedostupnosti lidské kosti byla volena náhrada formou prasečí kosti, která má obdobné vlastnosti, pro porovnání byl použit druhý materiál, který je oproti kosti homogenního charakteru, jednalo se o polypropylen ve formě trubky o průměru 40 mm a tloušťky stěny 5,5 mm, který byl nařezán na díly dlouhé 30

mm. Vnější průměry kostí se pohybovaly v rozmezí 26 až 40 mm o toušťce stěny 2 až 8,5 mm i tyto vzorky byly nařezány na díly dlouhé 30 mm [22].

V obou případech byly použity identické sady kostních šroubu, ty byly pak dále děleny na základě geometrie a zpracování šroubu (se samořeznou drážkou či bez, úhel čela samořezné drážky, odjehlen, neodjehlen) [22].

Šrouby tedy můžeme rozdělit do osmi podskupin z toho jedna podskupina je tvořena šrouby konkurenční firmy, sedm zbylých skupin obsahuje šrouby firmy Medin a.s. o průměru 4,5 mm [22].

Tab. 2.1 Skupiny šroubů použité při měření [22]

| Skupina          | 1          | 2         | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          |
|------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Výrobce          | Medin a.s. | konkurent | Medin a.s. | Medin a.s. | Medin a.s. | Medin a.s. | Medin a.s. | Medin a.s. |
| Samořezná drážka | ano        | ano       | ano        | ano        | ano        | ano        | ano        | ne         |
| Odjehlen         | ano        | ano       | ano        | ano        | ne         | ne         | ne         | X          |
| Úhel čela [°]    | 0          | 0         | -5         | 5          | 0          | -5         | 5          | X          |

## 2.2. Parametry experimentu, průběh měření

Oba cíle experimentu (zavrtání a vytržení) nám umožnila CNC frézka, kdy po zavrtání šroubu pomocí zpětného posuvu došlo k jeho vytržení z kosti respektive polypropylenu. Pro upnutí kosti bylo třeba vyrobít speciální přípravek. Před samotným zavrtáním kostního šroubu o průměru 4,5 mm byl předvrtán otvor vrtákem o průměru 3,2 mm [22].

Ke měření dat byl použit dynamometr KISTLER, který byl upnut na obráběcí stůl frézky a teprve na něj byla upnuta obráběná součást v našem případě prasečí kost či polypropylen. Dynamometr je schopný měřit externí síly a momenty, které na něj působí tedy působící na vzorek (kost, PP). Naměřené hodnoty síly a momentu ve funkci času ukládá do souboru, který díky počítači můžeme dále zpracovat.

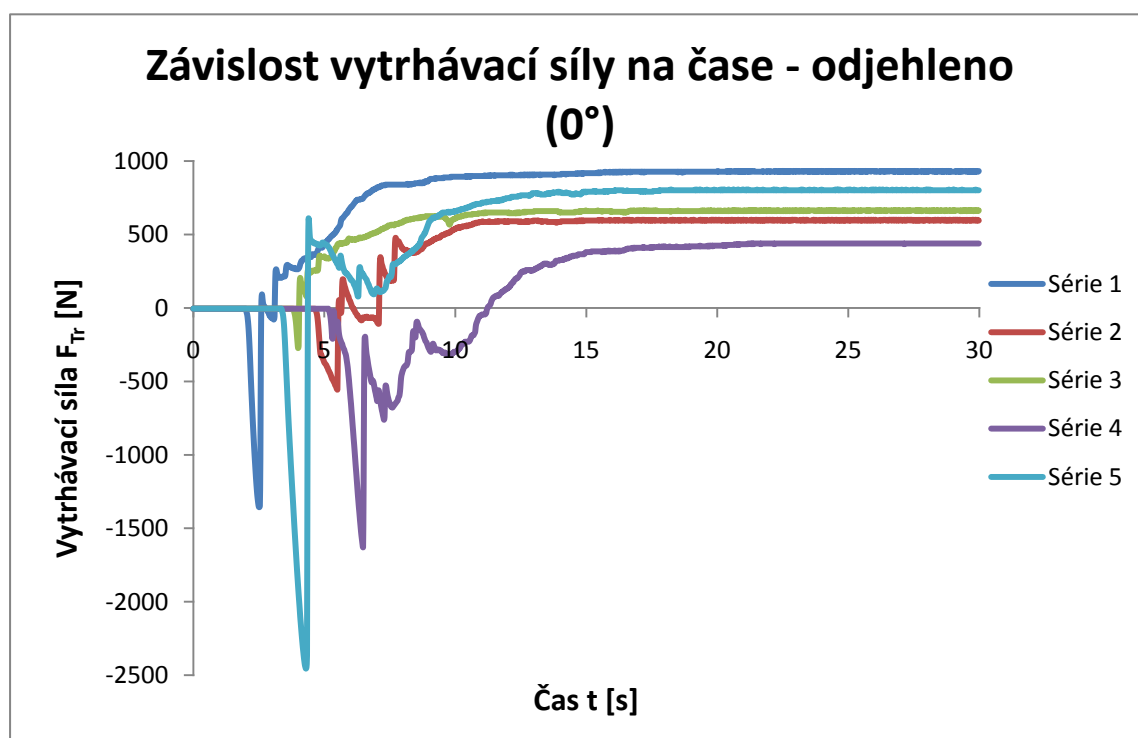
Tab. 2.2 Parametry vrtání a vytrhávání [22]

|                                                               | Řezání | Vytrhávání |
|---------------------------------------------------------------|--------|------------|
| Otáčky vřetene $n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]                      | 50     | 0          |
| Posuvová rychlost $v_f$ [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ] | 88     | 50         |

### 2.3. Samotná měření

Jak již bylo řečeno, byly prováděné dva pokusy a to zavrtávání a vytržení šroubů. Během zavrtávání byly měřeny dvě veličiny : řezný moment ( $M_C$ ) a posuvová síla ( $F_P$ ). Pro každou veličinu bylo naměřeno 1 500 dat v časových intervalech 0,02 sekundy. Pro vytrhací zkoušku, máme pouze jednu studovanou veličinu a to vytrhací sílu ( $F_{Tr}$ ), která je rovněž měřena v intervalech 0,02 sekundy.

Na základě naměřených hodnot a za pomoci tabulkového editoru EXCEL bylo možné sestavit závislosti sledovaných sil a momentu ve funkci času.



