

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015

Bc. Petr Vaněk

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká fakulta
Katedra Fyziky

Nová metoda měření rychlosti pulzní vlny v tepnách

Diplomová práce

Autor: Bc. Petr Vaněk
Studijní program: N1701 Fyzika
Studijní obor: Fyzikální měření a modelování
Vedoucí práce: RNDr. Daniel Jezbera

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Zadání diplomové práce

Autor:	Bc. Petr Vaněk
Studijní program:	N1701 Fyzika
Studijní obor:	Fyzikální měření a modelování
Název závěrečné práce:	Nová metoda měření rychlosti pulzní vlny v tepnách.
Název práce v AJ:	A new method for measuring pulse wave velocity in arteries.
Cíl a metody práce:	Cílem práce bude navrhnout a vyzkoušet novou metodu neinvazního měření rychlosti pulzní vlny krve v tepnách pomocí aplanačního tonometru. V práci se využije aplanační tonometr vyvinutý v předcházející bakalářské práci. Tonometr bude na základě zkušeností z provozu upraven. Vlastní měření rychlosti pulzní vlny bude spočívat v měření pulzní vlny ve dvou místech na tepnách a porovnání časového zpoždění. Pro měření se využije dvou identických kusů tonometru a měřicí systém od National Instruments. V teoretické části bude rozebrána problematika pulzní vlny v tepnách a její měření. V praktické části pak bude provedeno skutečné měření rychlosti pulzní vlny.
Garantující pracoviště:	Katedra Fyziky, Přírodovědecká fakulta
Vedoucí práce:	RNDr. Daniel Jezbera
Konzultant:	
Oponent:	Mgr. Filip Studnička, PhD.
Datum zadání závěrečné práce:	

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedl všechny prameny, z kterých jsem vycházel.

V Hradci Králové dne

.....

Petr Vaněk

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou měření pulzní vlny pomocí neinvazivní metody dotykového tonometru na dvou místech zároveň. Měřící tonometr je vyvinutý na základě předchozích znalostí a vývoje přístroje v rámci bakalářské práce, na kterou nyní navazuje.

Annotation

This thesis deals with the measurement of the pulse wave by using non-invasive touch tonometer in two places at the same time. Measuring tonometer is developed on previous knowledge and the development of device within the Bachelor thesis, which now follows.

Poděkování

Tímto chci poděkovat vedoucímu práce RNDr. Danielu Jezberovi za pomoc při vypracování této diplomové práce a za pomoc při praktickém měření.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Problematika dynamiky toku krve a jejího měření	8
2.1	Krevní tlak.....	8
2.2	Měření krevního tlaku.....	11
3	Technologie 3D tisku	14
3.1	Rapid prototyping	14
3.1.1	Fused Deposition Modeling (FDM).....	15
3.1.2	Selective Laser Sintering (SLS)	15
4	Vývoj prototypu.....	16
4.1	Předchozí vývoj.....	16
4.2	Druhý prototyp	19
4.2.1	Postup sestavení	22
4.3	Třetí prototyp	26
5	Experimentální část	30
5.1	Popis přístroje.....	30
5.2	Popis programu LabVIEW	31
5.3	Virtuální zařízení.....	32
5.4	Měření	34
6	Závěr	39
7	Použitá literatura	40
8	Seznam obrázků.....	40

