

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Ústav zdravotnických studií

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petra KŘIVKOVÁ**
Osobní číslo: **Z08000005**
Studijní program: **B3944 Biomedicínská technika**
Studijní obor: **Biomedicínská technika**
Název tématu: **Testování rázové vlny v ortopedii**
Zadávající katedra: **Ústav zdravotnických studií**

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

Obsahem bakalářské práce bude detailní popis přístrojů a metod pro generaci rázových vln. Hlavní část bude tvořit experiment, ve kterém použijeme dva různé zdroje rázových vln, působení těchto zdrojů budou vystaveny vzorky kostí (prasečích) s kostním cementem. Výsledky budou statisticky vyhodnoceny, porovnány s kontrolním vzorkem a také mezi sebou. Cílem práce je tedy zjistit a porovnat účinnost dvou různých zdrojů rázových vln a zhodnotit možné praktické využití rázové vlny při reopaeracích kloubních náhrad.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

50-70 stran

Forma zpracování bakalářské práce:

tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1]THIEL, M.: Application of shock waves in medicine. Clin Orthop. (2001)
- [2]BENEŠ, J., et al. Působení rázové vlny na implantovanou kyčelní náhradu. Sborník lékařský.(2001)
- [3]SAUERBRUCH, T. Extracorporeal shock wave lithotripsy. Digestion. (1997)
- [4]BENEŠ, Jiří, et al. První zkušenosti s ČSL. zařízením k léčbě ledvinových kamenů litotripsií rázovou vlnou. Prakt. Lék.. (1989)
- [5]BENEŠ, Jiří, et al. První experimentální poznatky o narušování žlučových kamenů fokusovanou rázovou vlnou. Čas. Lék. čes.. (1986)
- [6]ROZMAN, Jiří: Elektronické přístroje v lékařství (2006)
- [7]BENEŠ Jiří, Šunka Pavel, Kordač Václav, Bárta Zbyšek, Štuka Čestmír, Figura Zdeno, Jirsa Milan. Zařízení pro klinické provádění mimotělní lithotripsie žlučových kamenů. (1990)
- [8]SHIMA, A. Studies on bubble dynamics. Shock Waves. (1997)
- [9] BENEŠ, Jiří. Zavedení nového litotryptoru do klinické praxe a neobvyklé aplikace rázových vln. Praha, 2000. Universita Karlova 1. lékařská fakulta. Habilitační práce.

Vedoucí bakalářské práce:

prof. MUDr. RNDr. Jiří Beneš, CSc.
Ústav zdravotnických studií

Datum zadání bakalářské práce:

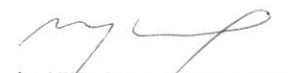
30. dubna 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. dubna 2011


prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
rektor




doc. MUDr. Jaromír Mysliveček, Ph.D.
ředitel

V Liberci dne 30. listopadu 2010

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

ÚSTAV ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ



STUDIJNÍ OBOR: 3901R032 BIOMEDICÍNSKÁ TECHNIKA

STUDIJNÍ PROGRAM: B3944 BIOMEDICÍNSKÁ TECHNIKA

PETRA KŘIVKOVÁ

TESTOVÁNÍ RÁZOVÉ VLNY
V ORTOPEDII

(Bakalářská práce)

VEDOUCÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE: PROF. MUDR., RNDR. JIŘÍ
BENEŠ CSC.

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Prof. MUDr., RNDr. Jiřímu Benešovi, CSc. za odborné vedení této práce. Dále bych chtěla poděkovat svému konzultantovi Bc. Janu Zemanovi, který zajišťoval experimenty, řešil problémy a konzultoval se mnou výsledky experimentů. V neposlední řadě děkuji všem pracovníkům Akademie věd ČR, Ústavu fyziky plazmatu, hlavně panu Doc. Ing. Pavlu Šunkovi, CSc., za možnost provést experimenty a jejich odborné rady.

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci

27. 4. 2011

.....

Podpis

Anotace

Léčba a využívání rázové vlny je v České republice stále relativně novou metodou, která ve světě začala být dostupná od počátku 90. let. Původní myšlenka této metody však nesměřovala přímo k léčbě, ovšem léčebné účinky rázové vlny byly objeveny velmi záhy při pokusech na zvířatech. V dnešní době je už mnoho odborných pracovišť, na kterých je léčba rázovou vlnou samozřejmostí, a to nejen v případě destrukce konkrementů ve žlučových či močových cestách, ale také stále častěji ve spojitosti s léčbou ortopedických onemocnění a problémů. Tato bakalářská práce je věnována problematice, která se zabývá reoperacemi kloubních náhrad a možnému využití rázové vlny při těchto výkonech.

Klíčová slova

Rázová vlna, reoperace, ortopedická léčba, kloubní náhrada

Annotation

The treatment and utilization of the shock wave is still relatively a new method in the Czech Republic. This method has been available since beginning of nineties. But the original idea of this method has not aimed directly to the treatment. Therapeutic effect were discovered soon when it was tested on animals. Nowadays there are lots of specialist workplaces where the treatment by shock wave is usual not only in cases of treatment of destruction concretions in biliary or urinary tracts but still often in connection with treatment of orthopaedic disorders and problems. This labor is devoted

questions of reoperations of arthral replace and possibly utilization of shock waves in this operations.

Keywords

Shock wave, reoperation, orthopaedic treatment, arthral replace

OBSAH

1. Část teoretická.....	12
1.1. Úvod	12
1.2. Základní vlastnosti rázových vln.....	13
1.2.1. Specifické vlastnosti vln využívaných v medicíně	13
1.2.2. Rozdíl mezi R a UZ vlnou	14
1.2.3. Závislosti tlaků vln na čase	15
1.2.4. Kavitace	16
1.2.5. Fokusace	16
1.3. Systémy ESWL	17
1.3.1. Fenomény.....	17
1.3.2. Obecná stavba přístroje.....	18
1.3.3. Principy užívaných systémů při ESWL	18
1.3.4. Elektrohydraulické systémy.....	19
1.3.5. Piezoelektrické systémy.....	20
1.3.6. Elektromagnetické systémy	21
1.3.7. Fyzikální principy využívané ke generaci	21
1.3.8. Nový způsob generace fokusované rázové vlny	22
1.3.9. Porovnání a výhody	23
1.4. Nový generátor rázových vln AVČR	24
1.4.1. Nový generátor – stavba	24
1.5. Stavba a vývoj kosti.....	27

1.5.1.	Kloub kyčelní – Articulatio coxae	29
1.5.2.	Kloub kolenní – Articulatio genus.....	30
1.5.3.	Nejčastější operace na kloubech	31
1.6.	Totální náhrady kloubů.....	32
1.6.1.	Historie chirurgie kyčelního kloubu	33
1.6.2.	Příčiny revizních operací	34
2.	Část experimentální	36
2.1.	Cíl práce.....	36
2.2.	Materiál a metodika	37
2.3.	První pokus.....	37
2.4.	Měřicí systém	39
2.4.1.	Uspořádání měřicí soustavy	40
2.4.2.	Obrazová ukázka testování na přístroji mts 858.2 bionix.....	41
2.5.	Vytlačování kostního cementu	41
2.5.1.	Výsledný graf 1. pokusu	45
2.5.2.	Zhodnocení 1 pokusu, předpokládané hypotézy.....	46
2.6.	Druhý pokus	46
2.6.1.	Vytlačování kostního cementu.....	48
2.6.2.	Výsledný graf 2. pokusu	49
2.6.3.	Zhodnocení 2. pokusu.....	50
2.7.	Třetí pokus.....	50
3.	Diskuse.....	51
4.	Závěr	52
5.	Literatura.....	53
6.	Zdroje obrázků	55
7.	Přílohy.....	60

Seznam použitých obrázků

- Obr. 1** závislost tlaku uz vlny na čase
- Obr. 2** závislost tlaku r vlny na čase
- Obr. 3** schéma elektrohydraulického generátoru rázových vln
- Obr. 4** schéma piezoelektrického generátoru rázových vln
- Obr. 5** schéma elektromagnetického generátoru s rovinnou membránou
- Obr. 6** schéma nového generátoru rázových vln (válcová elektroda)
- Obr. 7** schéma nového generátoru rázových vln (elektroda tvaru části kulového vrchlíku)
- Obr. 8** dlouhá kost (holenní)
- Obr. 9** stavba kosti
- Obr. 10** kostra člověka
- Obr. 11** kloub kyčelní
- Obr. 12** kloub kolenní
- Obr. 13** grafická ukázka použití artroskopie
- Obr. 14** rentgenový snímek implantované kyčelní náhrady
- Obr. 15** umělý kyčelní kloub
- Obr. 16** měřicí soustava
- Obr. 17** stlačování vzorku
- Obr. 18** rázovaný vzorek
- Obr. 19** rázovaný vzorek
- Obr. 20** nerázovaný vzorek
- Obr. 21** nerázovaný vzorek

Obr. 22 očištěné kosti prasnic zbavené kloubních hlavic

Obr. 23 očištěné kosti prasnic zbavené kloubních hlavic

Seznam grafů

Graf 1 rázovaný vzorek 1a – grafické vyhodnocení výsledků

Graf 2 rázovaný vzorek 1b – grafické vyhodnocení výsledků

Graf 3 maximální naměřené hodnoty

Graf 4 maximální naměřené hodnoty

Grafy viz příloha

Seznam použitých zkratek

RV – rázová vlna

UZ – ultrazvuk, ultrazvuková

RTG – rentgen

VFN – všeobecná fakultní nemocnice

FN – fakultní nemocnice

MPa – megapascal

kN – kilonewton

LMZ – laboratoř mechanických zkoušek

MŠMT – ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy

LFUK – lékařská fakulta univerzity Karlovy

AVČR – Akademie věd České republiky

1. Část teoretická

1.1. Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá zkoumáním účinků rázových vln a jejich možného využití. Používání rázových vln v běžné lékařské praxi je v porovnání například s ultrazvukem novinkou, ovšem díky rychlému vývoji a kvalitním výsledkům nejen v oblasti léčby se tato metoda stává významnou a velmi často využívanou. Mnoho otázek však vyvstává, pokud se zaměříme na využití rázové vlny. Doposud jsou známy její pozitivní účinky v léčbě nejrůznějších lithias, jako například Urolithiasa či Cholelithiasa. Dále je v dnešní době široce rozšířena léčba ortopedických potíží, jako je například: omezení pohybu a bolest ramenního kloubu v důsledku kalcifikace, bolesti svalového úponu na vnější straně lokte - tenisový loket, bolesti úponů pod vnější horní hranou pánevní kosti, bolest při zátěži v nadkolenní nebo podkolenní oblasti, bolesti při artróze kolenního kloubu, rehabilitace zánětu Achillovy šlachy. V několika posledních letech se vědci společně s lékaři zaměřují nejen na výše uvedenou léčbu a využití, ovšem hledají se i jiná odvětví v medicíně, kde by bylo možné využít vlastností rázových vln.

Cílem této bakalářské práce je zjistit a poukázat na to, nakolik může být rázová vlna využitelná v oblasti reoperací kloubních náhrad. Základem této práce je myšlenka, že rázové vlny by mohly významně ovlivňovat spojení kosti a cementové výplně, používané při ortopedických operacích a značně tak ulehčit průběh celé reoperace. Praktická část této práce je věnována experimentům, které probíhaly za podpory lékařů z VFN a FN Motola a vědců z Ústavu fyziky plazmatu Akademie Věd ČR. Na tomto ústavu byly řešeny zásadní otázky ohledně experimentů, výsledků a možného využití.

1.2. Základní vlastnosti rázových vln

Stejně jako ostatní vlny nese rázová vlna energii a může se šířit buď prostřednictvím média (pevného, kapalného, nebo plynného), nebo bez materiálního nosiče, přes pole, například elektromagnetické. Rázové vlny se vyznačují prudkou, teoreticky nespojitou změnou vlastností prostředí, v němž se šíří. Tlakové rázové vlny mohou vzniknout například výbuchem, bleskem, nebo nadzvukovým průletem tělesa médiem. Rázová vlna se formuje tehdy, když se rychlost proudění plynu mění víc, než o rychlost zvuku.

V místě, kde k tomu dochází, nemohou postupovat zvukové vlny proti proudu, dochází k růstu tlaku a formování rázové vlny. Rázové vlny tedy nejsou běžné zvukové vlny. Nejsou periodické a vyznačují se velmi strmým nárůstem tlaku. Na delších vzdálenostech mohou rázové vlny degradovat a ztrácet energii ohříváním vzduchu, takže dojde k jejich postupné přeměně ve zvukové vlny. Průběh vln vznikajících samofokusací vypadá tak, že začátek čela tlakové vlny vstupuje do prostoru s normálním tlakem a rychlostí šíření, následující část vlny již vstupuje do komprimovaného prostředí s vyšší rychlostí šíření a "dohání" čelo vlny. Tím dochází k zostřování vlny a vzniku vlny rázové.[1]

1.2.1. Specifické vlastnosti vln využívaných v medicíně

Rázové vlny, jejichž vlastnosti jsou pro tuto práci stěžejní a jejichž vlastností je využíváno právě v lékařství, mohou vznikat například výbojem v kapalinách. Přivedeme-li elektrické napětí na vhodně vzdálené elektrody v kapalině, dojde k elektrickému průrazu mezi elektrodami. Ve výbojovém kanálu prochází proud, ohřívá kapalinu a mění ji v plyn. Ten se dalším průchodem proudu ionizuje a mění se v plazma. Tlak plazmatu se přenáší na okolní médium a vytlačuje ho z okolí výbojového kanálu. Dochází k prudkému stlačení, a pokud je elektrická energie přenesena do výbojového kanálu dostatečně rychle, vznikne rázová vlna. Při tomto způsobu generování rázové vlny je možné změnou napětí v jistém rozmezí regulovat amplitudu

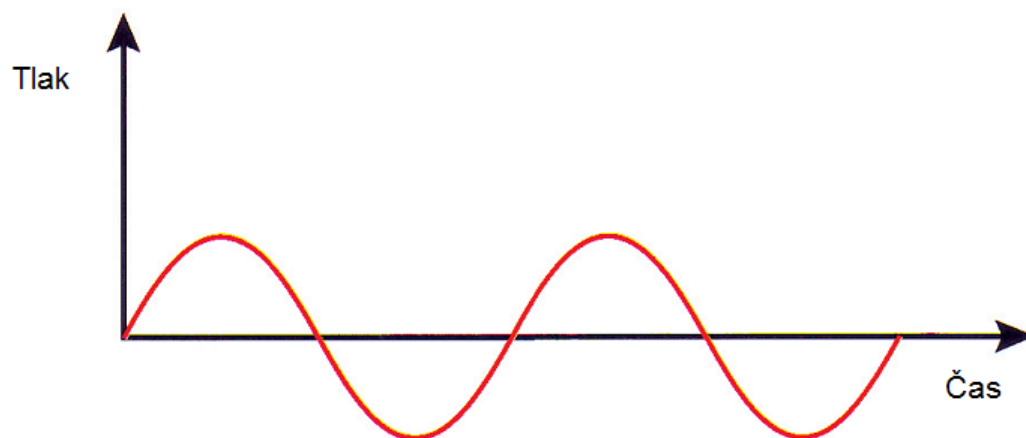
vytvářejí rázové vlny. Ve spojení s fokusací se generování rázových vln elektrickým výbojem v kapalině používá pro odstraňování ledvinových kamenů metodou neinvazivní litotrypse. Úspěchy dosažené v desintegraci kamenů, ať už ledvinových či žlučových, vedly k úvahám o dalším využití rázových vln. Zájem o ně díky jejich vlastnostem (dobře pronikají do měkkých tkání, šíří se s malým útlumem a dají se fokusovat) za posledních několik let značně stoupl. [1]

1.2.2. Rozdíl mezi R a UZ vlnou

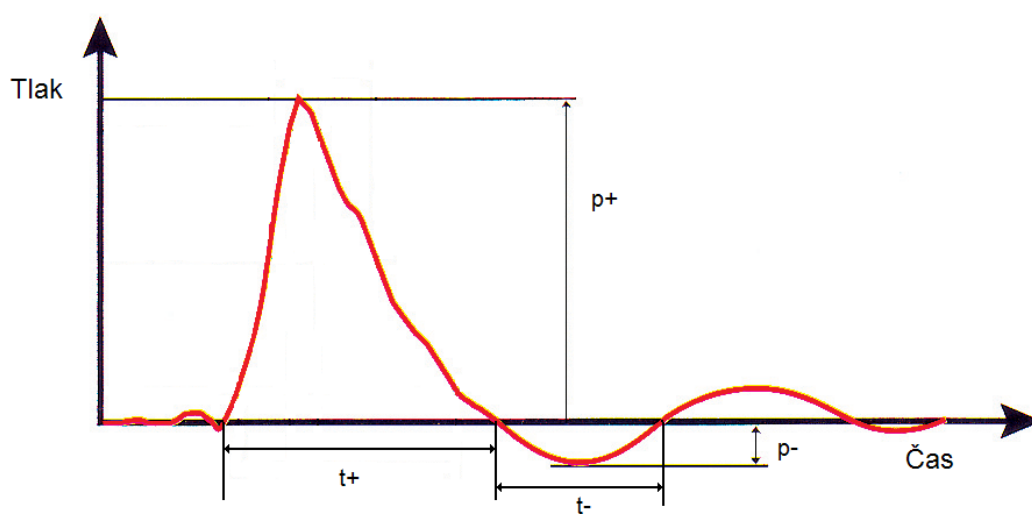
UZ vlnění se jednoznačně liší od RV

- 1) šířením v prostředí – šíření rázové vlny má podobu výrazného tlakového kmitu
- 2) tvarem vlny - UZ vlna má pozitivní a negativní část tlaku, pokud hodnota negativního tlaku (p_-) překročí tzv. kavitační práh je odpovědná za nežádoucí účinky. U rázové vlny se ovšem tvar průběhu tlaku v čase zásadně liší. [2,3]

1.2.3. Závislosti tlaků vln na čase



OBR. 24 ZÁVISLOST TLAKU UZ VLNY NA ČASE



OBR. 25 ZÁVISLOST TLAKU R VLNY NA ČASE

1.2.4. Kavitace

Ultrazvuková kavitace je termín užívaný při popisu chování bublin plynu v kapalinách vystavených UZ vlnění. Při šíření UZ velkých intenzit v kapalinách může v místech podtlaku dojít k narušení spojitosti prostředí a ke vzniku kavitační bubliny. Kavitace je tedy jevem, při kterém se transformuje relativně nízká hustota energie UZ na vysokou hustotu energie koncentrovanou v malých objemech uvnitř zanikající kavitační bubliny nebo v její blízkosti. Tím se vysvětluje úloha kavitace při urychlování chemických reakcí, změnách vlastností biomakromolekul či poruchách až zániku buněk (UZ chirurgie). Kavitační práh je definován hodnotou akustického tlaku nebo intenzity, při kterých právě vzniká kavitace. Je závislý na tlaku, teplotě, povrchovém napětí roztoku, době ozvučování a pracovní frekvenci.[5,14]

1.2.5. Fokusace

Co se týče fokusačních soustav, rozlišujeme 3 druhy, díky kterým dochází k přenosu energie ze zdroje do konkrementu a to: *Elipsoidní*, *Kulovou*, *Válcovou*. Ke vzniku rázové vlny dochází uvnitř kovového elipsoidu naplněného vodou. Zpočátku se energie rázové vlny šíří paprscitě všemi směry. Následně však naráží na kovové stěny reflektoru. Vlivem odrazu je pak energie kuželovitě soustřeďována do sekundárního ohniska, které se nachází mimo elipsoid. V tomto místě koncentrovaná energie má pak své největší účinky.[5]

1.3. Systémy ESWL

Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy (ESWL) patří mezi neinvazivní metody destrukce ledvinných nebo žlučových konkrementů. Extrakorporální litotrypse byla na člověku poprvé provedena v únoru roku 1980 a rychle byla shledána velmi efektivní léčebnou metodou určenou k léčbě mnoha druhů konkrementů horních močových cest. Tato metoda využívá účinků rázových vln, které jsou generovány mimo tělo pacienta, a fokusační soustavou je veškerá energie těchto vln namířena přímo do konkrementu nacházejícího se uvnitř těla pacienta.