Obr. 2.1 Graf závislosti vytrhací síly na čase pro odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost

Tab. 2.3 Maximální hodnoty vytrhacích sil pro šrouby s odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost

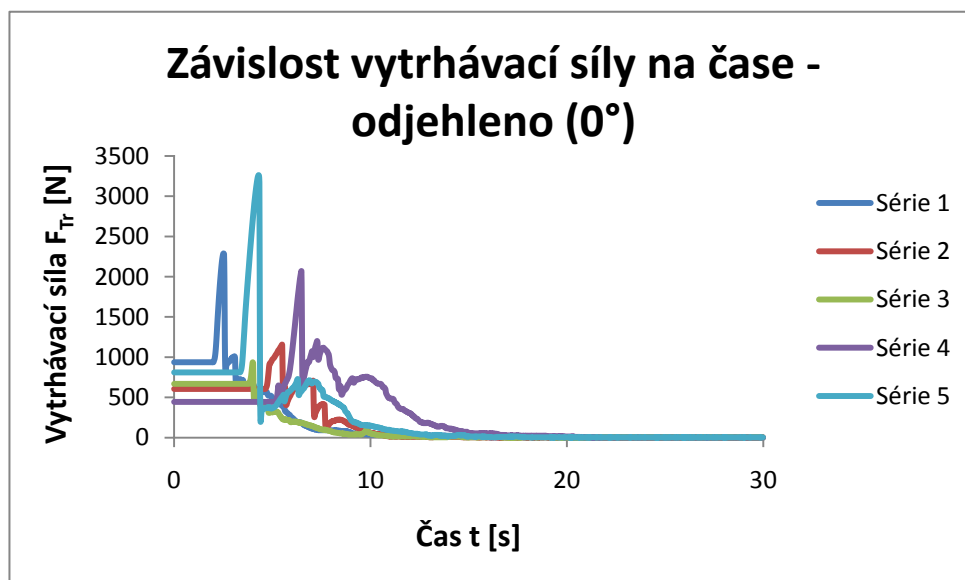
| Odjehlen 0 / 5ks   |          |         |         |          |          |         |          |          |
|--------------------|----------|---------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|
| měření             | 1        | 2       | 3       | 4        | 5        | MAX     | MIN      | Průměr   |
| Ftr max [N]        | -1357,00 | -556,60 | -273,40 | -1631,00 | -2456,00 | -273,40 | -2456,00 | -1254,80 |
| S [mm]             | 3,2      | 3,1     | 3,3     | 7,8      | 5,2      | 7,80    | 3,10     | 4,52     |
| Ftr max / S [N/mm] | -424,06  | -179,55 | -82,85  | -209,10  | -472,31  | -82,85  | -472,31  | -273,57  |

Obrázek 2.1 (Graf závislosti vytrhávací síly na čase pro odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela  $0^\circ$  - kost) byl sestaven na základě naměřených hodnot. Jelikož můžeme přirovnat zkoušku vytržení šroubu k tahovým zkouškám je nelogické, že by se v průběhu působícího napětí změnil jeho směr, neboli, že by křivka ze záporných hodnot přešla do kladných.

Pro následné zpracování se vycházelo z hypotézy, že graf je posunutý v počátku, jinak řečeno, předpoklad byl v přepětí v šroubech způsobeném jejich zavrtáním do materiálu a tudíž by křivka neměla začínat na nule ale na hodnotě přepětí a naopak by měla končit na nulové hodnotě síly.

Na základě této hypotézy jsem následně upravila graf odečtením maximální hodnoty od ostatních hodnot (tím jsem zaručila, jednotnost znamének) a posléze pomocí absolutní hodnoty jen převedla do kladných hodnot.

Upravený graf je vyznačený na obrázku 2.2. Ze závislosti jsou patrné čtyři důležité oblasti. První, konstantní fáze z počátku měření, kdy ještě nedochází k zatížení šroubu, ale naopak je dobře patrné přepětí, které v šroubu je. Druhá fáze, během které prudce stoupá zatížení, až dosáhne maxima, což lze fyzikálně vysvětlit jako okamžik uvolnění šroubu. Následně pak sledujeme pokles napětí při vytahování šroubu z kosti (PP) až dosáhneme nulové hodnoty působící síly, jinak řečeno, šroub už není v materiálu přítomen, nemůže tedy působit silově na dany materiál.

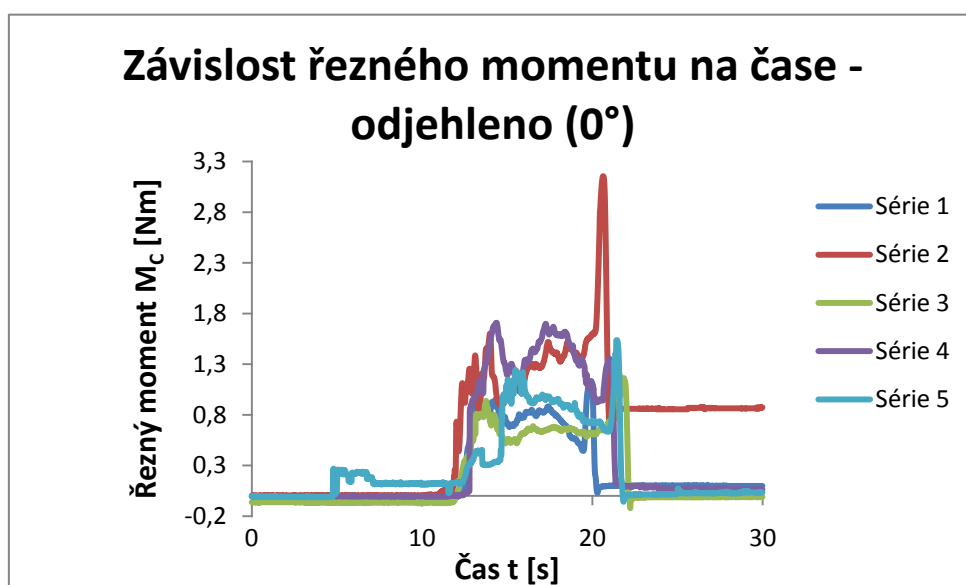


Obr. 2.2 Graf závislosti vytrhávací síly na čase pro odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela  $0^\circ$  - kost (upraven)

Tab. 2.4 Maximální hodnoty vytrhávacích sil pro šrouby s odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela  $0^\circ$  - kost (upraveno)

| Odjehlen 0 / 5ks   |         |         |        |         |         |         |        |         |
|--------------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|
| měření             | 1       | 2       | 3      | 4       | 5       | MAX     | MIN    | Průměr  |
| Ftr max [N]        | 2289,60 | 1157,20 | 937,50 | 2070,50 | 3261,70 | 3261,70 | 937,50 | 1943,30 |
| S [mm]             | 3,2     | 3,1     | 3,3    | 7,8     | 5,2     | 7,80    | 3,10   | 4,52    |
| Ftr max / S [N/mm] | 715,50  | 373,29  | 284,09 | 265,45  | 627,25  | 715,50  | 265,45 | 453,12  |

Plocha pod křivkou grafu lze za pomoci aproximace využít ke výpočtu vynaložené práce na vytržení šroubu.