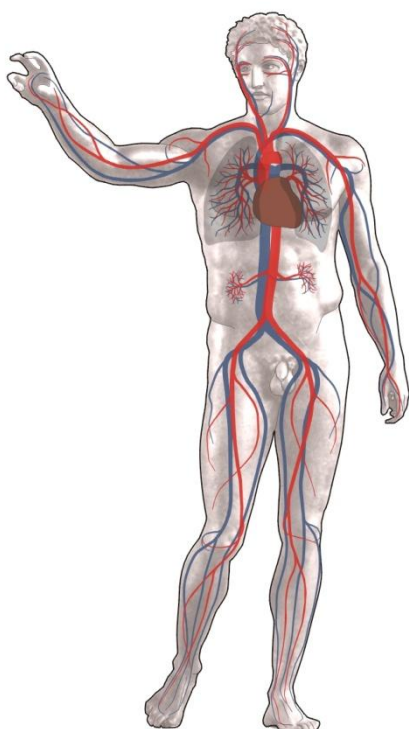
1 Úvod

Tato diplomová práce navazuje na předchozí bakalářskou práci z roku 2013 která byla na téma *Vývoj dotykového tonometru pro měření průběhu tlaku v tepnách*. Na začátku práce bude popsán kardiovaskulární systém, tedy krevní tlak a jeho možnosti měření. Dále bude popsána problematika měření pulzní vlny na dvou místech současně. Následovat bude popis předchozího vývoje dotykového tonometru a další nové úpravy tonometru a nakonec bude popsáno vlastní měření pomocí dvou totožných tonometrů na různých tepnách najednou.

2 Problematika dynamiky toku krve a jejího měření

2.1 Krevní tlak

Srdce je důležitým orgánem lidského těla. Je součástí kardiovaskulárního systému (oběhové soustavy). Díky srdečním kontrakcím je distribuována okysličená krev tepnami až do nejtenčích vlasových žilek k buňkám. Dále slouží k transportu živin, plynů a odpadních látek do a z buněk. Bez tohoto oběhového systému by tělo velmi rychle odumřelo.



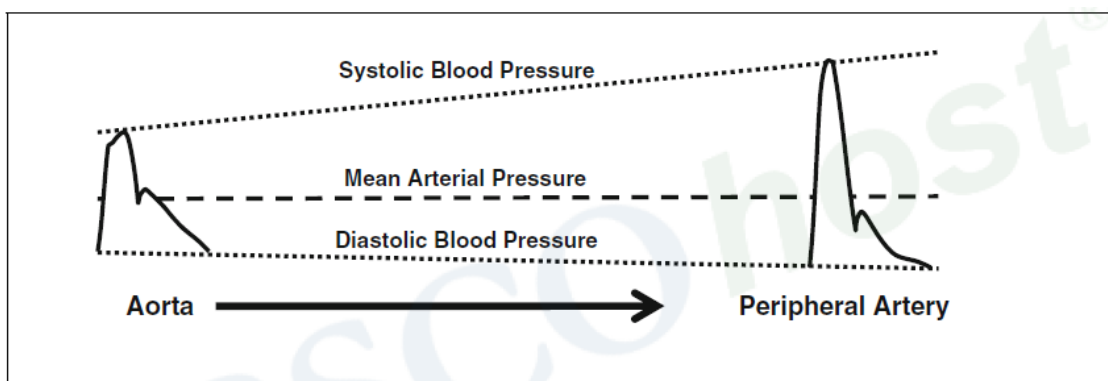
Kardiovaskulární systém je dále tvořena tepnami – vedou krev od srdce, žilami – vedou krev z kapilár do srdce a vlásečnicemi – konečné sítě. Krev proudí tělem dvěma okruhy: od srdce k plicím pro nabrání kyslíku a mezi srdcem a zbytkem těla dopravuje kyslík a živiny k buňkám [4].

Obr. 2.1-1 Kardiovaskulární systém člověka - červeně tepny, modře žíly[4]

Pravidelnou kontrakcí srdce se vypuzuje krev ze srdce v pravidelných dávkách, které se při proudění tepnami projevují tlakovými a objemovými vlnami (pulzy) krve. Průběh tlaku těchto pulzů je vidět na obr. 2.1-2. Maximální hodnota se nazývá systolický tlak, hodnota minimální se nazývá tlak diastolický. Střední arteriální tlak je pak průměrná hodnota tlaku krve. Přibližně jej lze podle [1] vypočítat jako:

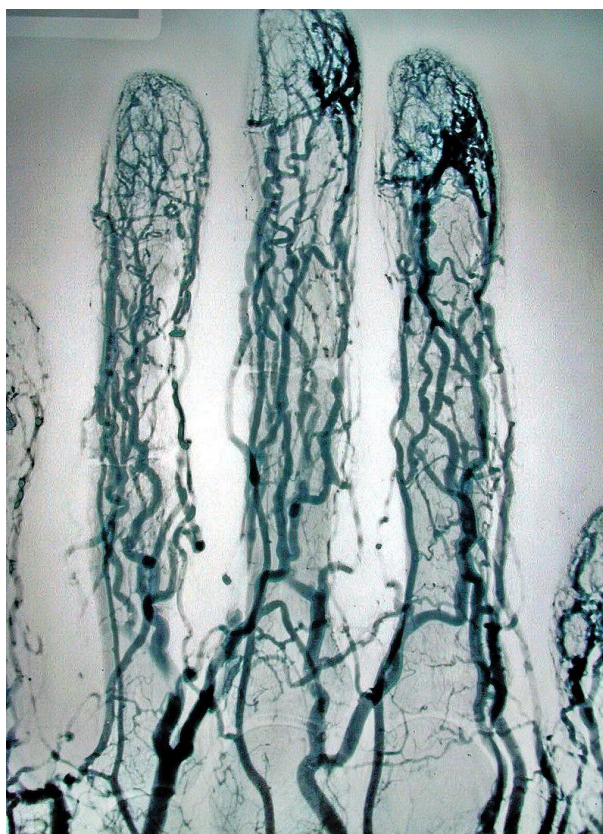
$$\text{střední tlak} = \text{diastolický tlak} + (\text{systolický tlak} - \text{diastolický tlak})/3$$

Se zmenšováním průřezu tepen se systolický tlak zvyšuje, viz obr. 2.1-2, kde se srovnává tvar pulzu v aortě a periferních arteriích.



Obr. 2.1-2 Změna hodnoty tlaku se vzdáleností od srdce [1]

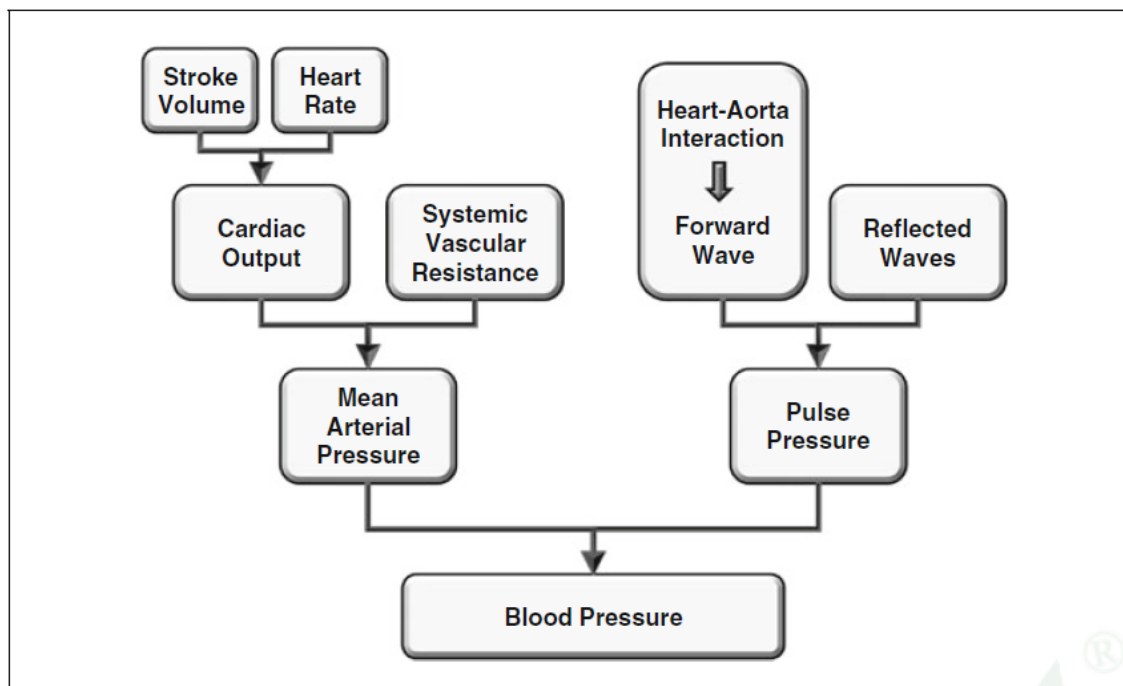
Hodnota tlaku krve je velice důležitá. Lékaři pomocí jeho hodnoty mohou diagnostikovat nejrůznější zdravotní obtíže. Zdravý člověk má hodnotu tlaku krve v rozmezí 120 - 140/80 - 100mmHg. Tyto hodnoty jsou ale jen orientační. Velice záleží na stavbě těla každého jednotlivce. Samozřejmě je rozdíl, kdy například muž s nadváhou, vysokým krevním tlakem má zdravotní obtíže a porovnáním s mužem se stejnými hodnotami krevního tlaku, což jsou pro něho normální hodnoty ale tento je sportovec nebo kulturista.