1.3.1. Fenomény

Typický tlakový pulz generovaný elektrohydraulickým litotryptorem zahrnuje počáteční krátkou a prudkou kompresivní tlakovou vlnu s tlakem okolo 40 MPa, následovanou negativním (tahovým) tlakem nižší amplitudy 10 MPa, celková doba trvání pulzu je 4 μ s.

Pro vysvětlení, jak rázové vlny litotryptoru drtí renální konkrementy, je navrhováno několik mechanismů: 1) Fenomén „spall“, 2) Fenomén „cavitation“, 3) Fenomén „squeezing“, 4) Fenomén „superfocussing“, 5) Fenomén „fatigue“, 6) Fenomén „layerseparation“.

Například fenomén „fatigue“, tedy únava, označuje proces, při němž vystavení konkrementu po sobě následujícím rázovým vlnám postupně rozšiřuje již existující defekty, dokud se konkrement nenaruší. Fenomén „cavitation“, tedy kavitace, označuje proces, při němž tažná komponenta rázové vlny způsobí vznik bublin, které se v tekutině kolem konkrementu, především na jeho čelní straně, nejprve zvětšují a potom prudce kolabují. Vznikající tryskání tekutiny narušuje povrch konkrementu a kolaps bublin také vytváří sekundární rázové vlny, které dále narušují již vytvořená oslabená

místa. A třetí příklad fenomén „squeezing“, tedy stlačení, označuje proces, při němž se rázové vlny šíří skrze a kolem konkrementu, odlišný tlak mezi konkrementem a tekutinou způsobí vyboulení a narušení konkrementu

Dle studií hrají významnou roli při drcení kamenů všechny mechanismy, a více či méně významně ovlivňují kvalitu výsledku drcení.[8]

1.3.2. Obecná stavba přístroje

Zařízení se sestává ze 4 součástí. První je generátor, který využívá různé principy generace RV. Druhou částí je fokusační systém, pomocí kterého je energie RV soustředěna do sekundárního ohniska. Třetí částí je mechanismus propojení pacienta s generátorem. A poslední částí přístroje je lokalizační systém, který slouží k lokalizaci a zaměření RV. Používá se UZ nebo RTG záření.[4]

1.3.3. Principy užívaných systémů při ESWL

V kapitole číslo 1.3.1. je detailně popsán proces, díky kterému dochází k fragmentaci na povrchu kamene a následnému rozrušování. Tato kapitola bude věnována 3 způsobům, kterými můžeme principiálně generovat rázovou vlnu:

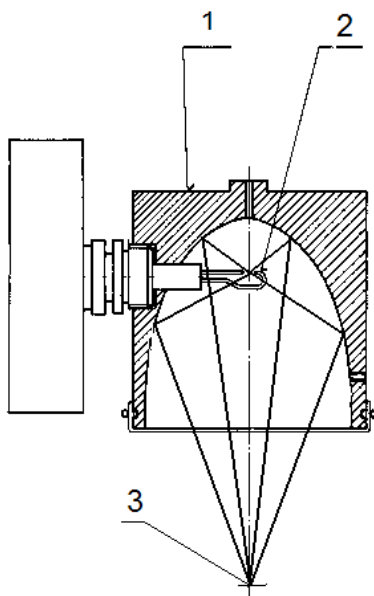
- 1) elektro-hydraulicky
- 2) piezoelektricky
- 3) elektromagneticky
- 4) energií laseru (Tomuto principu se v této práci blíže nevěnuji)

1.3.4. Elektrohydraulické systémy

Základním principem tohoto systému je generování rázové vlny v jiskřišti s odplyněnou vodou. Mezi hroty jiskřiště dochází k průrazu – ionizaci molekul vody. Vznikne plazma s vysokou teplotou, tím také vzniká velmi vysoký tlak. Pro přenos energie při destrukci je využíváno odrazů od vnitřních stěn reflektoru ve tvaru rotačního elipsoidu.

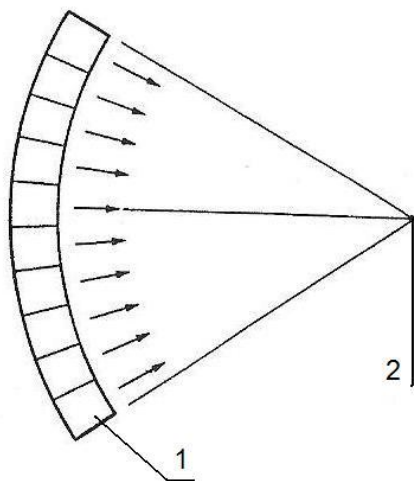
Celý systém je potom konstruovaný tak, že jiskřiště je umístěno v prvním ohnisku a konkrement v pacientově těle se nastaví do ohniska druhého. Optimální přenos energie rázové vlny je pak zajištěn vodním prostředím. Tlaky v zařízení se pohybují mezi 100–200 MPa. Tuto metodu lze použít k drcení konkrementů do maximální velikosti 20 mm.[5]

1-kovový reflektor, 2 – primární ohnisko (místo vzniku elektrického výboje), 3 – sekundární ohnisko



OBR. 26 SCHÉMA ELEKTROHYDRAULICKÉHO GENERÁTORU RÁZOVÝCH VLN

1.3.5. Piezoelektrické systémy



OBR. 27 SCHÉMA
PIEZOELEKTRICKÉHO GENERÁTORU
RÁZOVÝCH VLN

*1 – soustava piezoelektrických elementů, 2 -
ohnisko*

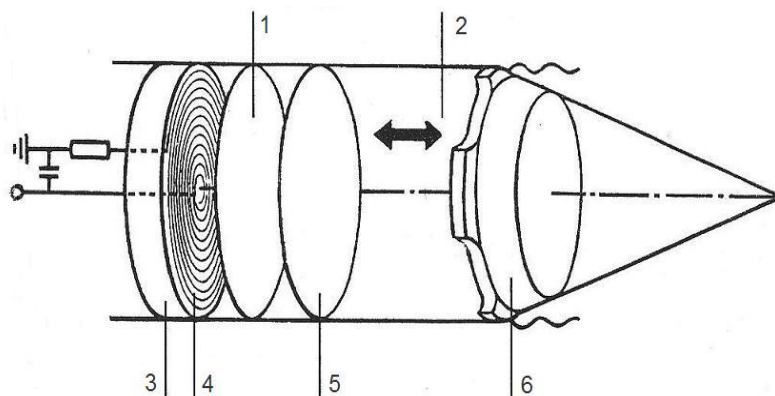
U těchto systémů ke generování rázové vlny využíváme stovek ultrazvukových měničů uložených na vnitřní ploše kulového vrchlíku. Synchronním buzením měničů fokusovaných do ohniska se získá tlakový impulz. U tohoto systému se dosahuje tlaků v hodnotách kolem 50–100 MPa a opakovací frekvence může být až 20 Hz. Zákrok, který je proveden tímto systémem je díky velké apertuře téměř bezbolestný, maximální velikost konkrementu, který může být takto destruován je jako v předchozím případě maximálně 20 mm. K průběžnému sledování procesu destrukce konkrementu je využíváno ultrazvukového zobrazovacího systému, který je umístěn v ose reflektoru.[5]

1.3.6. Elektromagnetické systémy

Rovinnou nebo akustickou vlnu lze také generovat pomocí kmitů kovové membrány, která přiléhá k ploché, nebo na válci umístěné cívce. Průchodem proudového impulsu cívkou působí na membránu tlak, který se přenáší do nad ní vodou vyplněného prostoru. Průměr membrány ve většině případů bývá 120 mm. Fokusaci vlny do ohniska se realizuje akustickou čočkou nebo parabolickým reflektorem. Tlak v ohnisku je nižší, jen kolem 20–27 MPa.[5]

1 - izolační fólie, 2 - voda, 3 - keramické dno, 4- elektrická cívka, 5 - kovová membrána,

6 - akustická čočka



OBR. 28 SCHÉMA ELEKTROMAGNETICKÉHO GENERÁTORU
S ROVINNOU MEMBRÁNOU

1.3.7. Fyzikální principy využívané ke generaci

Ke generaci fokusovaných rázových vln jsou využívány následující fyzikální principy:

1) *Silnoprůdný jiskrový výboj mezi hrotovými elektrodami*

Tento výboj vzniká v ohnisku dutiny kovového reflektoru. Jiskrový výboj je bodovým zdrojem silné, sféricky divergentní rázové vlny. Odrazem od stěny reflektoru je pak energie soustředěna do sekundárního ohniska, kam se umísťuje rázovaný objekt.

2) Mikrovýbuch třaskaviny

Je také zdrojem sféricky divergentní rázové vlny. Klinicky se tento princip nevyužívá.

3) Elektromagneticky buzený kmit

Tlakový impuls je fokusován pomocí akustické čočky. Životnost takového generátoru je poměrně nízká, přibližně 100-200 tisíc impulsů.

4) Synchronní kmit

Na vnitřní ploše kulového vrchlíku je rozmístěn velký počet piezoelektrických elementů, které vytvářejí sféricky konvergentní rázovou vlnu.

1.3.8. Nový způsob generace fokusované rázové vlny

Nový způsob generace rázových vln, který byl vyvinut na Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, je založen na princip mnohokanálového výboje v kapalině. Prostor mezi dvěma elektrodami je zaplněn kapalinou, která má zvýšenou elektrickou vodivost. Na první elektrodě ve tvaru požadované tlakové vlnoplochy se po připojení impulzního napětí začne generovat mnohokanálový elektrický výboj. Energie primární tlakové vlny vzniklé superpozicí mnoha kvazisférických vln je fokusační soustavou zaměřena do předem určeného místa – ohniska a cestou se transformuje na vlnu rázovou. K fokusaci rovinné vlny je použita akustická čočka, cylindrická divergentní vlna je fokusována parabolickým reflektorem. Popsaný způsob rovněž umožňuje generovat sféricky konvergentní rázové vlny. Při použití kladného napětí na vysokonapěťové elektrodě je účinnost generace tlakové vlny vyšší než při použití opačné polaritě napětí. [3,4]

Energie primární tlakové vlny vzniklé superpozicí mnoha kvazisférických vln je fokusační soustavou zaměřena do předem určeného místa – ohniska. K fokusaci rovinné vlny je použita akustická čočka, cylindrická divergentní vlna je fokusována parabolickým reflektorem. Popsaný způsob rovněž umožňuje generovat sféricky konvergentní rázové vlny. Při použití kladného napětí na vysokonapěťové elektrodě je účinnost generace tlakové vlny vyšší než při použití opačné polaroty napětí. [3,4]

1.3.9. Porovnání a výhody

V porovnání s elektromagnetickými membránovými generátory má výše uvedený typ generátoru značnou výhodu v tom, že časový průběh primární tlakové vlny zde není určen mechanickými vlastnostmi membrány, nýbrž pouze časovým průběhem výkonu ve výboji. Není zde rovněž nebezpečí destrukce membrány, ke které u elektromagnetických generátorů po jistém počtu rázů dochází. Vhodnou fokusační soustavou se energie primární tlakové vlny soustředí do předem určeného ohniska. Dále pak volbou amplitudy a časového průběhu primární tlakové vlny je možno dosáhnout stavu, kdy vlna zředění je v oblasti ohniska potlačena, nebo naopak stavu, kdy vlna zředění pokračuje v okolí ohniska kavitačního prahu a účinkem alespoň dvou rázových vln následujících po sobě v časech kratších než je doba akustického zklidnění prostředí je možno dosáhnout lokálního mechanického namáhání původně akusticky homogenního prostředí. [4]

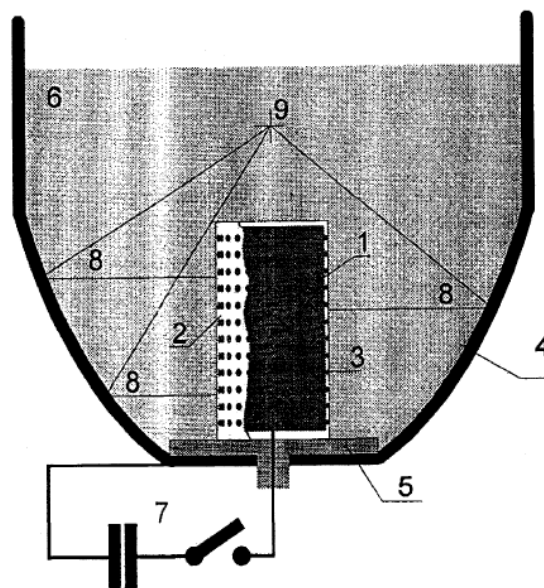
1.4. Nový generátor rázových vln AVČR

Na Ústavu fyziky plazmatu byl vyvinut nový zdroj, který generuje rázové vlny pomocí mnohokanálového výboje. Zde také probíhala hlavní část experimentu. V zásadě se jedná o generátor, který pracuje na principu kavitací a využívá dvou po sobě následujících vln, z nichž jedna vytváří nehomogenitu v původně akusticky homogenním prostředí, a druhá se na ní tlumí. Princip generace je založen na skutečnosti, že intenzita elektrického pole v těsné blízkosti elektrody vzrůstá a to tím, že se tato elektroda pokryje plynným nebo pevným dielektrikem. Zde se pak stýká materiál elektrody a dielektrika a jejich rozdílné dielektrické vlastnosti. Tato místa styku jsou označována jako trojné body. Vhodnou konstrukcí elektrody je pak možno dosáhnout vysoké hustoty trojných bodů a v souvislosti s tím i vysoké hustoty výbojových kanálů. A trojné body mají ještě jednu výhodu, tím, že je do jejich okolí soustředěno elektrické pole, se rozšiřuje rozsah použitelných napětí, při nichž nedochází ke vzniku nežádoucích jiskrových výbojů. [4]

1.4.1. Nový generátor – stavba

1 - kompozitní anoda, 2 - izolační vrstva, 3 - otevřené póry, 4 - reflektor, 5 - izolátor, 6 - prostor mezi elektrodami, 7 - impulzní zdroj, 8 - tlaková vlna, 9 - ohnisko

OBR. 29 SCHÉMA NOVÉHO GENERÁTORU RÁZOVÝCH VLN (VÁLCOVÁ ELEKTRODA)



Obrázek číslo 6 znázorňuje stavbu nového generátoru rázových vln. Přesná specifikace tohoto přístroje je uvedena v patentovém spise, který byl podán v roce 2000 na Úřad průmyslového vlastnictví pod číslem patentu 291158 a následně v roce 2002 byl patent zveřejněn, respektive v roce 2003 bylo patentu uděleno oznámení ve věstníku. Poté následovalo ještě několik vylepšení generátoru, které byla opět patentově zaevidována.