Obr. 2.3 Graf závislosti řezného momentu na čase pro odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela  $0^\circ$  - kost

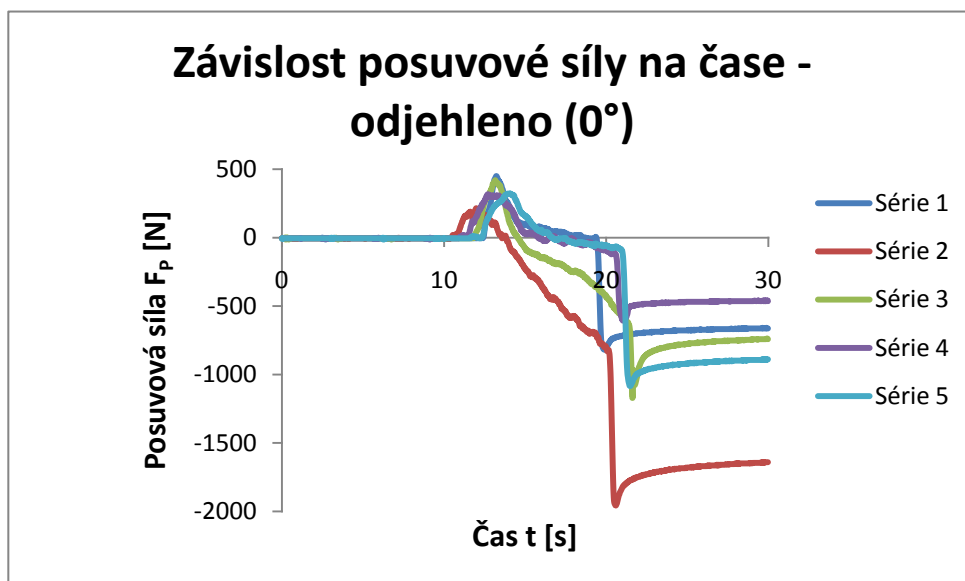
Tab. 2.5 Maximální hodnoty momentů pro šrouby s odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela  $0^\circ$  - kost

| Odjehlen 0 / 5ks  |      |      |      |      |      |      |      |        |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| měření            | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | MAX  | MIN  | Průměr |
| Mc max [N]        | 1,13 | 3,15 | 1,19 | 1,71 | 1,54 | 3,15 | 1,13 | 1,74   |
| S [mm]            | 3,2  | 3,1  | 3,3  | 7,8  | 5,2  | 7,80 | 3,10 | 4,52   |
| Mc max / S [N/mm] | 0,35 | 1,02 | 0,36 | 0,22 | 0,30 | 1,02 | 0,22 | 0,45   |

Obr. 2.3 je časovou závislostí řezného momentu. Znovu jej lze rozdělit do několika významných částí. První, nulová, kdy nabíháme s nástrojem ke vzorku, posléze rostoucí hodnota momentu – fáze ve které dochází k řezání kosti (PP) až po samotnou maximální hodnotu, procházíme nejtvrďší částí

kosti, až k jejímu prolomení. Třetí část je charakteristická poklesem zatížení, neboť se nacházíme ve spongiozní části kosti, která je podstatně jednodušší na obrábění, nežli kortikální část.

Před finálním poklesem zatížení ještě dochází k jeho opětovnému nárustu, to si můžeme vysvětlit jako pruchod nástroje znovu kortikální částí kosti, dále pak už dochází k poklesu hodnot rezného momentu až na jeho nulovou hodnotu.



Obr. 2.4 Graf závislosti posuvové síly na čase pro odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost

Tab. 2.6 Maximální hodnoty posuvových sil pro šrouby s odjehlenou samořeznou drážku s úhlem čela 0° - kost

| Odjehlen 0 / 5ks         |         |          |          |         |          |                |                 |                 |
|--------------------------|---------|----------|----------|---------|----------|----------------|-----------------|-----------------|
| měření                   | 1       | 2        | 3        | 4       | 5        | MIN            | MAX             | Průměr          |
| <b>Fp max [N]</b>        | -820,30 | -1958,00 | -1172,00 | -605,50 | -1084,00 | <b>-605,50</b> | <b>-1958,00</b> | <b>-1127,96</b> |
| <b>S [mm]</b>            | 3,2     | 3,1      | 3,3      | 7,8     | 5,2      | <b>7,80</b>    | <b>3,10</b>     | <b>4,52</b>     |
| <b>Fp max / S [N/mm]</b> | -256,34 | -631,61  | -355,15  | -77,63  | -208,46  | <b>-77,63</b>  | <b>-631,61</b>  | <b>-305,84</b>  |

Třetí měřená veličina je posuvová síla, jejíž průběh v čase je patrný z obr. 2.4, zajímavé je první lokální maximum, které nabývá opačné hodnoty nežli zbylý průběh křivky, jelikož během pokusu byl nejprve předvrtán otvor vrtákem o průměru 3,2 mm, můžeme si tento bod vysvětlit jako vtažení šroubu do předvrtaného otvoru, dále pak dochází ke změně orientace působení síly a nárustu její hodnoty, což odpovídá rezné práci šroubu, hodnota síly se ustálí na velikosti přepětí v šroubu.

## 2.4. Zpracování dat

Protože cílem práce je porovnání vztahu mezi vynaloženou řeznou a vytrhávací silou, bylo nutné vypočítat práci všech měřených veličin.

Bohužel však nemáme k dispozici závislosti síly na posuvu, ale nýbrž ve funkci času, bylo třeba tedy převyjádnit přírůstek práce jako výkon krát přírůstek času.

Diferenciál řezné práce pak lze vypočítat jako součet diferenciálu práce řezného momentu a diferenciálu práce posuvové síly (13):

$$dE_C = dE_{M_C} + dE_{F_P} \quad (2.1) [13]$$

Pro výpočet práce tedy využijeme vztahu pro výkon a to v případě momentu

$$P_{M_C} = M_C \cdot \omega \quad [W] \quad (2.2) [13]$$

Vztah lze ještě dále upravit na tvar, kde  $M_C$  [Nm] a  $N$  [ot/min].

$$P_{M_C} = \frac{M_C \cdot N}{9,55} \quad [W] \quad (2.3)$$

V případě posuvové a vytrhávací síly použijeme vzorec, kde  $F$  [N] a  $v_f$  [mm/min].

$$P = \frac{F \cdot v_f}{6 \cdot 10^4} \quad [W] \quad (2.4.) [13]$$

Vypočtené výkony zintegrujeme numerickou metodou za pomoci složené lichoběžníkové metody [23].

$$Q = l \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot f(x_0) + f(x_1) + \dots + f(x_{n-1}) + \frac{1}{2} \cdot f(x_n) \right] \quad (2.5) [23]$$

Výsledné hodnoty práce jsou pak uvedeny v následující tabulce.