Obr. 2.1-3 Zobrazení cév v prstech ruky zobrazené metodou angiografie [4]

Pokud je hodnota krevního tlaku menší, pak hovoříme o Hypotenzi – nízký krevní tlak, nebo je jeho hodnota vyšší, pak je označována za Hypertenzi – vyšší či vysoký krevní tlak. [4]

Krevní tlak ale není jen kontrakce srdce. Je to komplexní souhrn mnoha aspektů, viz. obr. 2.1-4.



Obr. 2.1-4 Parametry mající vliv na hodnotu krevního tlaku [1]

Z předchozího obrázku je vidět, že krevní tlak (Blood pressure) se skládá na jedné straně z objemu kontrakce (Stroke Volume) a jejich frekvence (Heart Rate), to dává srdeční výdej (Cardiac Output). Spolu s odporem vaskulárního systému Systemic Vascular Resistance) tvoří hlavní arteriální tlak (Mean Arterial Pressure). Další součástí je interakce srdce a aorty (Heart-Aorta Interaction) neboli dopředná vlna (Forward Wave). Tyto vlny se odráží a vznikají odražené vlny (Reflected Waves), které se vrací zpět. Spolu s dopřednou vlnou vytváří Pulzní tlak (Pulse Pressure). Spojením arteriálního a pulzního tlaku (jejich sečtením) vzniká krevní tlak (Blood pressure) a jeho typický průběh.

2.2 Měření krevního tlaku

Měření krevního tlaku je buď invazivní, tedy měřicí sonda se chirurgicky zavádí přímo do žíly a nebo tepny. Toto přímé měření krevního tlaku nejpřesnější ale je nevýhodou je jeho rizikovost. Používá se zejména při kritických stavech pacienta. Nebo je možnost použití neinvazivního měření, kdy se používají dotykové tonometry či rtuťový tonometr nebo pneumatický tonometr. [7]



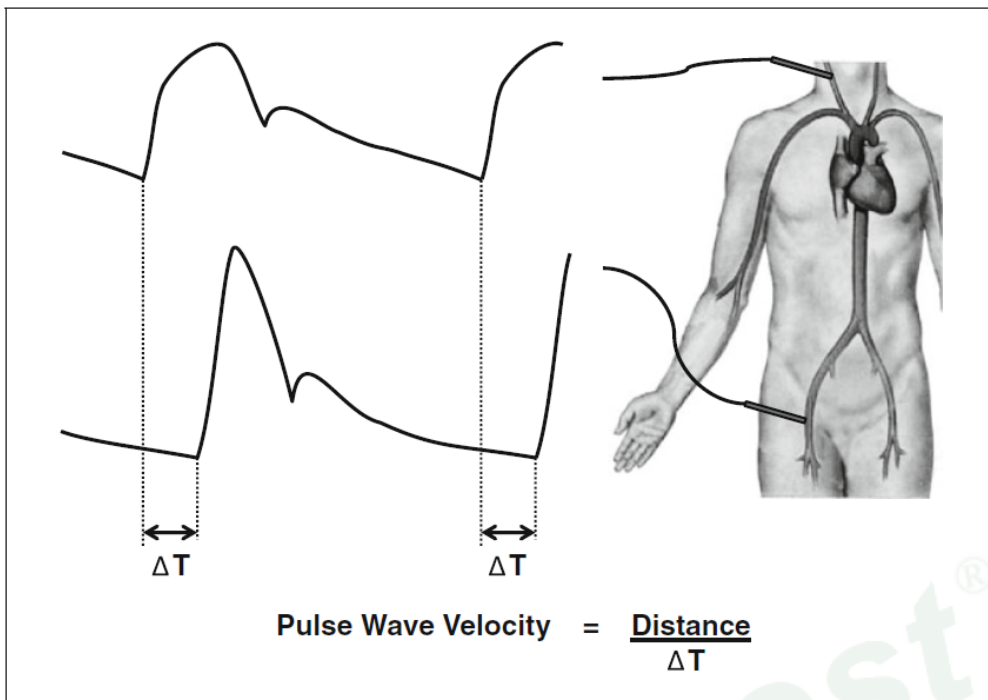
Obr. 2.2-1 Rtuťový tonometr [5]