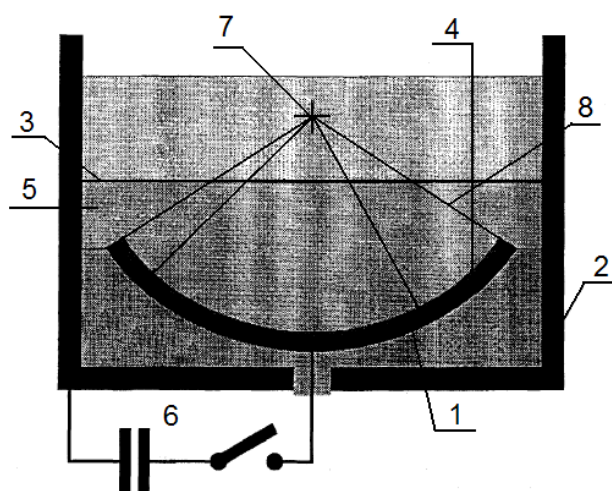
Na obrázku číslo 6 je náčrt generátoru s válcovou elektrodou. První (vysokonapětěová) elektroda (1) je tvořena kovovým válcem pokrytým dostatečně silnou izolační vrstvou (2) do níž jsou zapuštěny hroty (3) z vodivého materiálu tak, že izolační vrstvy nevyčnívají a jsou rozmístěny rovnoměrně po vnější ploše válce, ve vzdálenostech větších než je trojnásobek průměru hrotů (3). Hroty jsou vodivě spojené s první elektrodou 1 (kovovým válcem). Stěny reflektoru (4) tvoří druhou elektrodu výbojového obvodu. Prostor (5) mezi elektrodami je zaplněn kapalinou s elektrickou vodivostí větší než 5 mS/cm. Pokud je k elektrodám připojen impulzní zdroj, například kondenzátor, pak se předvýbojové proudy uzavírají pouze přes otevřené póry či čelní plochy hrotů. Tímto mechanismem vzniká nerovnoměrné rozložení těchto proudů, dochází k lokálnímu zvýšení intenzity elektrického pole na mez, která je dostatečná k iniciaci mnohokanálového výboje. Rychlý ohřev vody v okolí pórů, eventuálně hrotů (3) vede ke vzniku mnoha kvazisférických tlakových vln a jejich superpozicí vzniká cylindrická tlaková vlna (8), šířící se radiálně od první (vysokonapětěové)elektrody směrem ke stěnám nádoby reflektoru. Odrazem od stěny nádoby reflektoru je energie cylindrické tlakové vlny soustředěna do ohniska (9) paraboloidu. Během fokusace se tlaková vlna přetransformuje na vlnu rázovou.

Další modifikací nového generátoru je generátor s elektrodou ve tvaru kulového vrchlíku – obrázek číslo 7, jehož mechanismus je založen na vzniku mnohokanálového výboje jako v předchozím případě, rozdíl je ovšem v tom, že v případě kulového vrchlíku vzniká díky superpozici jednotlivých kvazisférických tlakových vln sféricky konvergentní tlaková vlna. Tato vlna se v průběhu fokusace transformuje na vlnu rázovou.[4,6]

Mezi výhody tohoto generátoru patří hlavně možnost ovlivnění jak amplitudy, tak i časového průběhů rázové vlny. Změny těchto dvou parametrů je možné provést buď volbou parametrů výbojového obvodu (napětí, indukčnost, kapacita kondenzátoru),

nebo změnou vodivosti kapaliny, která vyplňuje prostor mezi elektrodami. Díky těmto změnám lze získat takový stav, který způsobí v ohnisku a jeho okolí potlačení vlny zředění, což je například vhodné pro litotrypsi, nebo opačného stavu, který způsobí v ohnisku a jeho okolí překročení kavitačního prahu pro vlnu zředění.

Účinky kavitací tvořených přímo v ohnisku lze dosáhnout místního mechanického namáhání prostředí, které bylo původně akusticky homogenní. Tohoto jevu lze docílit i průchodem dvou rázových vln, které následují po sobě ve velmi krátkém intervalu, který je kratší než trvání akustického zklidnění prostředí. Experimentálně byla změřena tlaková amplituda. Dosahovala hodnoty okolo 90 MPa při napětí 25kV a podtlaková fáze s amplitudou kolem -25 MPa vytvářela kavitace. Rozměry ohniska v poloviční amplitudě tlaku jsou 2,5 x 32 mm pro oba generátory. [15]

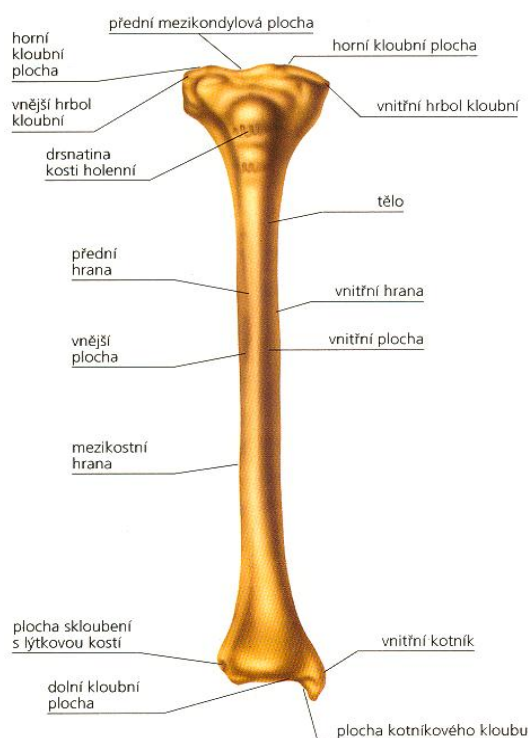


1 - kompozitní anoda, 2 - stěny nádoby, 3 - tenká fólie, 4 - izolační vrstva s otevřenými póry, 5 - prostor mezi elektrodami, 6 - impulzní zdroj, 7 - ohnisko, 8 - tlaková vlna

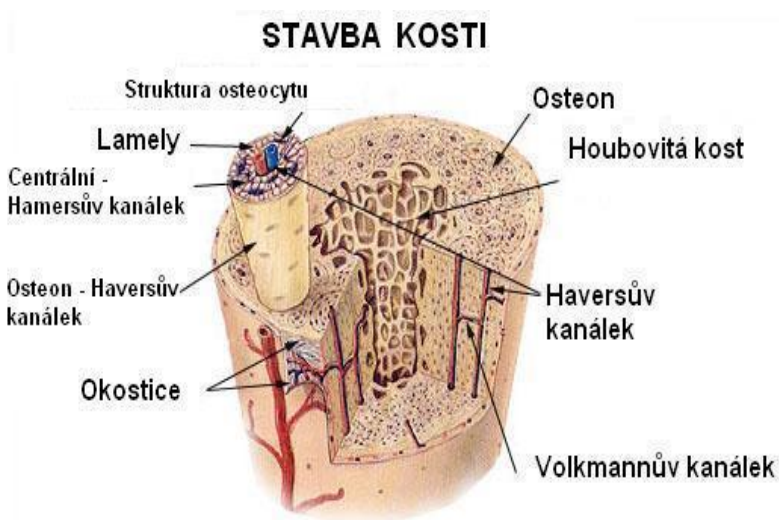
OBR. 30 SCHÉMA NOVÉHO GENERÁTORU
RÁZOVÝCH VLN (ELEKTRODA TVARU ČÁSTI
KULOVÉHO VRCHLÍKU)

1.5. Stavba a vývoj kosti

Každá kost je tvořena kostními buňkami osteocyty, fibrilami a mezibuněčnou hmotou, která obsahuje ústrojnou složku ossein, tvořenou komplexem kolagenních vláken. Mezibuněčná hmota dále obsahuje složku neústrojnou, jejíž složení je tvořeno převážně solemi vápníku (kalcium fosfátu a kalcium karbonátu). Na povrchu se nachází vazivový periost. Kost se vyvíjí v etapách, nejprve vzniká primární – vláknitá- fibrilární kost. Ta je postupně nahrazována kostí sekundární – lamelární. Harvesovy systémy, jak je struktura uspořádání sekundární kosti nazývána, vypadá tak, že mezibuněčná hmota a osteocyty jsou uloženy v koncentrických vrstvách, tzv. lamelách. Další objekty jsou tzv. stočené lamely, které mají podobu cylindrů zasunutých do sebe. Uprostřed každého takového sloupku cylindrů jde Harvesův kanálek, kterým prochází cévy.[16]



OBR. 31 DLOUHÁ KOST (HOLENNÍ)

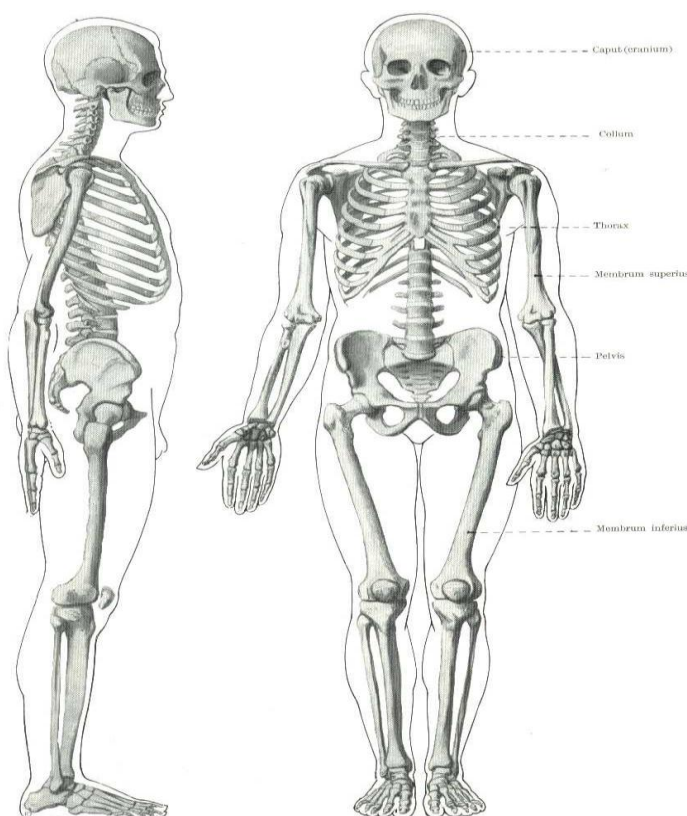


OBR. 32 STAVBA KOSTI

Primární kost má nižší mechanickou odolnost, obsahuje méně minerálů a kolagenní vlákna mají nepravidelné uspořádání. V lidském těle se vyskytuje v místech úponu šlach či hojení zlomeniny.

Sekundární kost je základem většiny kostí v dospělosti. Tato kost se vyskytuje jak na povrchu kosti jako kost kompaktní, jednak jako kost spongiózní, která je uvnitř kosti a vyskytuje se ve formě tzv. trámeček. Tyto trámečky jsou tvořeny lamelami a dle zatěžování se trámečky postupně přestavují. Na přestavbě kosti se pak podílejí dva druhy kostních buněk – osteoblasty a osteoklasty. Osteoblasty produkují mezibuněčnou hmotu a osteoklasty svými enzymy odbourávají hotovou kost. Spoluprací těchto buněk je kost neustále přestavována a tím se přizpůsobuje měnícím se zevním podmínkám.

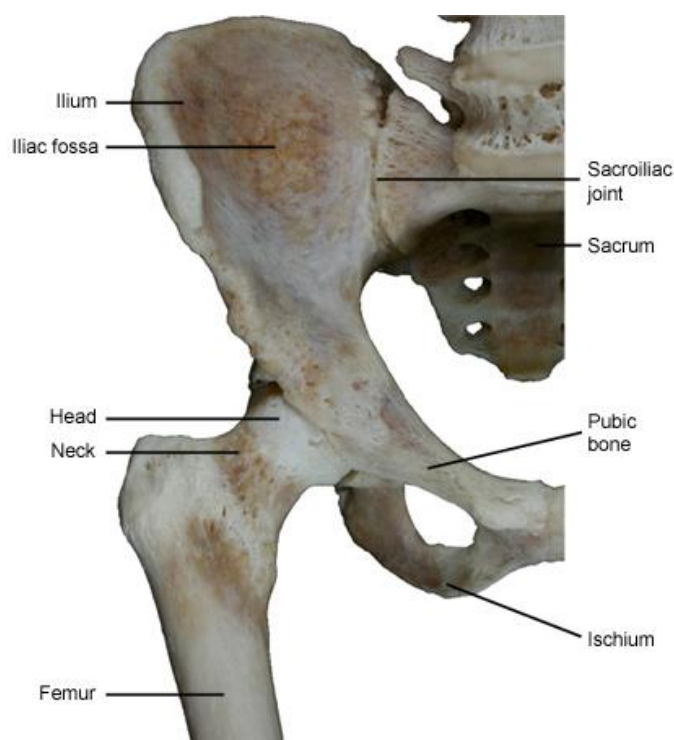
[16]



OBR. 33 KOSTRA ČLOVĚKA

1.5.1. Kloub kyčelní – Articulatio coxae

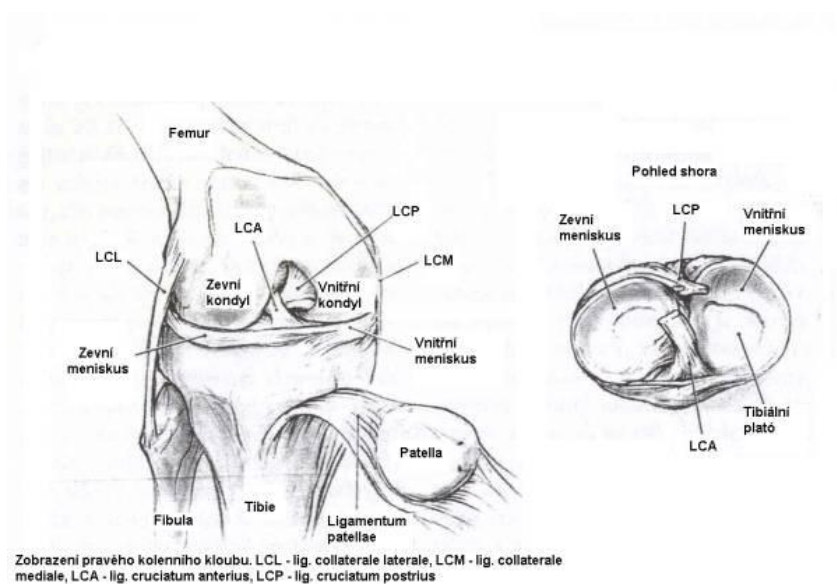
Kyčelní kloub je kulovitý, omezený. Hlavice femuru zapadá do hluboké jemky – acetabula. Kloubní pouzdro je velmi silné a dále je zesíleno třemi vazy – od kyčelní kosti jde na femur ligamentum ilio femorale, od stydké kosti ligamentum pubo femorale, od sedací kosti ligamentum ischio femorale. Uvnitř kloubu je uloženo ligamentum capitis femoris. U tohoto kloubu jsou možné extenze, flexe, abdukce, addukce, zevní a vnitřní rotace. Na tento kloub je přenášena váha celého lidského těla a proto tento kloub trpí největším opotřebením. [16, 17]



OBR. 11 KLOUB KYČELNÍ

1.5.2. Kloub kolenní – Articulatio genus

Kolenní kloub se řadí do skupiny kloubů složených, protože se v něm stýkají femur, tibie, patella a vazivově chrupavčité kloubní menisky. Hlavici kloubu tvoří mediální a laterální kondyl femuru a jamku mediální a laterální kondyl tibie. Mezi oba kondyly femuru a tibie jsou vloženy oválné, více otevřené meniskus medialis a meniskus lateralis. Ty spolu s kondyly tibie dotvářejí kloubní jamku. Patella je vnitřní plochou přivrácena do nitra kloubu, zevní plochou je pevně zavzata do šlachy čtyřhlavého svalu stehenního, která přechází do ligamentum patellae. Uvnitř kloubu probíhají dva silné, zkřížené vazy – přední a zadní. Kloubní dutina je ohraničena kloubním pouzdem, jehož vnitřní část tvoří synoviální výstelka. Tato výstelka je pokryta zevním vazivovým pouzdem. Po stranách patelly je synovie podložena tukovým polštářem. Z bočních stran je kloub zpevněn dvěma zevními kolaterálními vazy. U tohoto kloubu jsou možné extenze, flexe, při té je možná částečná rotace.[16,17]



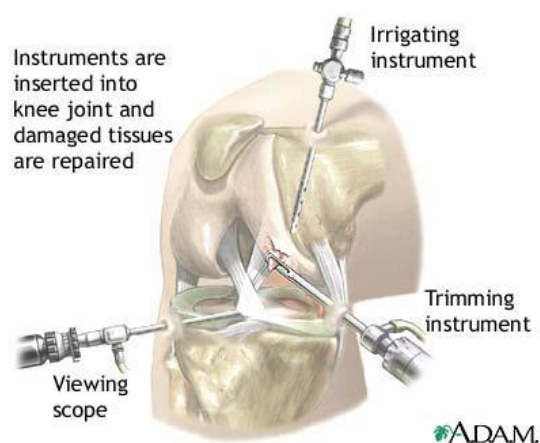
OBR. 34 KLOUB KOLENNÍ

1.5.3. Nejčastější operace na kloubech

Mezi nejčastější operační výkony na kloubech patří:

- Artroskopie – operace umožňující z minimálního přístupu optické vyšetření a vykonání nejrůznějších operačních výkonů. Co se týče například kolenního kloubu, tak nejčastějšími indikacemi pro provedení artroskopie jsou: parciální meniskektomie, sutury poraněného menisku, plastiky zkřížených vazů, foráže, mozaikové plastiky
- Artrotomie – otevření kloubu z různých přístupů, nejčastěji pomocí skalpelu. Tato metoda slouží pro provedení řady ortopedických operací, např. aloplastik nebo osteosyntéz
- Synovektomie – jedná se o chirurgické odstranění synoviální části kloubního pouzdra např. u revmatoidní artritidy
- Cheilotomie – jde o odstranění okrajových osteofytů pomocí Luerových kleští nebo dlátem, nebo shaverem u kloubní artrózy
- Artrodéza – ztužení kloubu po předchozí resekci kloubních ploch
- Resekce kloubu – odstranění obou kloubních ploch nejčastěji pro artrodézu nebo odstranění pouze jedné kloubní plochy např. hlavice femuru
- Totální náhrady – viz kapitola 6[18]

OBR. 35 GRAFICKÁ UKÁZKA POUŽITÍ
ARTROSKOPIE



1.6. Totální náhrady kloubů

Implantace totální náhrady kloubu je jednou z nejúčinnějších terapeutických metod v ortopedii. Pacienty postižené těžkými degenerativními změnami kloubu zbavuje bolesti, vrací jim soběstačnost a u mladších věkových skupin umožňuje plnou pracovní aktivitu i u fyzicky náročných povolání. Od zavedení této léčebné metody do široké klinické praxe v 60. letech minulého století je však provázena nutností reoperovat část pacientů zejména pro infekční komplikace nebo uvolnění implantátu. Masové rozšíření totální náhrady kloubů v posledních třech desetiletích vedlo k nárůstu počtu revizních operací a postupnému rozvoji revizní endoprotetiky jako samostatné disciplíny.[9]



OBR. 36 RENTGENOVÝ SNÍMEK IMPLANTOVANÉ
KYČELNÍ NÁHRADY

1.6.1. Historie chirurgie kyčelního kloubu

Nejstarší zaznamenané pokusy léčebné chirurgie kyčelního kloubu pochází z Německa. První operace, které se zabývaly nahrazováním kloubních hlavice, byly realizovány pomocí slonovinových implantátů. Od roku 1930 se používání umělých kyčelních implantátů stále více rozšiřovalo, využívaly se klouby vyrobené z oceli či chromu. Již v této době byly náhrady považovány za velmi výhodný postup například při rozsáhlých artritidách, ovšem stále měly několik nesporných nevýhod. Těmi byla například osteolýza či infekce. Osteolýza vznikala z důvodu užití teflonových spojů a tím pádem měla protéza velmi výrazně omezenou životnost. Infekce byla velkým problémem hlavně před příchodem antibiotik, ovšem i s nimi byly tyto operace vysoce rizikové.