### KOST:

Tab. 2.7 Výsledná řezná a vytrhávací práce – kost

| měření | práce Ftr [J] | celková práce [J] | práce Mc [J] | práce Fp [J] | celková práce [J] |
|--------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1      | 4,60E+00      | 4,600             | 3,49E+01     | 9,50E+00     | 44,445            |
| 2      | 4,44E+00      | 4,441             | 1,03E+02     | 2,81E+01     | 131,317           |
| 3      | 3,27E+00      | 3,265             | 2,92E+01     | 1,20E+01     | 41,195            |
| 4      | 6,86E+00      | 6,855             | 6,25E+01     | 5,82E+00     | 68,289            |
| 5      | 6,48E+00      | 6,482             | 4,42E+01     | 1,13E+01     | 55,540            |
| 6      | 2,69E+00      | 2,687             | 4,10E+01     | 6,88E+00     | 47,861            |
| 7      | 4,07E+00      | 4,073             | 3,72E+01     | 1,08E+01     | 48,054            |
| 8      | 4,92E+00      | 4,922             | 3,07E+01     | 9,72E+00     | 40,417            |
| 9      | 2,14E+00      | 2,145             | 1,72E+01     | 1,35E+00     | 18,545            |
| 11     | 3,96E+00      | 3,960             | 7,43E+01     | 1,41E+01     | 88,337            |
| 12     | 4,16E+00      | 4,165             | 2,15E+01     | 7,04E+00     | 28,525            |
| 13     | 2,77E+00      | 2,774             | 1,97E+01     | 7,84E+00     | 27,544            |
| 14     | 9,80E+00      | 9,803             | 6,97E+01     | 2,54E+01     | 95,035            |
| 15     | 6,61E+00      | 6,607             | 9,74E+01     | 1,82E+01     | 115,671           |
| 16     | 9,09E+00      | 9,095             | 1,23E+02     | 2,48E+01     | 147,570           |
| 17     | 2,01E+00      | 2,011             | 2,83E+01     | 6,32E+00     | 34,639            |
| 18     | 4,13E+00      | 4,125             | 6,32E+01     | 1,38E+01     | 76,944            |
| 19     | 5,31E+00      | 5,310             | 3,37E+01     | 1,71E+01     | 50,858            |
| 20     | 1,12E+01      | 11,157            | 1,14E+02     | 3,65E+01     | 150,415           |
| 21     | 5,09E+00      | 5,090             | 5,35E+01     | 1,68E+01     | 70,330            |
| 22     | 1,10E+01      | 11,009            | 3,92E+01     | 2,51E+01     | 64,319            |
| 23     | 7,73E+00      | 7,731             | 5,44E+01     | 2,06E+01     | 75,013            |
| 26     | 1,46E+00      | 1,463             | 2,84E+01     | 5,59E+00     | 34,005            |
| 27     | 2,34E+00      | 2,336             | 2,85E+01     | 1,05E+01     | 38,996            |
| 28     | 3,81E+00      | 3,810             | 1,00E+01     | 8,43E+00     | 18,434            |
| 31     | 5,15E+00      | 5,146             | 6,92E+01     | 1,59E+01     | 85,176            |
| 32     | 2,19E+00      | 2,194             | 1,57E+01     | 8,04E+00     | 23,735            |
| 33     | 6,07E+00      | 6,066             | 6,81E+01     | 1,68E+01     | 84,850            |
| 36     | 2,64E+00      | 2,636             | 7,54E+01     | 1,10E+01     | 86,420            |
| 37     | 2,96E+00      | 2,963             | 3,75E+01     | 2,89E+00     | 40,352            |
| 38     | 2,27E+00      | 2,274             | 3,00E+01     | 3,08E+00     | 33,080            |

## POLYPROPYLEN

Tab. 2.8 Výsledná řezná a vytrhávací práce – PP

| měření | práce Ftr [J] | celková práce [J] | práce Mc [J] | práce Fp [J] | celková práce [J] |
|--------|---------------|-------------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1      | 6,55E+00      | 6,555             | 3,97E+01     | 1,15E+01     | 51,163            |
| 2      | 6,45E+00      | 6,447             | 3,80E+01     | 1,07E+01     | 48,723            |
| 3      | 6,44E+00      | 6,437             | 4,25E+01     | 1,18E+01     | 54,284            |
| 4      | 6,14E+00      | 6,141             | 4,52E+01     | 1,11E+01     | 56,300            |
| 5      | 5,94E+00      | 5,941             | 3,85E+01     | 1,08E+01     | 49,262            |
| 6      | 6,02E+00      | 6,021             | 4,43E+01     | 1,11E+01     | 55,419            |
| 7      | 5,90E+00      | 5,899             | 3,61E+01     | 1,10E+01     | 47,050            |
| 8      | 7,54E+00      | 7,538             | 3,81E+01     | 1,10E+01     | 49,084            |
| 9      | 6,99E+00      | 6,994             | 4,62E+01     | 1,16E+01     | 57,709            |
| 10     | 7,37E+00      | 7,369             | 3,65E+01     | 1,13E+01     | 47,856            |
| 11     | 6,15E+00      | 6,149             | 3,18E+01     | 1,06E+01     | 42,415            |
| 12     | 6,30E+00      | 6,304             | 3,36E+01     | 1,06E+01     | 44,215            |
| 13     | 6,01E+00      | 6,008             | 3,61E+01     | 1,11E+01     | 47,215            |
| 14     | 6,51E+00      | 6,510             | -9,38E-02    | 1,16E+01     | 11,491            |
| 15     | 6,36E+00      | 6,361             | -2,88E+00    | 1,13E+01     | 8,393             |
| 16     | 6,38E+00      | 6,378             | 3,49E+01     | 1,23E+01     | 47,189            |
| 17     | 5,64E+00      | 5,642             | 4,26E+01     | 1,45E+01     | 57,115            |
| 18     | 6,54E+00      | 6,535             | 4,02E+01     | 1,28E+01     | 53,072            |
| 19     | 6,18E+00      | 6,179             | 4,16E+01     | 1,33E+01     | 54,920            |
| 20     | 6,20E+00      | 6,204             | 3,85E+01     | 1,26E+01     | 51,092            |
| 21     | 5,82E+00      | 5,817             | 4,75E+01     | 1,04E+01     | 57,833            |
| 22     | 6,71E+00      | 6,713             | 4,96E+01     | 1,07E+01     | 60,270            |
| 23     | 6,36E+00      | 6,356             | 4,55E+01     | 1,03E+01     | 55,824            |
| 24     | 6,21E+00      | 6,212             | 4,86E+01     | 1,12E+01     | 59,787            |
| 25     | 5,84E+00      | 5,844             | 4,26E+01     | 9,28E+00     | 51,856            |
| 26     | 5,64E+00      | 5,636             | 3,86E+01     | 9,27E+00     | 47,903            |
| 27     | 5,05E+00      | 5,046             | 3,23E+01     | 8,59E+00     | 40,933            |
| 28     | 5,97E+00      | 5,968             | 4,37E+01     | 1,00E+01     | 53,734            |
| 29     | 5,79E+00      | 5,793             | 4,47E+01     | 9,53E+00     | 54,273            |
| 30     | 5,73E+00      | 5,729             | 4,05E+01     | 9,26E+00     | 49,721            |
| 31     | 5,34E+00      | 5,337             | 3,34E+01     | 1,04E+01     | 43,828            |
| 32     | 5,53E+00      | 5,530             | 3,48E+01     | 9,66E+00     | 44,445            |
| 33     | 6,03E+00      | 6,034             | 4,67E+01     | 1,07E+01     | 57,345            |
| 34     | 5,62E+00      | 5,622             | 3,63E+01     | 1,01E+01     | 46,394            |
| 35     | 5,48E+00      | 5,484             | 4,14E+01     | 1,01E+01     | 51,486            |
| 36     | 4,88E+00      | 4,880             | 3,64E+01     | 3,96E+00     | 40,365            |
| 37     | 5,73E+00      | 5,731             | 3,55E+01     | 4,05E+00     | 39,581            |
| 38     | 5,45E+00      | 5,455             | 2,75E+01     | 4,45E+00     | 31,925            |