Obr. 2.2-2 Pneumatický tonometr[6]

Všechna tato měření se provádějí v jednom místě a ukazují buď průměrné hodnoty systolického a diastolického tlaku

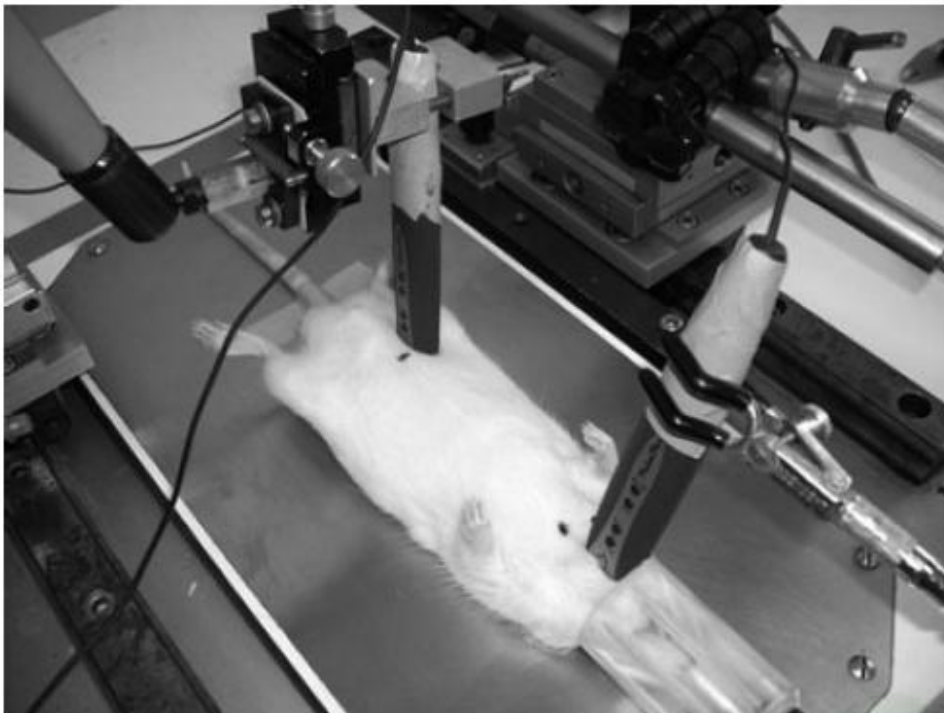
nebo v lepším případě průběh tlakového pulzu. Avšak pokud chceme určit rychlost pulzní vlny je třeba měřit průchod pulzu krve na dvou místech najednou. K tomu je možné použít buď jeden tonometr a změřit časový rozdíl maxima pulzu oproti R vlně signálu EKG na dvou místech. Nebo je možné použít dva totožné tonometry, měřící na dvou místech zároveň, zjistit časové zpoždění pulzu a vypočítat jeho rychlost. Viz obr. 2.2-3. [1]]



Obr. 2.2-3 Zobrazení měření rychlosti pulzní vlny dvěma tonometry [1]