John Charnley z Manchesterské Royal Infirmary v roce 1970 navrhl design moderní kyčelní náhrady. Ta se skládala ze 3 částí: (1) kovového (původně z nerezové oceli) femorálního komponentu, (2) acetabulárního komponentu s vysokou molekulovou hmotností, (3) speciálního kostního cementu. Pro více než dvě desetiletí Charnleyův model představoval nejpoužívanější systém na světě, který daleko předčil ostatní dostupné možnosti (jako McKee a Ring).

V posledním desetiletí bylo v celkovém procesu náhrady kyčelního kloubu a protézy dosaženo několik evolučních vylepšení. Mnoho kyčelních implantátů je nyní vyrobeno z keramického materiálu, nikoli z polyetylénu. Keramický materiál dle výzkumů 2-3 krát snižuje celkové opotřebení implantovaného kloubu. Některé implantáty jsou dnes nově implantovány bez cementu, díky tomu, že protéza je speciálně upravena porézní strukturou, do které kost vrostá. Bylo prokázáno, že takováto náhrada snižuje potřebu revize acetabulárních komponentů. Lékaři stále ještě často používají kostní cement pro femorální komponenty, který se však ukázal jako velmi úspěšný i po 35 letech klinických zkušeností, a to i z toho důvodu, že bezcementové implantáty lze užívat pouze v určitém spektru případů.[10]



OBR. 37 UMĚLÝ KYČELNÍ KLOUB

1.6.2. Příčiny revizních operací

Nejčastějšími příčinami reoperací totální náhrady jsou hlavně rozvoj infekce v oblasti arteficiálního kloubu a tzv. „aseptické uvolnění“ jedné či obou komponent náhrady. Méně častou příčinou revizního výkonu bývají periprotetická zlomenina femuru, nereponibilní či opakovaná luxace endoprotézy nebo rozlomení některé komponenty – například rozlomení keramické hlavice následkem pádu.

Nejzávažnější příčinou reoperace je infekční komplikace. Proti původnímu asi 9% výskytu z období počátků endoprotetiky kyčelního kloubu se v současnosti vyskytuje přibližně u 1 až 2% pacientů. Může být způsobena osídlením operační rány mikroorganismy v průběhu operace nebo v časném pooperačním období. Další možností je infikování povrchů komponent endoprotézy hematogenní cestou ze vzdáleného infekčního fokusu (chronická močová infekce, pyodermie, parodontální zánětlivá ložiska) či v průběhu bakteriémie provázející akutní bakteriální infekce (respirační, močové, gastrointestinální).

Nejčastější příčinou reoperací je „aseptické uvolnění“ některé komponenty náhrady z kostního lůžka. Vzniká jako důsledek reakce organismu na otěrové částice polyetylenu, který je hlavním materiálem pro výrobu jamek. Působením „tvrdšího“ materiálu hlavice (vyrobené nejčastěji ze slitin kovů) při vzájemném pohybu jejího povrchu a povrchu jamky dochází k „oddělování“ polyetylenových částic. Biologicky aktivní částice (menší než 7 mikrometrů) jsou fagocytovány a iniciují kaskádu reakcí, na jejímž konci je tvorba granulační tkáně (tzv. polyetylenový granulom), která se hromadí v oblasti kloubu a šíří do okolí. Její nárůst pak vede resorpci kostní tkáně na rozhraní cement-kost. Přesáhne-li tato resorpce hranici mechanické stability ukotvení komponenty v kosti, dochází ke změně jejího postavení, tedy migraci uvolněné komponenty.

Další závažnou příčinou vyžadující reoperaci je periprotetická zlomenina. Jedná-li se o dobře integrovanou femorální komponentu v kvalitní kosti femuru, vzniká tato zlomenina obvykle vysokoenergetickým úrazovým mechanismem (autonehoda, pád z výšky, pád břemena na postiženou končetinu). V případech, kdy působením zmíněného polyetylenového granulomu dojde k částečné resorpci kostní tkáně, může periprotetická zlomenina vzniknout i po banálním pádu na operovanou končetinu.

Rozlomení jamky, hlavice či femorální komponenty je nejčastěji způsobeno chybou materiálu a je v dnešní době naštěstí zřídka. Rozlomení hlavice, jak již bylo zmíněno, se týká pouze hlavic vyrobených z keramiky, k rozlomení kovových hlavic nedochází. [11,12,13]

2. Část experimentální

2.1. Cíl práce

Cílem této práce je pochopit základní vlastnosti rázových vln a prozkoumat možnosti jejich využití v běžné klinické praxi. Experiment zkoumá možnost narušení spojení kosti a kostního cementu rázovými vlnami. Míru takového narušení spojení jsme vyhodnocovali na experimentálních vzorcích. Použili jsme prasečí femur a na něm jsme ve třech experimentálních fázích zkoumali, zda může rázová vlna ovlivnit uvolnění kostního cementu, který byl aplikován při primoimplantaci kloubní náhrady. Očekávali jsme, že rázová vlna bude jednoznačně působit na spojení kostního cementu a kosti. Hlavní teze, řešené před experimentem byly:

- velikost
- způsob řezu
- tloušťka
- stáří kosti
- typ kostního cementu
- počty rázů
- vyhodnocování adekvátní a transparentní metodou.

Všechny tyto teze byly konzultovány s odborníky a dle výsledků našich či výsledků z jiných studií byly také přizpůsobeny parametry experimentu.

2.2. Materiál a metodika

Při přípravě pokusů bylo žádoucí správně promyslet a prokonzultovat veškeré postupy. Jako materiál jsme použili čerstvé prasečí femury, které byly cca 3-4 hodiny od usmrcení zvířete, a právě kvůli akustickým vlastnostem, které se post mortem velmi rychle a výrazně mění, jsme nemohli použít žádný způsob konzervace. Do proximálního femuru byl aplikován cement a následně byla kost rozřezána a exponována.

Rázová vlna byla vytvořena pomocí nového zdroje založeného na principu mnohokanálového výboje. Princip vzniku RV je popsán v odstavci 1.3.8. Elektrickou jiskrou v dutině tvaru rotačního půlelipsoidu, který po následném odrazu zkoncentruje vlnu do ohniska o přibližné velikosti 1, 5 cm³. Tlaky se v sekundárním ohnisku pohybují okolo 80 MPa. Plátek kosti byl speciálně mechanicky uchycen na přípravku, který je k rázování běžně používán, ovšem v našem případě s malou úpravou. Přesné zaměření bylo kontrolováno přes zaměřovací laser.

2.3. První pokus

1. pokus byl prováděn dne 18. 10. 2010. Odborně byly připraveny dva femury miniprasnic. Kosti byly po dobu 3 hodin od usmrcení prasnic uchovávány v lednici. (Příprava kostí na cementování a řezání probíhaly pod vedením MUDr. Jana Hacha z Ortopedické kliniky 1. LF UK a FN Motol). Kosti jsme zbavili zbylé tkáně, okostice, morku a dalších zbytných částí. Kost byla kompletně připravena velmi podobným způsobem, jakým se připravuje právě při operacích kloubů, ve kterých jsou vimplantovány endoprotézy. Následně byla kost vysušena a speciálním kostním cementem značky Refobacin Bone cement R. odborně zacementována. Celý proces

cementování proběhl poměrně rychle, jelikož stejně tak, jako je tomu v praxi, na zatuhnutí cementu stačí jen 8 minut. Kost byla plněna speciálně upravenou injekční stříkačkou pouze z jedné strany. Plnění bylo poměrně snadné vzhledem k velikosti kosti, která byla v průměru 3,5 cm. Po naplnění kosti došlo k silné tepelné reakci, která vždy doprovází interakci cementového prášku se speciální tekutinou přidávající se do prášku.

Použitý kostní cement Refobacin Bone cement R je německý výrobek, jehož balení obsahuje dva 40 gramové prášky a dvě 20 mililitrové ampule s kapalinou.

Přesné složení prášku je:

- 0.8 g gentamicinu sulfátu
- 33.6 g polymethylakrylátu
- 6.1 g zirkonia dioxidu
- 0.3 g benzoyl peroxidu

Přesné složení tekutiny je:

- 18.4 g methylmetakrylátu
- 0.4 g dimethyl-p-toluidin chlorofyl

Celý obsah je sterilně zabalen, musí být uchováván do teploty 25 stupňů Celsia ne však více.

Po několika dalších minutách bylo možné začít kosti řezat. Byla zvolena nejmenší možná velikost řezu, která musela být minimálně 7 mm. Užší řezy by dle výpočtů a jiných předchozích pokusů znamenaly rozpad kosti v generátoru a také by hrozilo rozlomení kosti v tenkých částech již při samotném řezání. I v klinické praxi – míněno například na patologii, se k řezání kostí používá klasická ruční pila na železo, ta byla použita i v našem případě.

Kost byla podélně uchycena do svěráku, a byla z ní odřezávána kolečka o již zmíněné tloušťce 7 mm. Z obou kostí jsme nakonec získali 18 kusů vzorků. Vzorky byly značeny čísla 1-8 bez tečky a 1-8 s tečkou. Vzorky bez tečky byly nerázované, ty s tečkou jsme následně rázovali. Další 2 vzorky X a X s tečkou byly zkušební. Po nařezání byly vzorky odvezeny na pracoviště Ústavu fyziky plazmatu Akademie Věd

ČR, kde byly vzorky rázovány na novém generátoru, který byl vyvinut na výše zmíněném pracovišti. Vzorky byly speciálně upevněny do držáku a přesně umístěné do ohniska, které je zaměřeno pomocí laseru.

Jelikož se jednalo o první pokus, nebylo přesně zřejmé, kolik rázů je třeba aplikovat, aby byl efekt změřitelný a na druhou stranu aby nedošlo k destrukci kostní tkáně. U prvního vzorku jsme se rozhodli pro čas 12 minut, což bylo 480 rázů. Po vyndání vzorku z držáku bylo jisté, že se počty rázů musí snížit, proto jsme se rozhodli, rázovat 2 vzorky pouze 120 ti rázy, 2 vzorky maximem 400 rázy a ostatní, tedy 4 vzorky 200 rázy. U střední skupiny rázované 200 rázy jsme očekávali nejlepší výsledky, protože kost nebyla nijak viditelně zdeformovaná, ovšem při pohledu skrz vzorek proti světlu bylo patrné, že došlo k uvolnění cementové výplně.

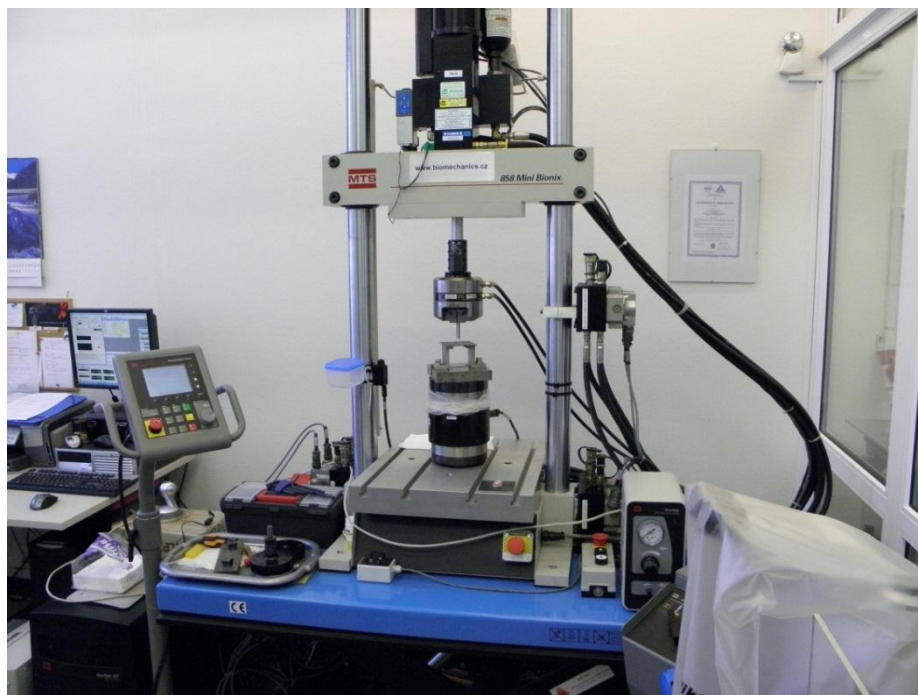
2.4. Měřicí systém

Přesný název měřicího systému, který byl použit pro naše měření, je MTS 858.2 Mini Bionix. Tento přístroj je schopen provozovat současně zatěžování osovou silou a momentem síly. U osově síly je rozsah systému 0 až 25 kN, u momentu síly 0 až 100 Nm. Nyní je také zcela unikátně vybaven speciálním simulátorem, který umožňuje zatěžování s 8 stupni volnosti (3 posuvy a 5 rotací). Tento simulátor je zcela ojedinělý v celé Evropě. Svojí konstrukcí je primárně určen k náročnému testování páteře. Úpravou konfigurace je však možno simulátor používat i k jiným experimentům, jakým bylo i testování pevnosti spojení cement-kost. Celý tento systém se vyznačuje několika přednostmi a také skvělými parametry, jako například:

- vysoce citlivé siloměry od firmy MTS s měřicími rozsahy ($\pm 10/100/500/25000$) N
- extenzometr s pracovními rozsahy $\pm 0,4/4$ mm, speciální bioextenzometr s rozsahem $\pm 25\%$, $l_0 = 5$ mm - pro měření délkové roztlačnosti; diametrální extenzometr s pracovním rozsahem ± 1 mm pro vzorky o průměru 3,6 až 13 mm - pro měření příčné deformace [19]

2.4.1. Uspořádání měřicí soustavy

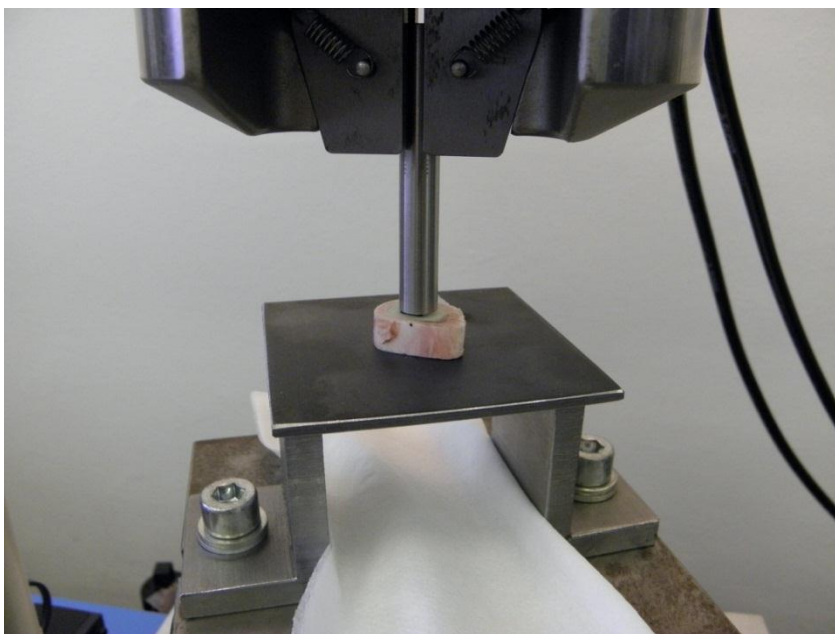
Celé testování probíhalo v laboratoři mechanických zkoušek (LMZ), která se nachází na pracovišti Českého vysokého učení technického v Praze, Fakultě strojní a je součástí Ústavu mechaniky, biomechaniky a mechatroniky. Laboratoř byla vybudována v rámci grantového projektu MŠMT ČR „Laboratoř biomechaniky člověka“ VS 96045 a výzkumného záměru „Transdisciplinární výzkum v oblasti biomedicínského inženýrství“ CEZ: J98210000012. [19]



OBR. 38 MĚŘÍCÍ SOUSTAVA

2.4.2. Obrazová ukázka testování na přístroji mts 858.2 bionix

OBR. 39 STLAČOVÁNÍ VZORKU



2.5. Vytlačování kostního cementu

Zatěžování probíhalo konstantní rychlostí až do uvolnění kostního cementu.