Další fází při vyhodnocování výsledku bylo pomocí matematických (statistických) metod overit existuje-li prokazatelná korelace mezi řezným momentem a vytrhávací silou, jinak řečeno mezi vynaloženou řeznou prací a vytrhávací prací.

Pro určení zda-li jsou veličiny korelované je nezbytně spočítat koeficient korelace na základě dané populace.

Samotná hodnota koeficientu ještě nezbytně neznamená, že veličiny jsou či nejsou korelované, proto byl také proveden test hypotézy  $H_0$  o neexistenci lineární korelace.

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum x_i \cdot y_i - \left(\frac{1}{n} \sum x_i\right) \cdot \left(\frac{1}{n} \sum y_i\right)}{\sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum (x_i^2) - \bar{x}^2\right)} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum (y_i^2) - \bar{y}^2\right)}} \quad (2.6)$$

Oproti hypotéze  $H_0$  klademe hypotézu  $H_1$  o existenci korelace a dále pak spočteme hodnotu  $T$ , která má vlastnosti Studentova rozdělení, danou hodnotu porovnáme s příslušným kvantilem Studentova rozdělení a nakonec rozhodneme, zda hypotézu  $H_0$  akceptujeme s předpokládaným rizikem či zda ji zamítneme.

$$T = \frac{r \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2.7)$$

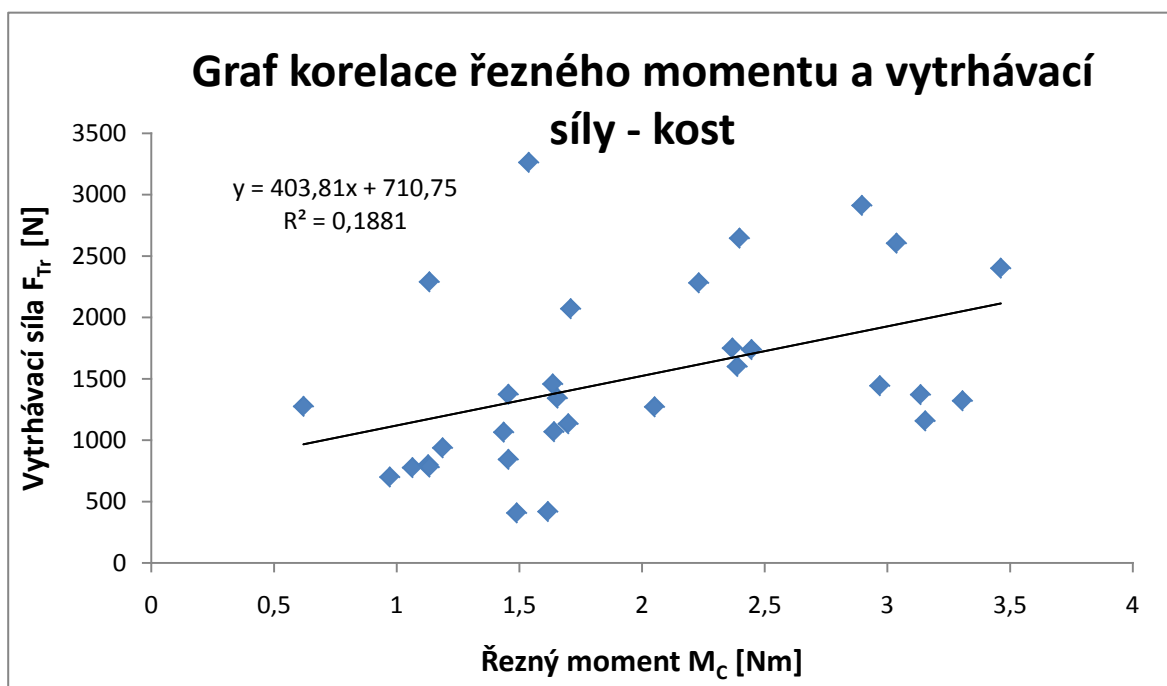
Tab. 2.9 Korelace měřených hodnot

|                  | Kost               |                 | PP                 |                    |
|------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
|                  | kor. síla X moment | kor. práce      | kor. síla X moment | kor. práce         |
| $\alpha$         | 0,05               | 0,05            | 0,05               | 0,05               |
| $r$              | 0,434              | 0,669           | -0,183             | 0,102              |
| $r^2$            | 0,188              | 0,448           | 0,034              | 0,010              |
| $T$              | 2,592              | 4,850           | -1,118             | 0,616              |
| $v = n - 2$      | 29                 | 29              | 36                 | 36                 |
| kvantil St. roz. | 2,045              | 2,045           | -2,03              | 2,03               |
| $H_0$            | <b>zamítáme</b>    | <b>zamítáme</b> | <b>akceptujeme</b> | <b>akceptujeme</b> |