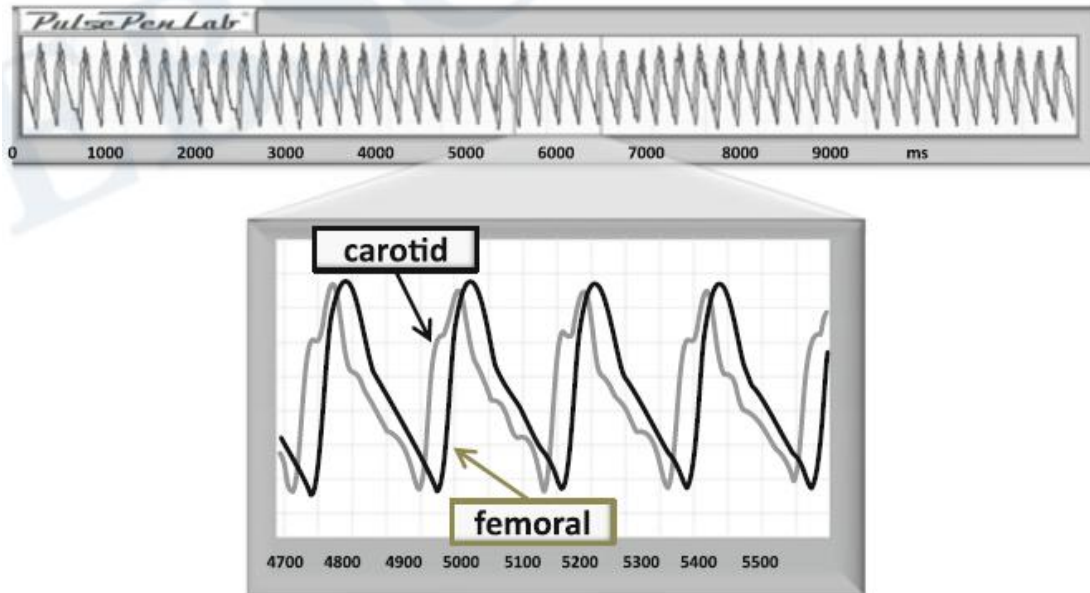
Do vzorce vstupuje vzdálenost mezi oběma tonometry, měřená přímo a zpoždění mezi náběhy obou křivek.

Tato měření nemusí probíhat jen u člověka. Na následujícím obrázku je vidět měření na Karotidě a Femuru laboratorní krysy.



Obr. 2.2-4 Měření pulzních vlna na laboratorní kryse pomocí dvou tonometrů[1]

Při správně zvolených přístrojích nebo nově navržených by měly výsledky měření, tedy průběhy pulzních vln vypadat jako na následujících obrázcích.



Obr. 2.2-5 Naměřené průběhy pulzních vln a jejich viditelné posunutí [1]

Na obrázku 2.2-5 je vidět soubor naměřených hodnot a porovnání průběhu pulzní vln na karotidě a femuru. Takovémuto měření bychom se chtěli při našem měření přiblížit.

3 Technologie 3D tisku

Pro připomenutí přikládám popis technologie výroby použitelné pro výrobu tonometru, která byla sepsána Petrem Vaňkem v jeho bakalářské práci v roce 2013. [2]

3D tisk je proces, při kterém se prostřednictvím specifického zařízení vytvářejí trojrozměrné objekty z vhodného materiálu. Tisk po vrstvách je řízen ovládací elektronikou na základě digitální předlohy.

Počátky technologie 3D tisku sahají do druhé poloviny 20. století. V roce 1986 byla patentována Charlesem Hullem technologie *stereolitografie*.

Jedná se o metodu vytváření objektů pomocí vytvrzování polymerů po vrstvách působením záření o různých vlnových délkách. Nejčastěji se používá UV záření.

Záření se zamíří do konkrétního místa ve vrstvě polymeru, kde se částečně vytvrdí. Poté se nanese další vrstva polymeru a takto se postupuje po dalších vrstvách, až vznikne celý objekt.

První takovouto „tiskárnou“ byl stereolitografický aparát SLA-1 (ze *StereoLithography Apparatus 1*) vyrobená Hullovou firmou 3D Systems. Modely SLA se staly základem pro vývoj dnešních 3D tiskáren a CNC strojů. Další technologie přinesla až konkurence.

V roce 1993 byla Massachusettským institutem technologií (MIT) patentována technologie trojrozměrných tiskařských technik. Ta pracovala s práškovým materiálem a tekutým spojovačem. Od té doby začal vývoj 3D tiskáren.

3.1 Rapid prototyping

Soubor následujících technologií pro výrobu prototypů 3D tiskem založených na technologii SLA.

Prototypy nejsou, ve většině případů, vhodné pro velké zatížení. Slouží tedy pro vizuální a technologickou kontrolu správnosti modelu.