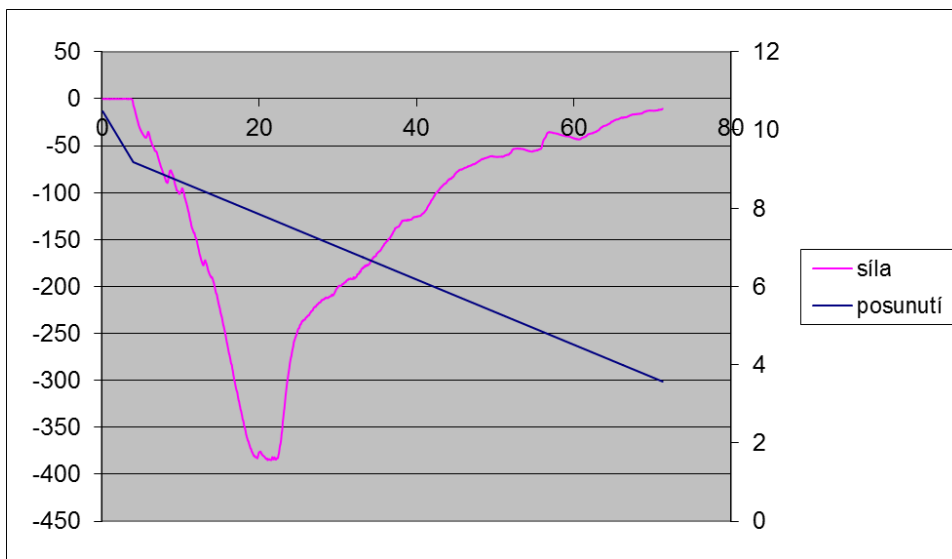
Rychlost zatěžování vzorku: 5 mm/min

Přesné vyhodnocení každého vzorku, rázovaného i nerázovaného je uvedeno v příloze. Zde jsem uvedla pouze pro demonstraci vzorek č. 1, na kterém je velmi dobře vidět rozdíl ve vytlačování rázovaného a nerázovaného vzorku.

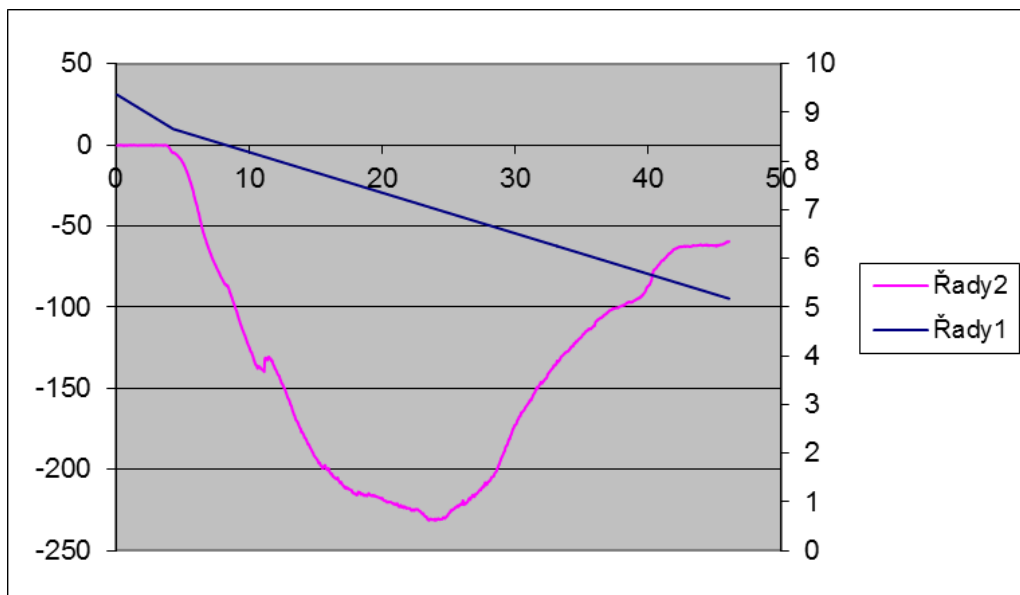
Na prvním grafu je rázovaný vzorek s označením 1 s tečkou

Na druhém grafu je stejně silný vzorek jako vzorek 1 s tečkou (v excelovském zpracování 1A), ovšem tento vzorek nebyl rázován a nese označení pouze 1 (v excelovském zpracování 1B).

Modrá křivka v grafu popisuje rychlost posunu tlakové hlavy. Růžová křivka zobrazuje průběh maximálního stlačení tlakovou hlavou na vzorek v čase.



Graf 5 RÁZOVANÝ VZOREK 1A – GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ



Graf 6 RÁZOVANÝ VZOREK 1B – GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Tabulka představuje výsledky měření rázovaných a nerázovaných vzorků. Zhodnocení osmi vzorků s různými počty rázů.

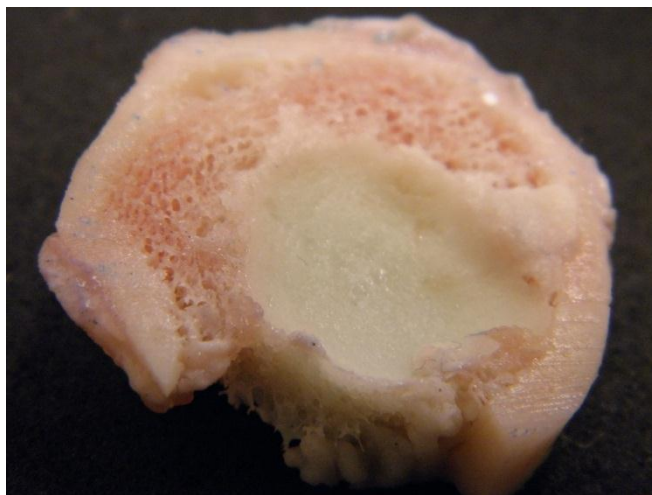
<i>Naměřené hodnoty maximálního tlaku: Hodnoty maximálního tlaku</i>			
Číslo vzorku	nerázovaný vzorek max. síla [N]	rázovaný vzorek max. síla [N]	počet rázů u ráz. vz.
1.	385,5	232	120
2.	573,2	535,9	200
3.	904,3	82,5	120
4.	402,8	173,3	200
5.	675,5	312,2	200
6.	569,3	36,9	200
7.	484,3	141,5	400
8.	712,8	177,1	400

Tabulka 1 naměřené hodnoty (pokus 1)

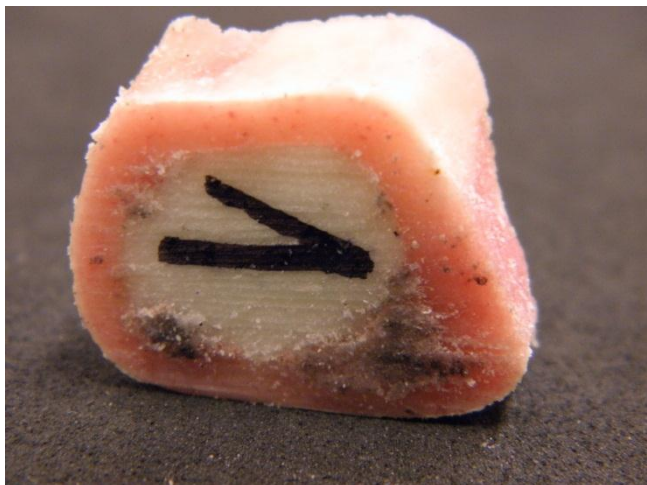
Obrazová ukázka rázovaných (nahore) a nerázovaných (dole) vzorků číslo 1 a 5. V případě vzorku č. 1 je názorně vidět mechanický vliv rázových vln na kostní tkáň a následná destrukce celé stěny. Takovýto vzorek je pro další měření nepoužitelný, s čímž bylo v experimentu počítáno a byly nařezány další stejně silné vzorky odpovídající si v páru. Na fotkách v případě vzorků č. 5 není vidět patrný rozdíl, ovšem při pohledu proti světlu byl rozdíl značný.



OBR. 42 RÁZOVANÝ VZOREK



OBR. 41 RÁZOVANÝ VZOREK



OBR. 21 NERÁZOVANÝ VZOREK



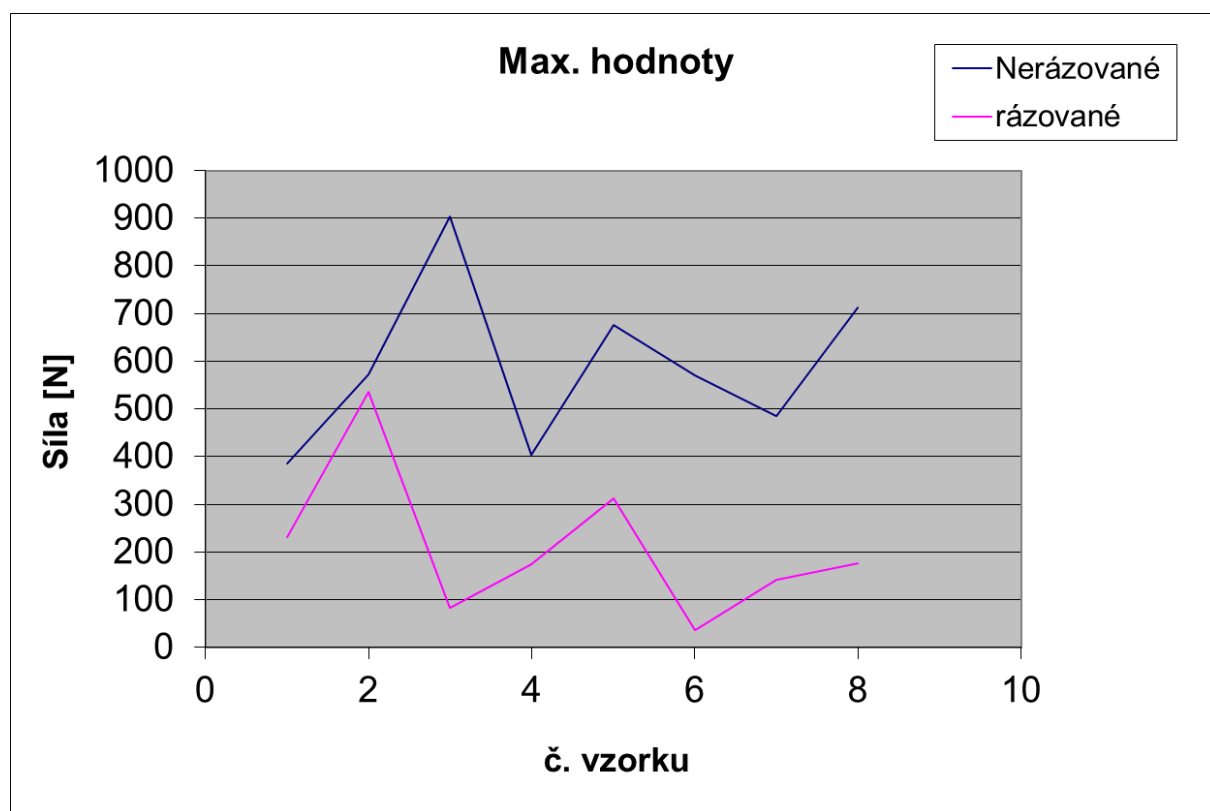
OBR. 40 NERÁZOVANÝ VZOREK

Pozn. Při měření nerázovaných vzorků došlo u vzorku č. 3-7 k roztržení kosti (viz obrázek 21). U kostí 1, 2 a 8 se cement podařilo vytlačit bez roztržení.

2.5.1. Výsledný graf 1. pokusu

Na grafu č.3 je uvedeno konečné zhodnocení měření. Z naměřených hodnot je vidět, že rázované vzorky potřebovaly nižší sílu k vytlačení kostního cementu z vnitřku kosti.

Modrá křivka v grafu popisuje sílu v Newtonech, která byla zapotřebí u jednotlivých nerázovaných vzorků k protlačení cementové části z kosti. Růžová představuje totéž, ovšem v případě vzorků rázovaných.



Graf 7 maximální naměřené hodnoty

2.5.2. Zhodnocení 1 pokusu, předpokládané hypotézy

1. pokus dopadl dle očekávání. Ověřovali jsme hypotézu, že rázová vlna dokáže narušit spojení kosti a kostního cementu. Dle výsledků měření můžeme s touto hypotézou souhlasit a můžeme říci, že pokud byl vzorek kosti s kostním cementem rázován, tak síla potřebná k vytlačení cementu zevnitř kosti byla v porovnání s nerázovanými vzorky menší. Samozřejmě je mnoho okolností, jako například tvar kosti či typ cementové výplně, které mohou výsledky částečně ovlivnit. Naše pokusy byly prováděny za stejných podmínek, stejná cementová výplň, z pochopitelných důvodů nebyly úplně identické kosti, což se nám také na závěr projevilo i na výsledcích, hlavně co se týče pevnosti kostí při měření, protože u kostí s tenčím krajem v prvním pokusu nám některé vzorky popraskaly.

2.6. Druhý pokus

Při druhém pokusu byly použity větší kosti. Naši snahou bylo, aby kosti byly stejně čerstvé, jako při prvním pokusu. To se nám podařilo a doba do zpracování kostí post mortem se pohybovala okolo 4 hodin od doručení do laboratoře. Kost byla poté očištěna, extrahovány dřevěné části, vysušena a naplněna cementem stejné značky Refobacin Bone cement R. Následně byly kosti stejným způsobem jako v prvním případě nařezány a odvezeny na rázování na Ústav fyziky plazmatu Akademie Věd ČR. Zde jsme zhodnotili výsledky prvního pokusu a rozhodli jsme se, veškeré vzorky, kterých bylo tentokrát 14, rázovat konstantní hodnotou 200 rázů na každý vzorek.



OBR. 43



OBR. 44 OČIŠTĚNÉ KOSTI PRASNIC ZBAVENÉ KLOUBNÍCH HLAVIC

Na obrázcích 22 a 23 jsou ukázány kosti prasnice, které byly použity při druhém pokusu. Kostí jsou zbaveny kloubních hlavic, kostní dřeně, okostice, očištěny a vysušeny. Jak je vidět na obrázku, kosti nemají velký průměr a dutina kosti je poměrně dosti úzká. Proto plnění kosti cementem probíhá speciálně upravenou injekční stříkačkou. Tento postup je však běžně aplikován při ortopedických operacích endoprotetického typu.

2.6.1. Vytlačování kostního cementu

Tabulka představuje výsledky měření rázovaných a nerázovaných vzorků. Zhodnocení čtrnácti vzorků se stejnými počty rázů. V případě vzorku 4-7 došlo k rozpadu kosti.

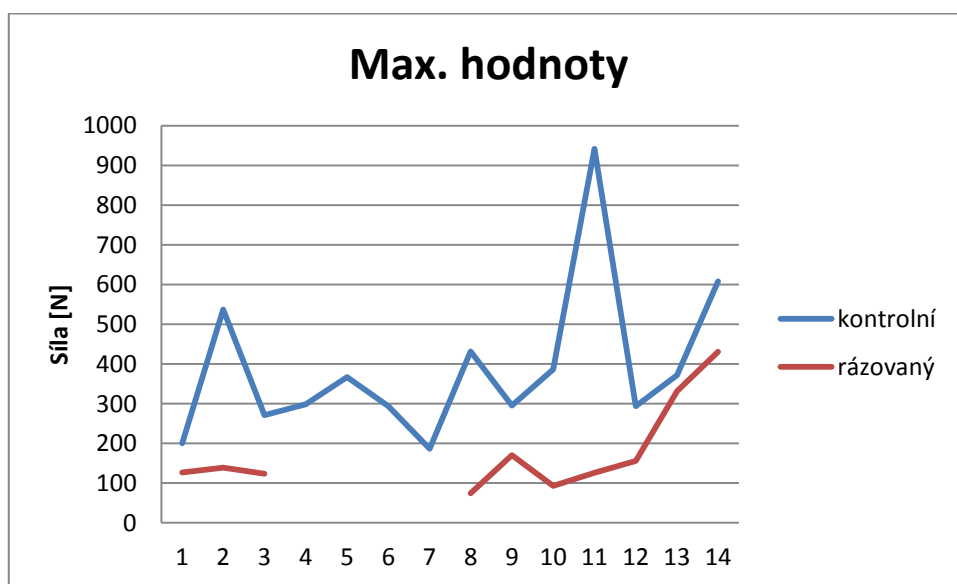
Tabulka 2 naměřené hodnoty (pokus 2)

<i>Naměřené hodnoty maximálního tlaku: Hodnoty maximálního tlaku</i>			
Číslo vzorku	nerázovaný vzorek max. síla [N]	rázovaný vzorek max. síla [N]	počet rázů u ráz. vz.
1.	199,8	126,7	200
2.	537,3	138,5	200
3.	271,1	123,6	200
4.	298,2		200
5.	366,8		200
6.	293,6		200
7.	186,3		200
8.	431,6	74,1	200
9.	295,4	169,9	200
10.	386,4	92,6	200
11.	941,8	125,7	200
12.	294	156,1	200
13.	371,8	331,1	200
14.	607,9	431	200

Pozn. Vzorky číslo 4 – 7 praskly při rázování. Nešlo tedy měřit hodnotu tlaku.

2.6.2. Výsledný graf 2. pokusu

Na grafu 4 je graficky vykresleno konečné zhodnocení druhého měření. Modrá křivka představuje opět sílu vynaloženou měřícím přístrojem k vytlačení cementu z nerázovaných vzorků, červená z rázovaných. Z naměřených výsledků opět vyplývá, že rázované vzorky potřebovaly nižší sílu k vytlačení kostního cementu z vnitřku kosti.