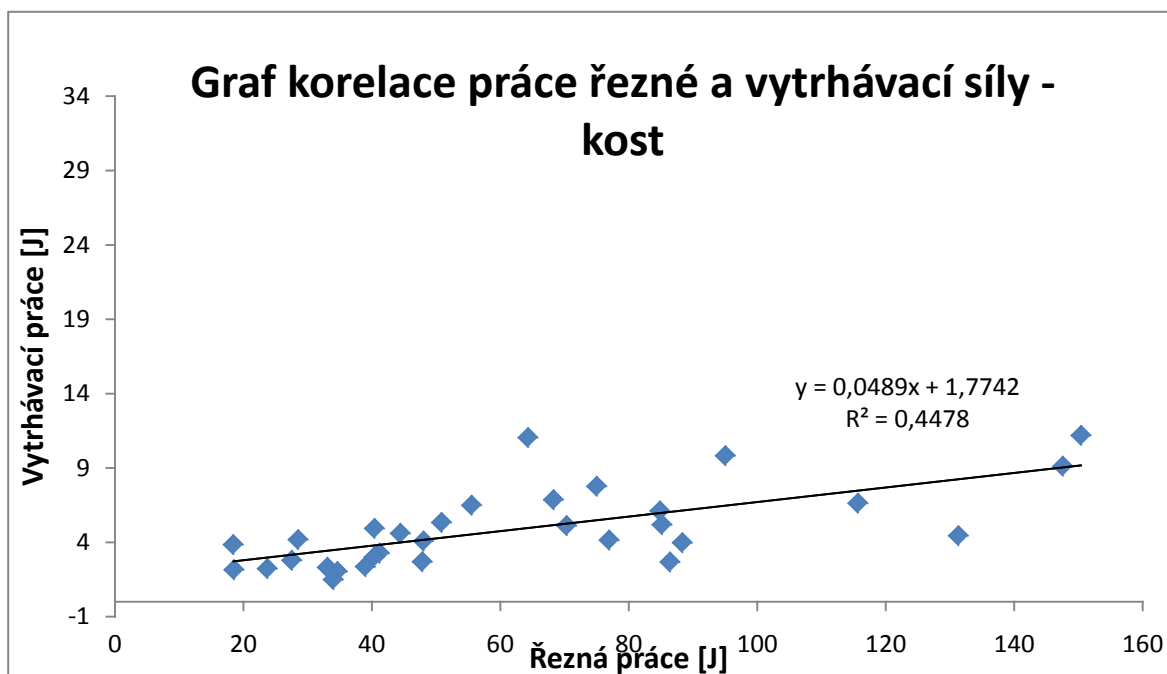
Z tabulky 2.9 vyplývá, že pro hodnoty práce inserční a vytrhávací síly pro kost existuje korelace, oproti tomu pro hodnoty stejných veličin pro polypropylenovou trubku hypotézu o neexistenci korelace akceptujeme.

Daný závěr je i dobře patrný z následujících grafu, kde je vidět značná disperze hodnot.