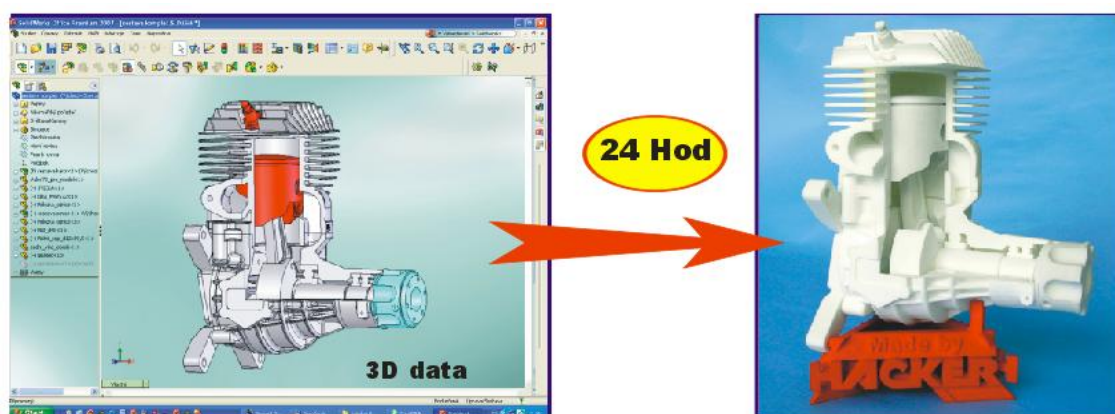
3.1.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

Materiál je odvíjen ze zásobního bubnu do tiskové hlavy, kde se taví a nanáší na stůl. Podpůrný materiál se využívá v místech, kde by základní materiál „visel“ ve vzduchu. Po dokončení modelu se podpůrný materiál odstraní odložením, rozpuštěním ve speciální lázni nebo jiným vhodným způsobem.

3.1.2 Selective Laser Sintering (SLS)

Laserové spékání pracuje s práškovým materiálem, nanášeným válcem pod ochrannou atmosférou dusíku. Místa, která jsou potřeba vytisknout, se osvítlí laserem a tím se prášek speče. Stůl se poté o tloušťku jedné vrstvy posune dolů a celé se to opakuje až do vytvoření modelu.

Zatím jako jediná je, po patřičných úpravách, schopna tisknout i z kovových materiálů.



Obr. 3.1.2-1 Ukázka Rapid Prototype modelu

Po vypršení některých patentů v roce 2003 se vývoj znatelně urychlil. Objevila se nová technologie Multi Jet Modeling (MJM) pracující s fotopolymerem, který se v malých vrstvách pokládá na podložku.

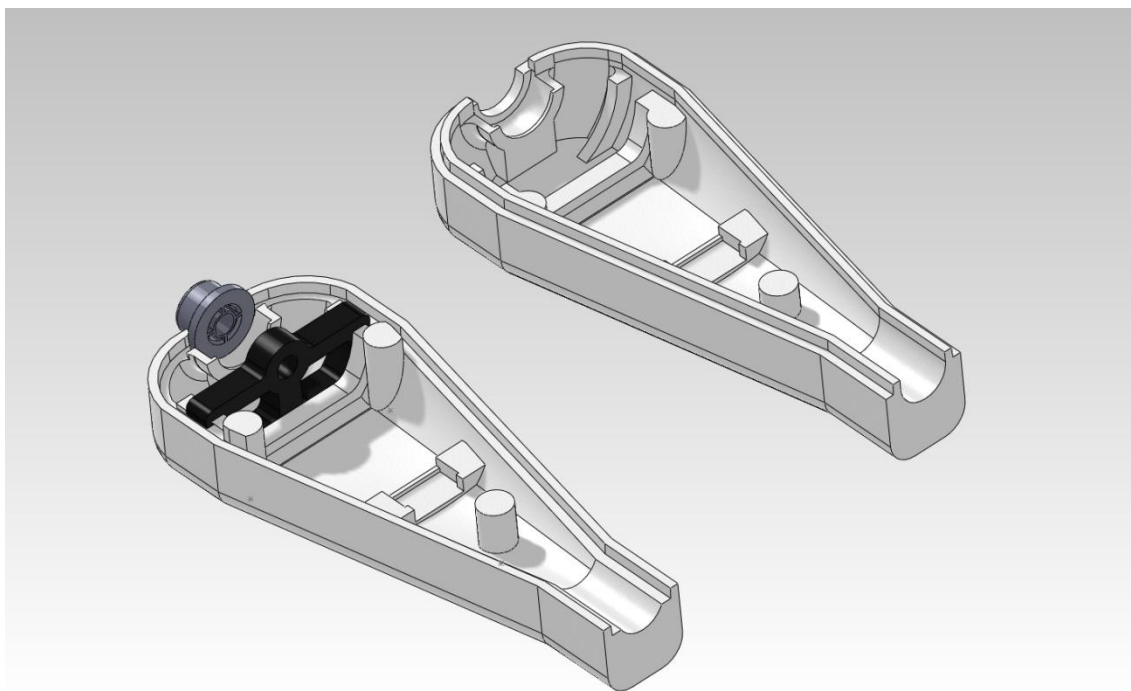
Všechny tyto technologie jsou určeny ke komerčním profesionálním účelům díky své finanční a časové náročnosti na výrobu modelu. Jsou na úplně jiné úrovni než domácí nekomerční tiskárny.