Graf 8 maximální naměřené hodnoty

2.6.3. Zhodnocení 2. pokusu

Vzhledem ke skutečnosti, že již při rázování 4 vzorky praskly, k měření zbylo jen 10 vzorků. Z grafu č. 4 - maximálních hodnot je však poměrně zřetelně vidět podobný rozdíl, jako u prvního pokusu. Rázované vzorky bylo možné vytlačit mnohem menšími silami, než tomu bylo u vzorků nerázovaných. Tento druhý pokus je názornější, vzhledem ke stejnému počtu rázů u všech vzorků. Příčiny, které u vzorků 4-7 vedly k rozpadu kosti, nám nejsou známe.

2.7. Třetí pokus

Provedli jsme ještě třetí pokus, ale výsledky byly ovlivněny chybou při přípravě vzorků. Z důvodů modifikovanému postupu přípravy došlo k chybě, která se projevila rozdílnou kvalitou spojení kosti a cementu.

Vzorky jsme i přes tuto skutečnost rázovali na Akademii věd a měřili v laboratoři fakulty ČVUT. Bylo však zřejmé, že výsledky měření nemůžeme považovat za směrodatné a proto vyhodnocení a grafy z tohoto pokusu zde neuvádím. Bylo zajímavé, že i přes tuto chybu vycházely výsledky opět ve prospěch rázovaných vzorků.

3. Diskuse

Ultrazvuk je již mnoho desítek let neopomenutelnou vyšetřovací i terapeutickou metodou, velmi hojně využívanou ve zdravotnictví, v rehabilitaci a nově i v estetické medicíně. Objev rázových vln znamenal velký posun kupředu. Rázové vlny se několik let pouze testovaly na zvířatech, než se před 25 lety začaly běžně využívat k léčbě ledvinových a žlučových kamenů. V České republice se podařilo vyvinout funkční litotryptor, který využíval elektrohydraulický generátor popsany v této práci. Zásahu na vývoji, stavbě a uvedení do praxe měli vědci z Ústavu fyziky plazmatu AVČR ve spolupráci s 1. interní klinikou I.LF UK v Praze.

Existuje několik směrů, kterými se ubírají úvahy o využití RV. Jednou z oblastí, kde by se dala RV využít je léčba nádorových onemocnění. Při experimentech v této oblasti se využívají jak běžné generátory rázových vln, tak i nový zdroj, který je založen na principu mnohokanálového výboje na povrchu kompozitní anody. Tento nový zdroj má výhodu v tom, že lze velmi dobře nastavit amplitudu i časový průběh vlny. Jeden z typů kompozitní elektrody umožňuje generovat dvě rázové vlny s krátkým časovým zpožděním a využívat tak jejich interakce, kdy druhá vlna vstupuje do prostředí s akustickými nehomogenitami, které vytvoří první vlna. Nedílnou součástí těchto interakcí jsou také kavitace.

Další oblast zájmu vede k léčbě ortopedických potíží a možnému využití v invazivní ortopedii. RV je dnes už běžně využívána jako rehabilitační metoda, která velmi dobře pomáhá při hojení po úrazech, lokálně prokrvuje cílené místo a značně tak urychluje například pooperační nebo poúrazovou léčbu. Již nyní je však odborníkům zřejmé, a dokazují to i stále častější experimenty z této oblasti, že využití RV, obzvláště pak nového zdroje, má značnou budoucnost a rozhodně je velmi výhodné se této oblasti nadále věnovat.

4. Závěr

V této bakalářské práci jsem se věnovala rázovým vlnám, mechanismům jejich vzniku a možnému využití. Jedním z cílů, které jsme si stanovili s vedoucím této práce, bylo detailně se seznámit s přístroji a s generátory rázových vln. Hlavně pak s novým zdrojem, který je založený na principu generování rázových vln pomocí mnohokanálového výboje. Tento typ generátoru používám v experimentální části práce.

Dalším cílem bylo experimentálně zjistit, jak působí rázová vlna na spojení kosti a kostního cementu, a jestli dokáže toto spojení narušit. Původně jsme ještě chtěli srovnávat účinky nového zdroje RV a litotryptoru s elektrohydraulickým zdrojem, který se používá v klinické praxi. Jiné současně prováděné pokusy však ukázaly, že rázová vlna generovaná novým zdrojem je účinnější. Bylo by tedy zbytečné provádět takové srovnání znovu. Proto jsme se rozhodli experimenty na litotryptoru s elektrohydraulickým generátorem vůbec neprovádět a místo toho provést několik experimentů pomocí nového zdroje RV.

Výsledky jednotlivých experimentů ukazují, že síly potřebné k vytlačení kostního cementu z kosti jsou u rázovaných vzorků menší. RV by tedy mohla být řešením při složité extrakci původních kloubních náhrad při reoperacích. Sama jsem měla možnost se v rámci své bakalářské práce zúčastnit reoperace kyčelní náhrady, a bylo evidentní, že operatéři by přivítali nějakou technickou novinku, která by jim ulehčila extrakci původního dřívku ze stehenní kosti. Zároveň by to jistě uvítal i pacient, který by měl mnohem menší operační ránu, a tudíž snadnější rekonvalescenci.

Rozhodně mě tato práce a experimenty velmi obohatily a je dalším cílem pokračovat v těchto experimentech, měnit měřicí metody či typy vzorků a idealizovat proces pro použití v klinické praxi.

5. Literatura

- [1] [Http://cs.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1zov%C3%A1_vlna](http://cs.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1zov%C3%A1_vlna) [online]. 2008, 26. 2. 2011 [cit. 2011-04-11]. Rázová vlna. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1zov%C3%A1_vlna>.
- [2] WILBERT, D. M. A comparative review of extracorporeal shock wave generation.. BJU-Int. . 2002, vol. 90, no. 5, s. 507-511.
- [3] COLEMAN, A.J., SAUNDERS, J.E. A review of the physical properties and biological effects of the high amplitude acoustic fields used in extracorporeal lithotripsy. Ultrasonics. 1993, vol. 31, no. 2, s. 75-89.
- [4] BENES JIRI (CS); ŠUNKA PAVEL (CS); (+3).Způsob generace fokusované rázové vlny elektrickým výbojem v kapalině a zařízení k provádění tohoto způsobu. Česká republika. Patentový spis. 2002-08-14
- [5] ROZMAN, Jiří, et al. ELEKTRONICKÉ PŘÍSTROJE V LÉKAŘSTVÍ. Praha : Academia, 2006. Systémy ESWL, s. 397.
- [6] ŠUNKA, P., et al. Potential applications of pulse electrical discharges in water. Acta physica slovaca. 2004, vol. 54, no. 2, s. 135-145.
- [7] ŠUNKA, Pavel. Impulzní elektrické výboje ve vodě a jejich využití v ekologii a medicíně. Dostupný z WWW: <<http://www.otevrena-veda.cz/ov/users/Image/default/C1Kurzy/NH2006pdf/8.pdf>>.
- [8] LINGEMAN, James E. Současnost extrakorporální litotrypse. *Urologické listy*. 2004, 2, s. 5-11.

- [9] *Klinikazdravi.cz* [online]. 2008-07-04 [cit. 2011-04-17]. Endoprotéza kyčelního kloubu. Dostupné z WWW: <<http://www.klinikazdravi.cz/novinky/operace-a-zakroky/endoproteza-kycelniho-klubu/>>.
- [10] *Technika-na-blogu.cz* [online]. 2010-06-10 [cit. 2011-04-17]. Historie chirurgie kyčelního kloubu. Dostupné z WWW: <<http://www.technika-nablogu.eu/clanky/strucna-historie-chirurgie-kycle/>>.
- [11] DŽUPA, Valér. Revizní endoprotetika kyčelního kloubu. *SANQUIS*. 2006, 46, s. 24-29.
- [12] BEK, J., VAVŘÍK, P., LANDOR, I.: Hodnocení přežití náhrady kolenního kloubu Walter- Motorlet - dlouhodobé výsledky. *Acta Chir. orthop. Traum. Čech.*, 72: 221-227, 2005.
- [13] HOFMANN, S.: Revision surgery in total knee arthroplasty. *Acta Chir. orthop. Traum. Čech.*, 71, Suplementum 1, Abstrakt book CEOC 2004.
- [14] STELMASHUK, V., ŠUNKA, P. Mutual interaction of two shock waves with a different time delay. *Czechoslovak Journal of Physics*. 2006, Vol. 56, s. B396-B400. Dostupný z WWW: <<http://www.springerlink.com/content/ap15j125444350j6/>>.
- [15] ŠUNKA, P., et al. Potential applications of pulse electrical discharges in water. *Acta physica slovac*. 2004, vol. 54, no. 2, s. 135-145.
- [16] FENEIS, Heinz. *Anatomický obrazový slovník*. Praha : Grada Publishing, 1996. 455 s.
- [17] NAŇKA, Ondřej; ELIŠKOVÁ, Miloslava; ELIŠKA, Oldřich. *Přehled anatomie*. Praha : Galén, 2009. 415 s.
- [18] KOUDELA, Karel , et al. *Ortopedie*. Praha : Karolinum, 2003. 281 s.

[19] BOUDA, Tomáš; VONDROVÁ, Jana. *Laboratoř biomechaniky člověka* [online]. 2008 [cit. 2011-04-21]. Laboratoř mechanických zkoušek. Dostupné z WWW: <<http://www.biomechanika.cz/departments/19>>.

6. Zdroje obrázků

OBR. 45 ZÁVISLOST TLAKU UZ VLNY NA ČASE

[1] <http://www.med.muni.cz/~vmornst/ultrazv.htm>

OBR. 46 ZÁVISLOST TLAKU R VLNY NA ČASE

[2] <http://www.med.muni.cz/~vmornst/ultrazv.htm>

OBR. 47 SCHÉMA ELEKTROHYDRAULICKÉHO GENERÁTORU RÁZOVÝCH VLN

[3] BENES JIRI (CS); ŠUNKA PAVEL (CS); (+3). Způsob generace fokusované rázové vlny elektrickým výbojem v kapalině a zařízení k provádění tohoto způsobu. Česká republika. Patentový spis. 2002-08-14

OBR. 48 SCHÉMA PIEZOELEKTRICKÉHO GENERÁTORU RÁZOVÝCH VLN

[4] BENES JIRI (CS); ŠUNKA PAVEL (CS); (+3). Způsob generace fokusované rázové vlny elektrickým výbojem v kapalině a zařízení k provádění tohoto způsobu. Česká republika. Patentový spis. 2002-08-14

OBR. 49 SCHÉMA ELEKTROMAGNETICKÉHO GENERÁTORU
S ROVINNOU MEMBRÁNOU

[5] BENES JIRI (CS); ŠUNKA PAVEL (CS); (+3).Způsob generace fokusované rázové
vlny elektrickým výbojem v kapalině a zařízení k provádění tohoto způsobu.
Česká republika. Patentový spis. 2002-08-14

OBR. 50 SCHÉMA NOVÉHO GENERÁTORU RÁZOVÝCH VLN
(VÁLCOVÁ ELEKTRODA)

[6] BENES JIRI (CS); ŠUNKA PAVEL (CS); (+3).Způsob generace fokusované rázové
vlny elektrickým výbojem v kapalině a zařízení k provádění tohoto způsobu.
Česká republika. Patentový spis. 2002-08-14

OBR. 51 SCHÉMA NOVÉHO GENERÁTORU RÁZOVÝCH VLN
(ELEKTRODA TVARU ČÁSTI KULOVÉHO VRCHLÍKU)

[7] BENES JIRI (CS); ŠUNKA PAVEL (CS); (+3).Způsob generace fokusované rázové
vlny elektrickým výbojem v kapalině a zařízení k provádění tohoto způsobu.
Česká republika. Patentový spis. 2002-08-14

OBR. 52 DLOUHÁ KOST (HOLENNÍ)

[8]

http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://www.giobio.ic.cz/obrazky/clovek/clovek/kost/holenni_kost.png&imgrefurl=http://www.giobio.ic.cz/obrazky/clovek/clovek.htm&usg=__tmNMfx8_c2bBout53pyfS_qJG5A=&h=721&w=474&sz=175&hl=cs&start=0&sig2=TFM_Tlr0SLead5KNR1DcNg&zoom=1&tbnid=R2YL2pJzQRae2M:&tbnh=148&tbnw=94&ei=GZ6tTaXfCYndtAa2h63XDA&prev=/search%3Fq%3Dkost%26um%3D1%26hl%3Dcs%26sa%3DN%26biw%3D1280%26bih%3D616%26tbn%3Disch0%2C19&um=1&itbs=1&iact=hc&vpx=1057&vpy=209&dur=1361&hovh=277&hovw=

182&tx=142&ty=149&oei=GZ6tTaXfCYndtAa2h63XDA&page=1&ndsp=19&ved=1t:429,r:12,s:0&biw=1280&bih=616

OBR. 53 STAVBA KOSTI

[9] http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://www.bezeckaskola.cz/files/580-Vb8-stavba-kosti.jpg&imgrefurl=http://www.bezeckaskola.cz/clanek-150-cojetokostjaksetvorijakjinaszivotnistylmori.html&usg=__3oQn5ZKUsw1L9maAZ82w_enSRrE=&h=300&w=520&sz=30&hl=cs&start=0&sig2=0lTUxa-joHeXhYE36c0VCg&zoom=1&tbnid=nVCPLWbrZ5sSDM:&tbnh=108&tbnw=188&ei=A5yhTcmLDYOv8gOD78GwAw&prev=/images%3Fq%3Dstavba%2Bkosti%26hl%3Dcs%26biw%3D1280%26bih%3D616%26gbv%3D2%26tbn%3Disch&itbs=1&iact=rc&dur=396&oei=q5uhTYTBBZOr8QP3oMSoAw&page=1&ndsp=23&ved=1t:429,r:1,s:0&tx=96&ty=62

OBR. 54 KOSTRA ČLOVĚKA

[10] http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://www.gjavsnv.edu.sk/~83wallach/obrazky/kostra.jpg&imgrefurl=http://www.gjavsnv.edu.sk/~83wallach/index.html&usg=__qAkruB9M6Rnuhv95yvaPNtAFwBs=&h=1200&w=853&sz=99&hl=cs&start=0&sig2=Lsv_P9bxUQRBCma1-Hn5rA&zoom=1&tbnid=K43T03r72llZ_M:&tbnh=139&tbnw=99&ei=A5yhTcmLDYOv8gOD78GwAw&prev=/images%3Fq%3Dstavba%2Bkosti%26hl%3Dcs%26biw%3D1280%26bih%3D616%26gbv%3D2%26tbn%3Disch0%2C152&itbs=1&iact=rc&dur=439&oei=q5uhTYTBBZOr8QP3oMSoAw&page=1&ndsp=23&ved=1t:429,r:19,s:0&tx=38&ty=85&biw=1280&bih=616

OBR. 55 KLOUB KYČELNÍ

[11] http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://www.virtualmedicalcentre.com/uploads/VMC/DiseaseImages/2660_Hip_femur_pub_72res_450.jpg&imgrefurl=http://www.virtualmedicalcentre.com/diseases.asp%3Fdid%3D325%26title%3DHip-

pain&usg=__6JQKakpAw2t4XKrZmcMXbWrza20=&h=450&w=413&sz=113&hl=cs
&start=171&sig2=x

OBR. 56 KLOUB KOLENNÍ

[12]http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://www.hc-vsetin.cz/ftk/semi/baka_marta_soubory/image005.jpg&imgrefurl=http://www.hc-vsetin.cz/ftk/semi/baka_marta.htm&usg=__M1gKtOPg6DFAzVGW_uIaRB7XiC8=&h=435&w=605&sz=30&hl=cs&start=0&sig2=XkiiPzsO1HYCt3ipS7Y_tA&zoom=1&tbnid=4ggjW1PxkoABIM:&tbnh=155&tbnw=258&ei=_8-aTePMG5T-4wbBi8H-Bg&prev=/images%3Fq%3Dkolenn%25C3%25AD%2Bkloub%26um%3D1%26hl%3Dcs%26sa%3DN%26biw%3D1280%26bih%3D616%26tbn%3Disch&um=1&itbs=1&iact=hc&vpx=852&vpy=250&dur=405&hovh=190&hovw=265&tx=88&ty=112&oei=_8-aTePMG5T-4wbBi8H-Bg&page=1&ndsp=18&ved=1t:429,r:10,s:0

OBR. 57 GRAFICKÁ UKÁZKA POUŽITÍ ARTROSKOPIE

[13]
http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://www.uhseast.com/ADAM/graphics/images/en/1063.jpg&imgrefurl=http://www.uhseast.com/ADAM/Hie%2520Multimedia/2/1063.htm&usg=__q2cfbdmt4qHIefw7RLuv6ynXz0w=&h=320&w=400&sz=18&hl=cs&start=0&sig2=-v8Cyq3JsnZakdbr0zOsBw&zoom=1&tbnid=sIyjs8IajHlcXM:&tbnh=141&tbnw=176&ei=xp6hTdrVloio8QOHktioAw&prev=/images%3Fq%3Dartroskopie%26hl%3Dcs%26biw%3D1280%26bih%3D616%26gbv%3D2%26tbn%3Disch&itbs=1&iact=rc&dur=586&oei=f56hTbvPHsq8gPhvpGoAw&page=1&ndsp=18&ved=1t:429,r:5,s:0&tx=98&ty=85

OBR. 58 RENTGENOVÝ SNÍMEK IMPLANTOVANÉ KYČELNÍ NÁHRADY

[14]
<http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://img.mf.cz/103/759/healthcare.com.jpg&imgrefurl=http://www.zdn.cz/denni-zpravy/z-domova/chteji-velke-operace-pro-pojistence-vzp->