## KOST

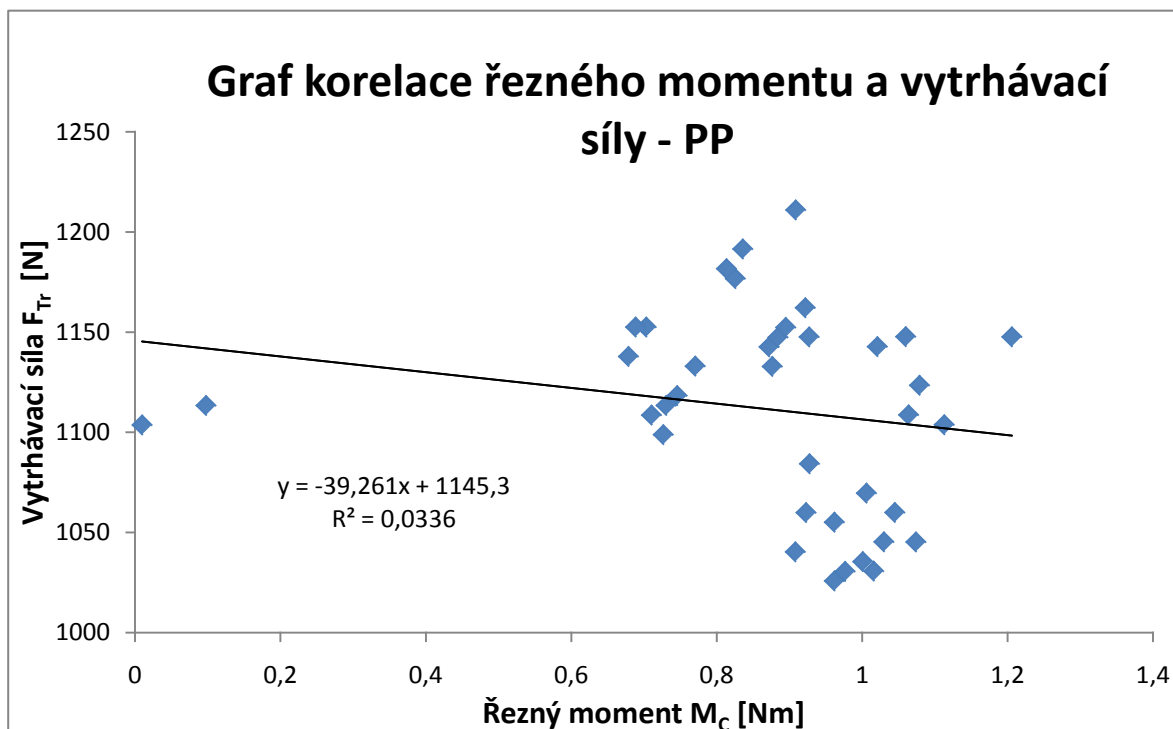


Obr. 2.5 Graf korelace řezného momentu a vytrhávací síly - kost

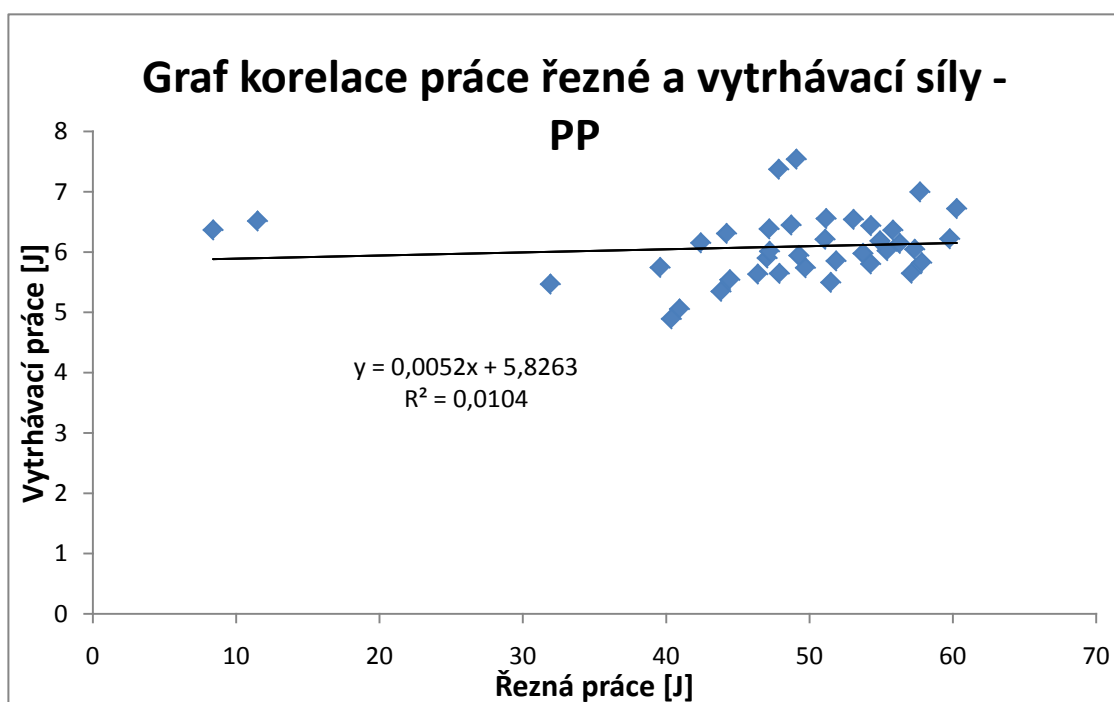


Obr. 2.6 Graf korelace práce řezné a vytrhávací síly – kost

## POLYPROPYLEN



Obr. 2.7 Graf korelace řezného momentu a vytrhávací síly - PP



Obr. 2.8 Graf korelace práce řezné a vytrhávací síly - PP

Tab. 2.10 Průměrné řezné a vytrhávací práce ve funkci testované skupiny šroubů - kost

| KOST                      |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Skupiny                   | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
| Řezná práce - průměr      | 68,157 | 38,719 | 71,022 | 92,085 | 69,887 | 30,478 | 64,587 | 53,284 |
| Vytrhávací práce - průměr | 5,129  | 3,457  | 5,462  | 6,340  | 7,943  | 2,537  | 4,469  | 2,624  |
| Poměr Ř / V               | 13,289 | 11,201 | 13,004 | 14,525 | 8,798  | 12,015 | 14,452 | 20,303 |

Tab. 2.11 Tab. 2.11 Průměrné řezné a vytrhávací práce ve funkci testované skupiny šroubů - PP

| PP                        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Skupiny                   | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
| Řezná práce - průměr      | 51,946 | 51,423 | 30,746 | 52,677 | 57,114 | 49,313 | 48,700 | 37,290 |
| Vytrhávací práce - průměr | 6,304  | 6,764  | 6,266  | 6,188  | 6,188  | 5,634  | 5,602  | 5,355  |
| Poměr Ř / V               | 8,240  | 7,602  | 4,907  | 8,513  | 9,229  | 8,752  | 8,694  | 6,963  |

Budeme-li chtít vyhodnotit která z geometrií šroubů je neoptimálnější, budeme porovnávat poměr vynaložené síly na zavrtání vůči síle nezbytné na vytržení šroubu, v tomto případě se ukazuje jako nejlepší skupina číslo pět během zkoušení s kostmi, v případě PP jsou výsledky vyrovnanější až na skupinu číslo tři.

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo porovnat síly, práce vynaložené při zavrtávání a vytrhávání kostních implantátů, respektive kostních šroubů z kosti a porovnat různé geometrie šroubů, do jaké míry ovlivňují vynaloženou práci.

Při zpracování dat týkajících se experimentu s kostí, byla prokázána korelace mezi vloženou inserční prací a vytrhávací prací. Naopak pro vzorek měřený na polypropylenu výsledné hodnoty nebyly prokazatelné, tudíž hypotéza o neexistenci korelace byla přijata s pěti procentním rizikem.

Možnou příčinou nezdaru může být nedostatečně velký a nezávislý počet měření, pro které se testovala hypotéza, stejně tak můžeme předpokládat chybu měření či lidského faktoru.

Co se týká geometrie šroubu, nejlepších výsledku dosáhly dvě skupiny ve funkci použitého materiálu. Ve zkoušce s kostí nejlépe obstala pátá skupina, charakterizovaná šrouby se samořeznou drážkou, neodjehlené, s úhlem čela = 0°, naopak během testování polypropylenu je nejlépe hodnocenou skupinou, skupina číslo tři se samořeznou drážkou, odjehlené, s úhlem čela = - 5°, přestože rozdíly mezi jednotlivými skupinami nebyly zvláště výrazné.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. *Zlomenina* [online]. WIKIPEDIE. Dostupné na World Wide Web: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Zlomenina>>.
2. *Kost* [online]. WIKIPEDIE. Dostupné na World Wide Web: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kost>>.
3. VÍTEK M. *Fyziologie kosti* [online]. Univerzita Karlova, 3. lékařská fakulta, Ústav normální, patologické a klinické fyziologie. Dostupné na World Wide Web: <<http://old.lf3.cuni.cz/physio/Physiology/education/materials/studenti/kosti.pdf>>.
4. WIKIPEDIE. *Illu compact spongy bone* [online]. Dostupné na World Wide Web: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Illu\\_compact\\_spongy\\_bone.jpg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Illu_compact_spongy_bone.jpg)>.
5. ICB Dent. *Mechanical properties of bone* [online]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.feppd.org/ICB-Dent/campus/biomechanics\\_in\\_dentistry/ldv\\_data/mech/basic\\_bone.htm](http://www.feppd.org/ICB-Dent/campus/biomechanics_in_dentistry/ldv_data/mech/basic_bone.htm)>.
6. SVOBODA P., BRANDEJS J., DVOŘÁČEK J., PROKEŠ F. Základy konstruování. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2008. 234s. ISBN 978-80-7204-584-6
7. *Šroub* [online]. WIKIPEDIE. Dostupné na World Wide Web: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0roub>>.
8. MAIRE DU POSER A., BON M., MOLL F., PAIRE Y., *Les assemblages pas éléments filetés*. ENSAM CER de Cluny, 2008-2009.
9. *Šrouby kostní* [online]. MEDIN a.s. Česká republika. Dostupné na World Wide Web: <http://www.medin.cz/cz/produkty/produkty.html?cat=2&productsID=33>>.
10. NF ISO 5832-1 Octobre 2007 [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://sagaweb.afnor.org>>.
11. *Systém DHS/DCS. S LCP DHS a DHS spirálovým šroubem* [online]. SYNTHES. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.synthes.com/html/Czech\\_Republic.4368.0.html](http://www.synthes.com/html/Czech_Republic.4368.0.html)>.
12. *EXPERT Tibial Nail. Nový standard AO/ASIF pro hřebování tibie* [online]. SYNTHES. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.synthes.com/html/Czech\\_Republic.4368.0.html](http://www.synthes.com/html/Czech_Republic.4368.0.html)>.
12. CHEN L-H., TAI C-L., LAI P-L., LEE D-M., TSAI T-T., FU T-S., NIU C-C., CHEN W-J. *Pullout strength for cannulated pedicle screws with bone cement augmentation in severely osteoporotic bone: Influences of radial hole and pilot hole tapping* [online]. Clinical Biomechanics. 2009. Volume 24, p. 613-618. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.elsevier.com/locate/clinbiomech>>.