453170&usg=__nU6PH1fBCf9xagjWSqMTi7WzbyU=&h=226&w=320&sz=8&hl=cs
&start=18&sig2=MA3oDX1y5IR1GK0-SkV8-g&zoom=1&tbnid=_D7rdbFjT-
3oxM:&tbnh=141&tbnw=172&ei=KRGwTcjUC-ed4Aak-
tjeCw&prev=/search%3Fq%3Dky%25C4%258Deln%25C3%25AD%2Bn%25C3%25A
1hrada%26hl%3Dcs%26biw%3D1280%26bih%3D616%26gbv%3D2%26tbm%3Disch
0%2C437&itbs=1&iact=hc&vpx=983&vpy=184&dur=31&hovh=180&hovw=256&tx=
183&ty=111&page=2&ndsp=18&ved=1t:429,r:5,s:18&biw=1280&bih=616

OBR. 59 UMĚLÝ KYČELNÍ KLOUB

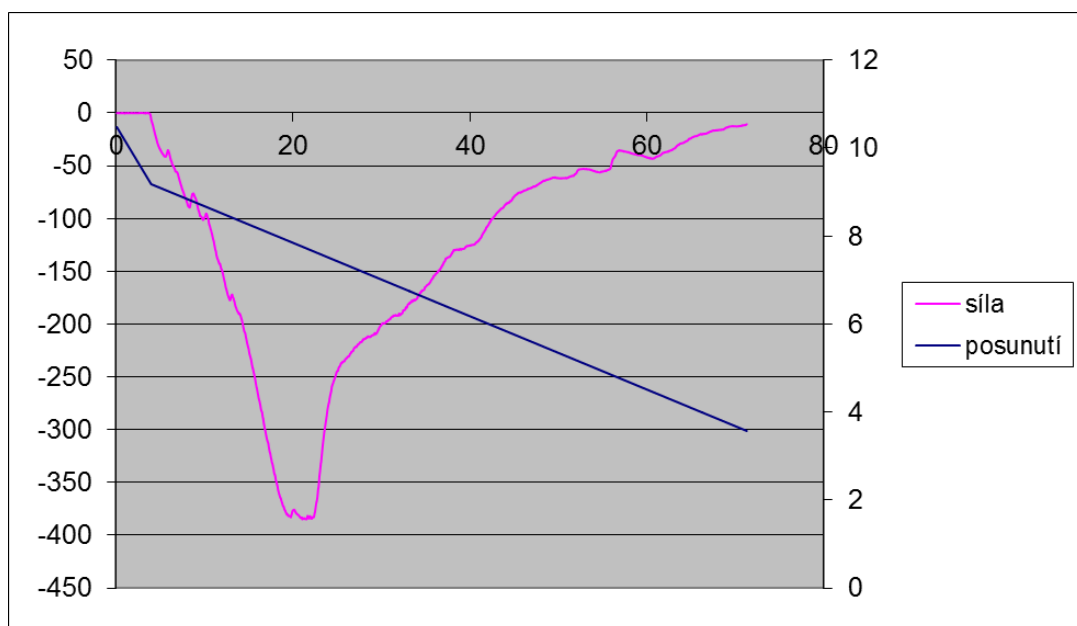
[15]http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://media.novinky.cz/861/88619-top_foto2-fdkaj.jpg&imgrefurl=http://www.novinky.cz/zena/zdravi/107435-co-je-dulezite-pri-nahrade-kycelniho-kloubu.html&usg=__VmH8Hhrovw2lHMuWEu_lOWGc9Ag=&h=225&w=400&sz=12&hl=cs&start=0&sig2=k31K3kbNT2Av8pyhgXkDzw&zoom=1&tbnid=9KVhOGT76m8aCM:&tbnh=150&tbnw=228&ei=R9KaTbz8Ccu48gOQrtTnBg&prev=/images%3Fq%3Dky%25C4%258Deln%25C3%25AD%2Bendoprot%25C3%25A9za%26um%3D1%26hl%3Dcs%26biw%3D1280%26bih%3D616%26tbm%3Disch0%2C171&um=1&itbs=1&iact=hc&vpx=545&vpy=262&dur=127&hovh=168&hovw=300&tx=197&ty=105&oei=EtKaTZ61KY704Qa-nJTjYBg&page=1&ndsp=15&ved=1t:429,r:12,s:0&biw=1280&bih=616

7. Přílohy

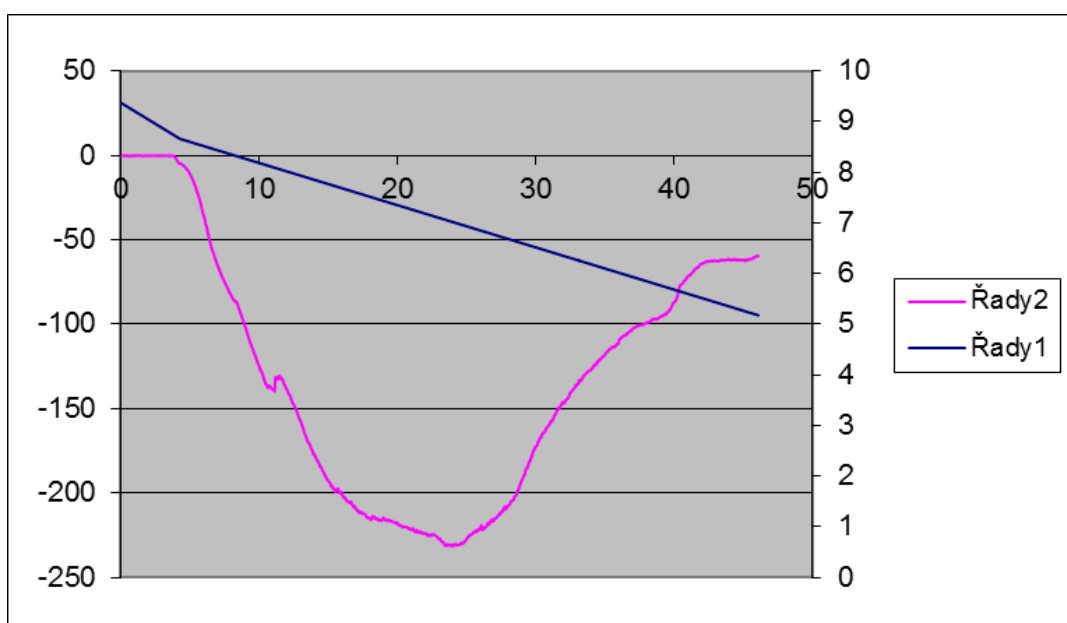
7.1. Pokus č. 1 – naměřené max. hodnoty

Hodnoty maximálního tlaku			
Číslo vzorku	nerázovaný vzorek max. síla [N]	rázovaný vzorek max. síla [N]	počet rázů u ráz. vz.
1.	385,5	232	120
2.	573,2	535,9	200
3.	904,3	82,5	120
4.	402,8	173,3	200
5.	675,5	312,2	200
6.	569,3	36,9	200
7.	484,3	141,5	400
8.	712,8	177,1	400

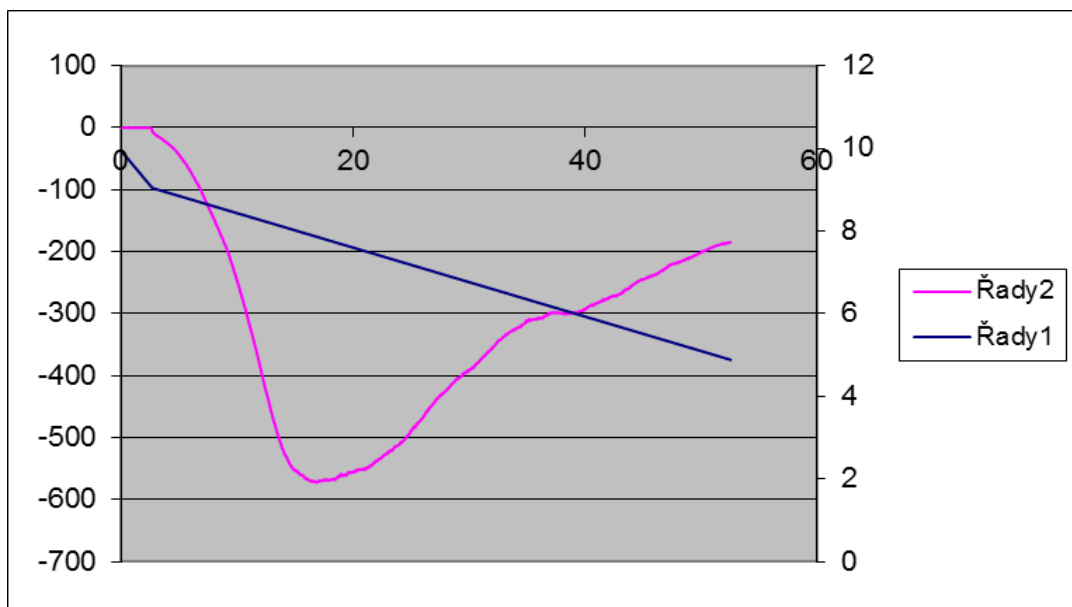
7.1.1. Vzorek 1A - graf



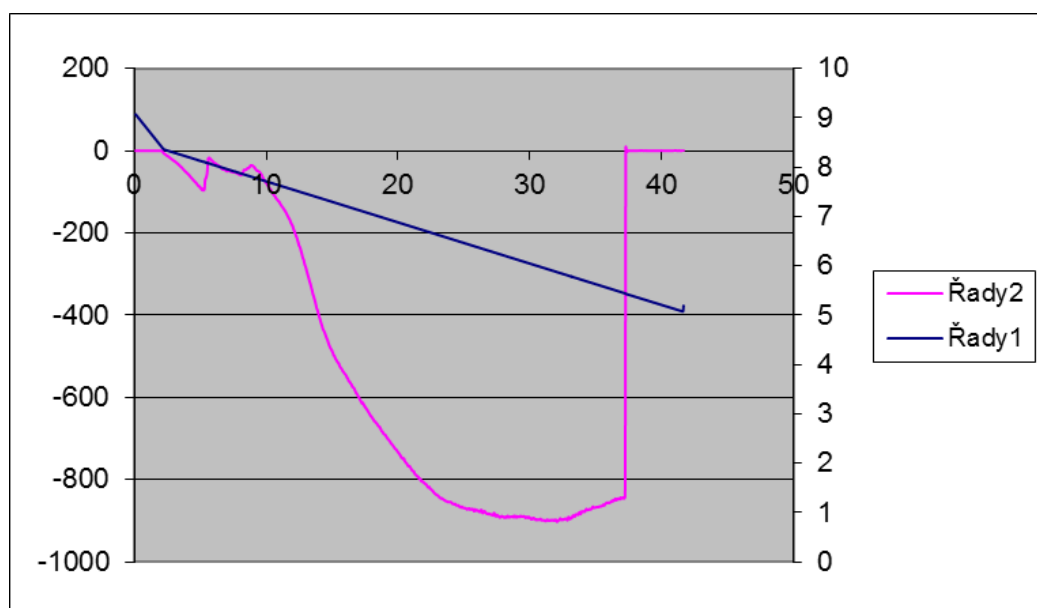
7.1.2 vzorek 1B - graf



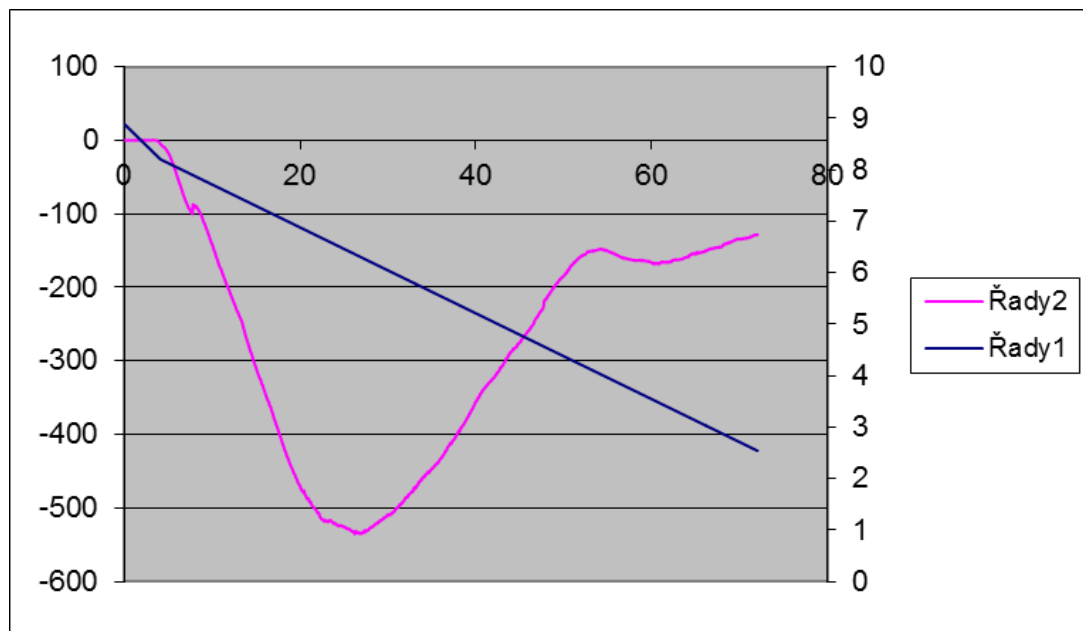
7.2.1. Vzorek 2A - graf



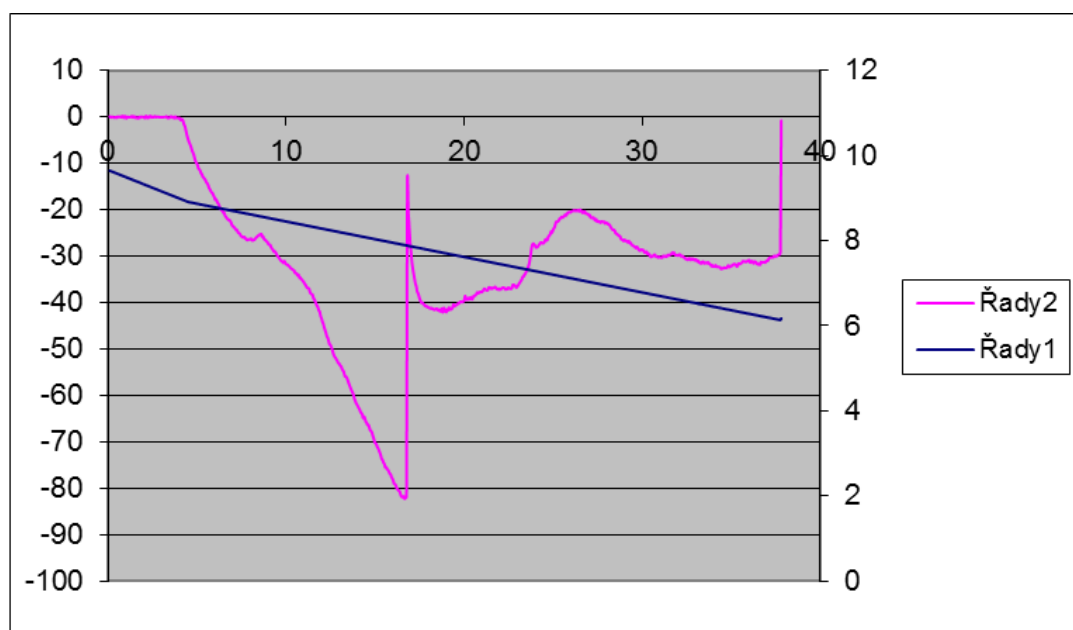
7.2.2. Vzorek 2B - graf



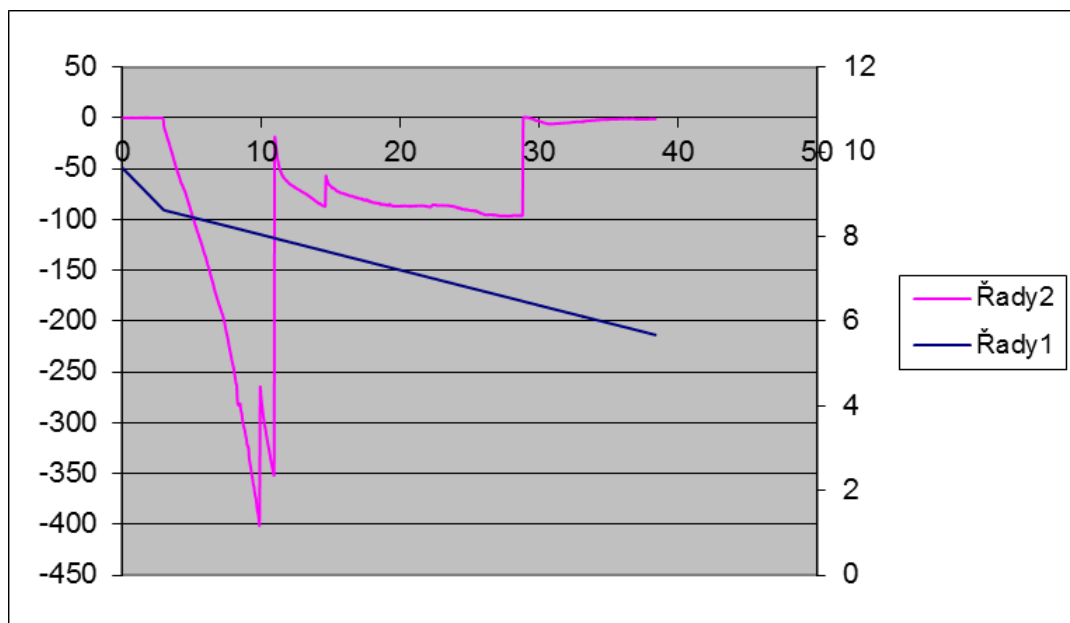
7.3.1. Vzorek 3A - graf



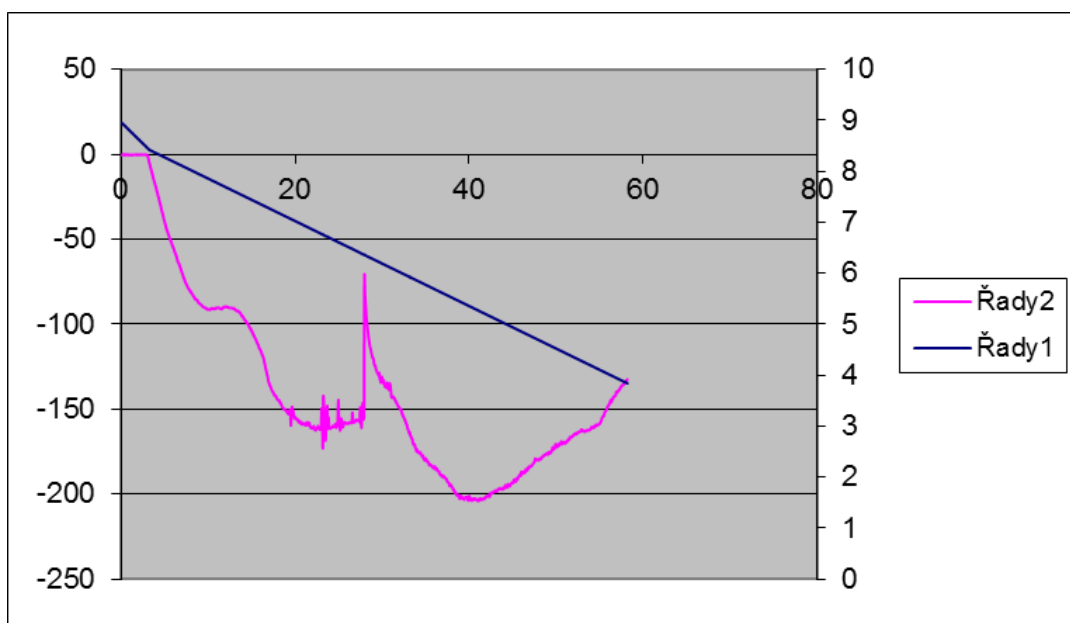
7.3.2. vzorek 3B - graf



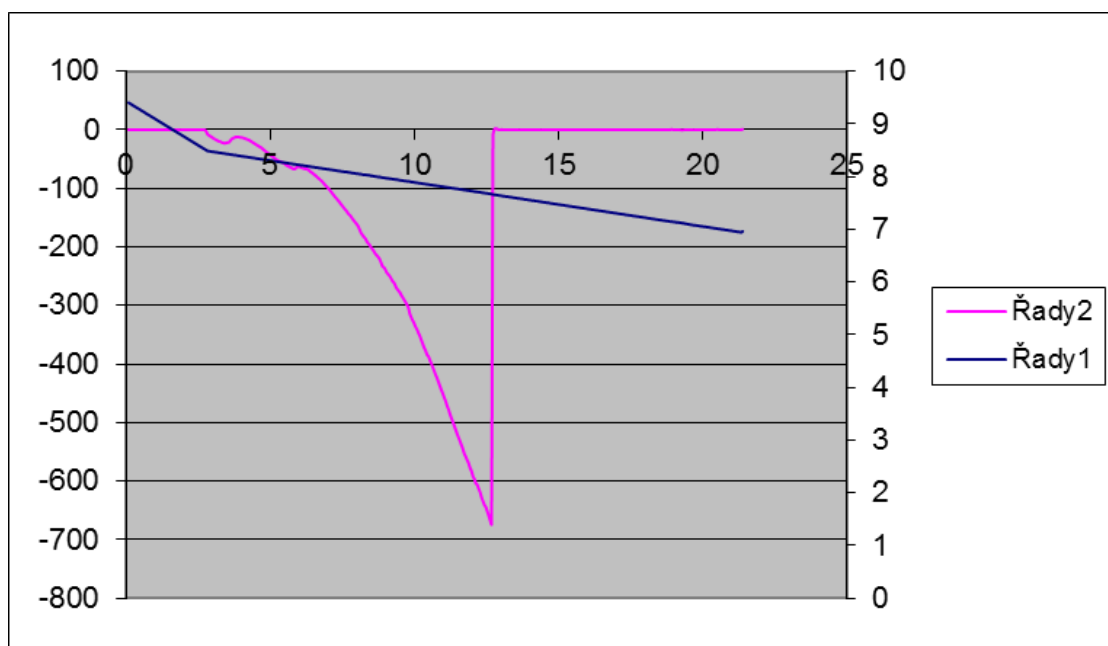
7.4.1 Vzorek 4a - graf



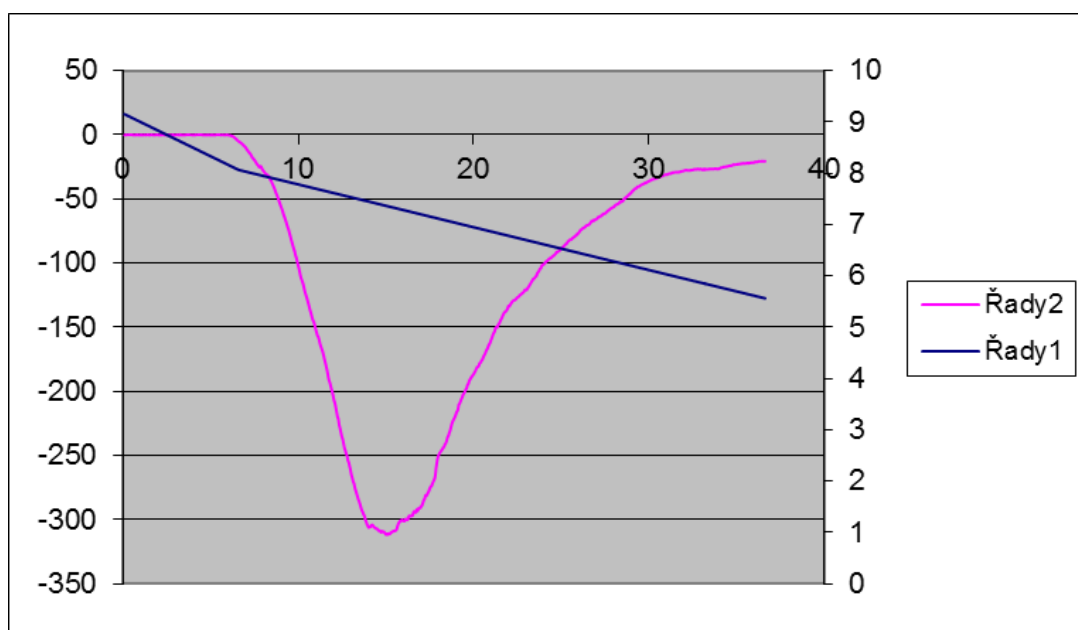
7.4.2. Vzorek 4B - graf



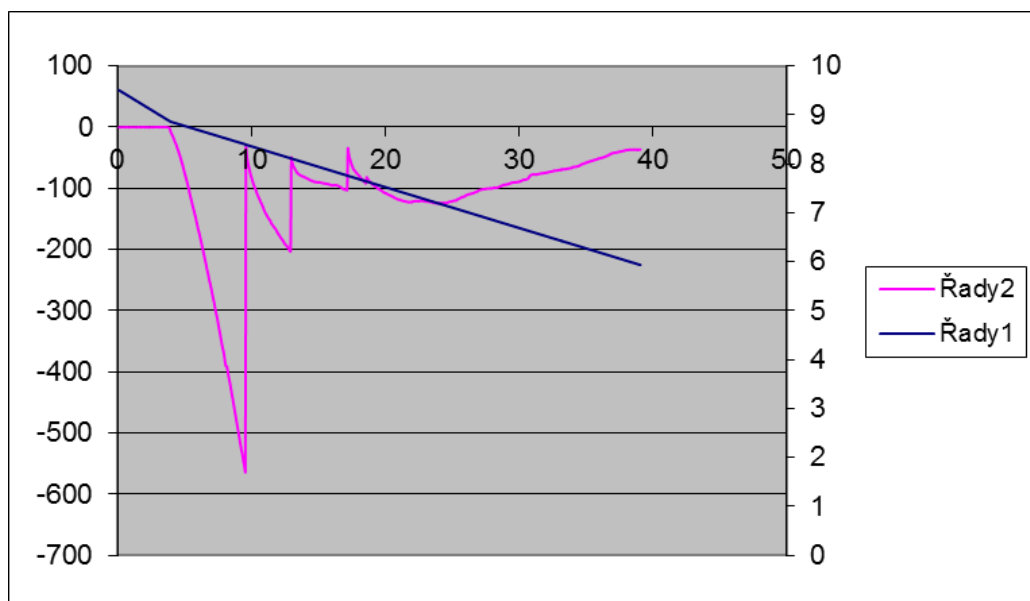
7.5.1. Vzorek 5A - graf



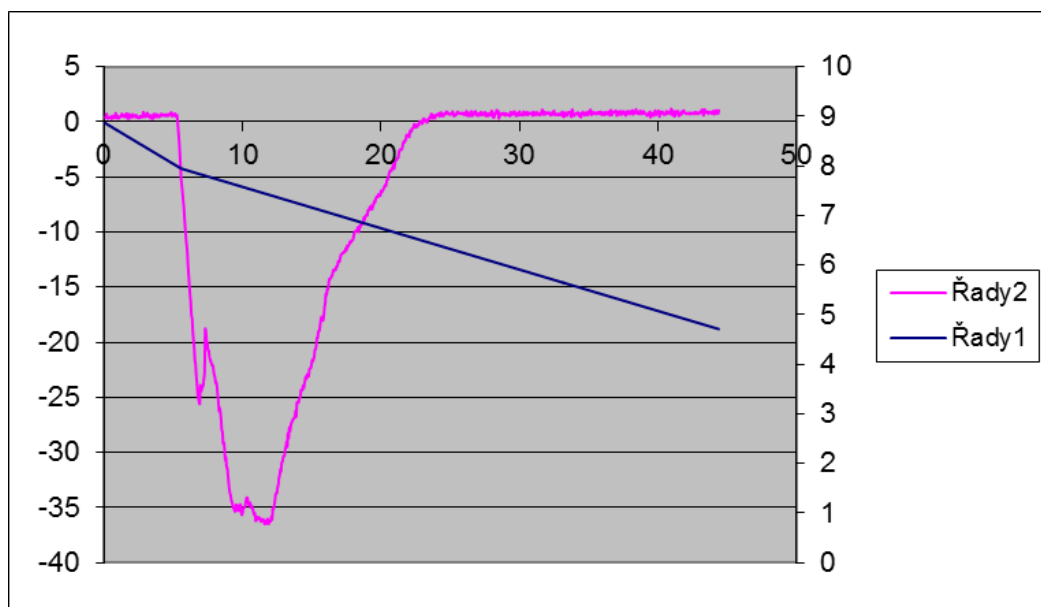
7.5.2. Vzorek 5B - graf



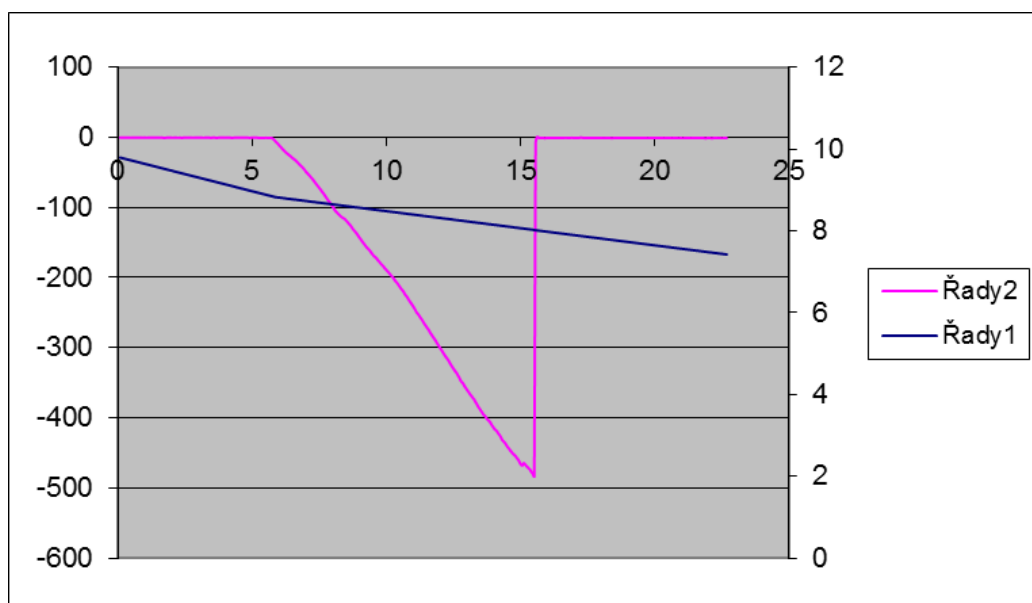
7.6.1. Vzorek 6A - graf



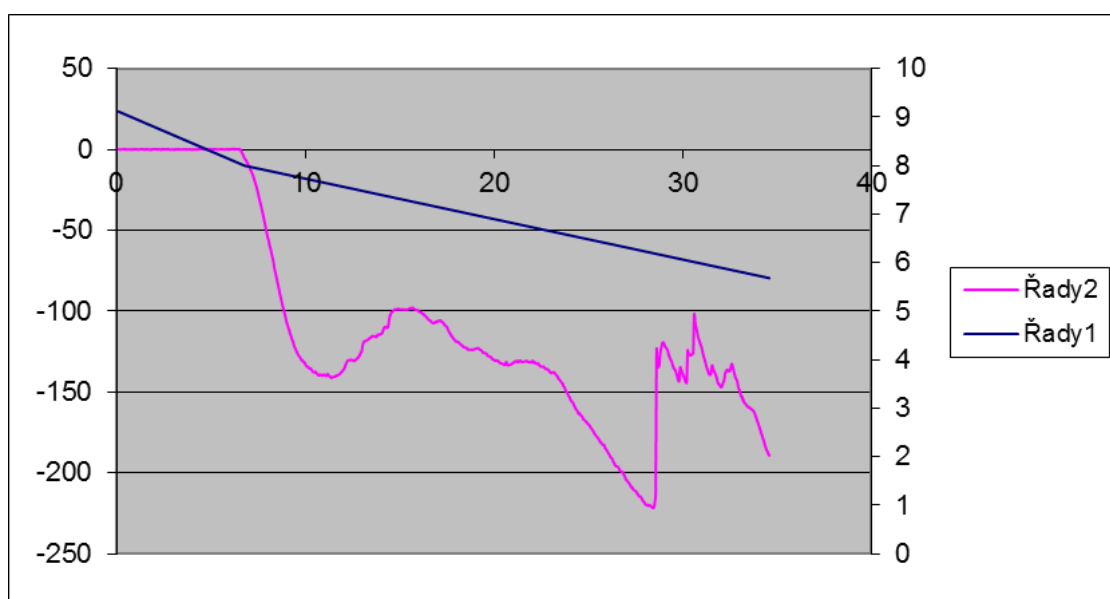
7.6.2. Vzorek 6B - graf



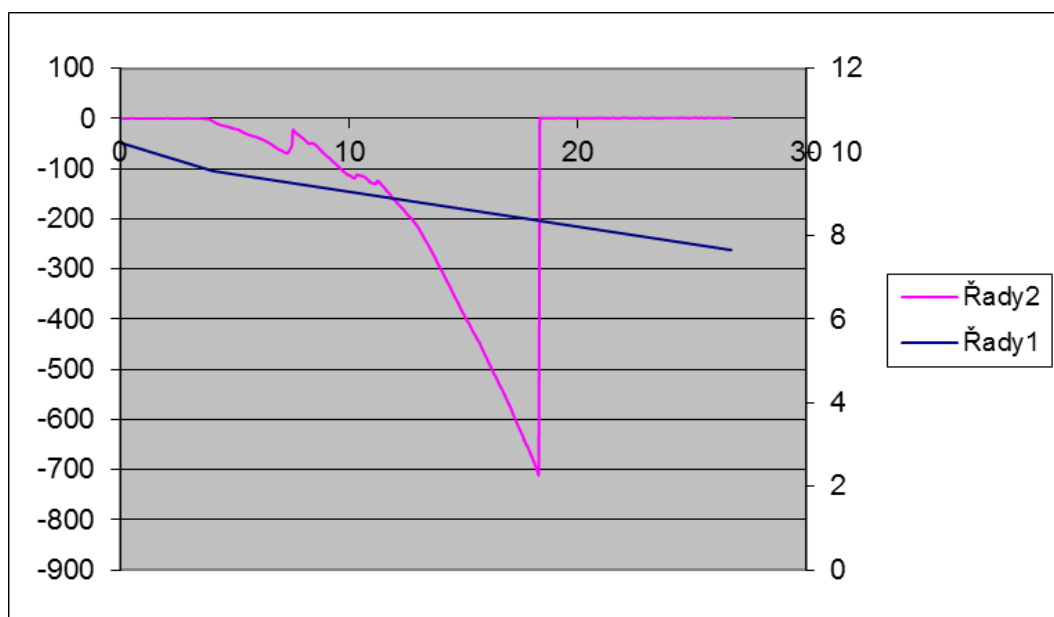
7.7.1. vzorek 7A – graf



7.7.2. Vzorek 7B - graf



7.8.1. Vzorek 8A - graf



7.8.2. Vzorek 8B - graf