13. KOČMAN K. a PROKOP J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270s. ISBN 80-214-3068-0
14. BATTULA S, SCHOENFELD A, VRABEC G, O NJUS G. *Experimental evaluation of the holding power/stiffness of the self-tapping bone screws in normal and osteoporotic bone material*.  
Clinical Biomechanics (Bristol, Avon). June 2006. Volume 21, Issue 5, p. 533-7.
15. WAN S-Y., LEI W., WU Z-X., RONG L., WANG J., FU S-C., LI B., ZHAN C. *Micro-CT evaluation and histological analysis of screw-bone interface of expansive pedicle screw in osteoporotic sheep* [online]. Chinese Journal of Traumatology. 2008. Volume 11, Issue 2, p. 72-77. Dostupné na World Wide Web: <[http:// www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>.
16. HELLER J. G., ESTES B. T., ZAOUALI M., DIOP A. *Biomechanical study of screws in the lateral masses: variables affecting pull-out resistance*. Journal of Bone and Joint Surgery. Septembre 1996. Volume 78, Issue 9, p.1315-21.
17. MCGLAMRY M. C., ROBITAILLE M. F. *Analysis of screw pullout strength: A function of screw orientation in subtalar joint arthrodesis*. The Journal of Foot and Ankle Surgery. September-October 2004, Volume 43, Issue 5, p. 277-284.
18. ACHARYA A.V., EVANS S.L. *Does placing screws off-centre in tubular bone alter their pullout strength* [online]. Injury, Int. J. Care Injured. 2009. Volume 40, p. 1161-1166. Dostupné na World Wide Web: <[http:// www.elsevier.com/locate/injury](http://www.elsevier.com/locate/injury)>.
19. GIORDANI E.J., GUIMARAES V.A., PINTO T.B., FERREIRA I. *Effect of precipitates on the corrosion/fatigue crack initiation of ISO 5832-9 stainless steel biomaterial* [online]. International journal fatigue. 2004. Volume 26, p. 1129-1136. Dostupné na World Wide Web: <[http:// www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>.
20. ZDERO R., SHAUN R., SCHEMITSCH E. H., PAPINI M. *Cortical screw pullout strength and effective shear stress in synthetic third generation composite femurs*. Journal of Biomechanical Engineering. April 2007. Volume 129, Issue 2, p. 289.
21. KOLLER H., ACOSTA F., TAUBER M., FOX M.,HUDELMAIER M., FORSTNER R., AUGAT P., PENZKOFER R., PIRICH C., KASSMANN H., RESCH H., HITZL W. *Cervical anterior transpedicular screw fixation (ATPS)-Part II. Accuracy of manual insertion and pull-out strenght of ATPS*. Eur Spine J 2008. Volume 17, p. 539-555
22. JAMBOR, R. *Optimalizace geometrie a výroby samořezných částíkových šroubů*. Brno 2006. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
23. ČERMÁK L., HLAVIČKA R., *Numerické metody* [online]. Ústav Matematiky, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v

Brně, 24.3.2006. Dostupné na World Wide Web:  
<<http://mathonline.fme.vutbr.cz>>.

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Zkouška 1.1.0
- Příloha 2 Zkouška 1.1.1, Zkouška 1.1.2
- Příloha 3 Zkouška 1.1.3, Zkouška 1.1.4
- Příloha 4 Zkouška 1.1.5, Zkouška 1.1.6
- Příloha 5 Zkouška 1.1.7, Zkouška 1.1.8
- Příloha 6 Zkouška 1.2.1
- Příloha 7 Zkouška 1.2.2, Zkouška 1.2.3
- Příloha 8 Zkouška 1.2.4, Zkouška 1.2.5
- Příloha 9 Zkouška 1.2.6, Zkouška 1.2.7
- Příloha 10 Zkouška 1.2.8, Zkouška 1.3.1
- Příloha 11 Zkouška 1.3.2, Zkouška 1.3.3
- Příloha 12 Zkouška 1.3.4, Zkouška 1.3.5
- Příloha 13 Zkouška 1.3.6, Zkouška 1.3.7
- Příloha 14 Zkouška 1.3.8, Graf korelace řezného momentu a vytrhvací síly - kost
- Příloha 15 Tabulka výsledné řezné a vytrhvací práce - kost
- Příloha 16 Graf korelace práce řezné a vytrhvací síly - kost
- Příloha 17 Zkouška 2.1.0
- Příloha 18 Zkouška 2.1.1, Zkouška 2.1.2
- Příloha 19 Zkouška 2.1.3, Zkouška 2.1.4
- Příloha 20 Zkouška 2.1.5, Zkouška 2.1.6
- Příloha 21 Zkouška 2.1.7, Zkouška 2.1.8
- Příloha 22 Zkouška 2.2.1
- Příloha 23 Zkouška 2.2.2, Zkouška 2.2.3
- Příloha 24 Zkouška 2.2.4, Zkouška 2.2.5
- Příloha 25 Zkouška 2.2.6, Zkouška 2.2.7
- Příloha 26 Zkouška 2.2.8, Zkouška 2.3.1
- Příloha 27 Zkouška 2.3.2, Zkouška 2.3.3
- Příloha 28 Zkouška 2.3.4, Zkouška 2.3.5
- Příloha 29 Zkouška 2.3.6, Zkouška 2.3.7
- Příloha 30 Zkouška 2.3.8, Graf korelace řezného momentu a vytrhvací síly - PP
- Příloha 31 Tabulka výsledné řezné a vytrhvací práce – PP
- Příloha 32 Graf korelace práce řezné a vytrhvací síly – PP, Tabulka statistických testů
- Příloha 33 Výsledný poměr řezná – vytrhvací práce