Zde se uplatňuje levnější FDM technologie, která je popsána výše.

4 Vývoj prototypu

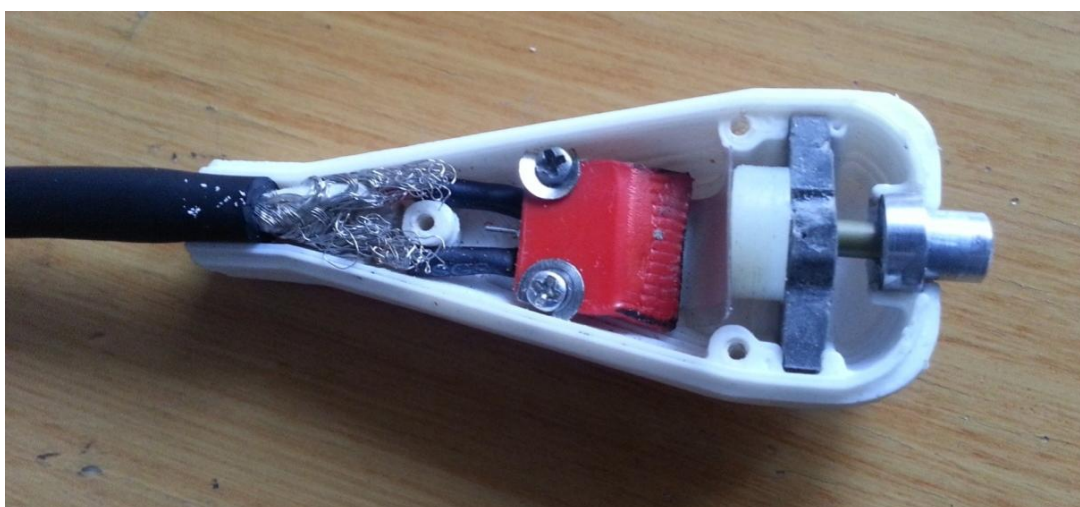
4.1 Předchozí vývoj

Funkční prototyp byl již vyvinut v roce 2013, v rámci bakalářské práce s názvem: Vývoj dotykového tonometru pro měření tlaku v tepnách. Autorem je Bc. Petr Vaněk.



Obr. 4.1-1 Virtuální modely součástí snímače

Prototyp je vlastně měřicí sonda, která se připojuje pomocí specifického



Obr. 4.1-2 Pohled na mechanismus tonometru [2]

hardwaru od firmy National Instruments (dále „NI“) do počítače či notebooku. Skládá se z měřícího mechanismu a piezoelektrické folie, o kterou se tento mechanismus opírá a tím se folie deformuje. Tyto deformace způsobují ve folii generování elektrického napětí, které se zesilovačem zesílí a převodník z analogového na digitální signál nám umožní toto napětí dále zpracovat v počítačovém softwaru LabVIEW.

Tento program spolu s hardwarem od NI umožňuje virtuálně sestavit téměř jakýkoliv přístroj. Blíže si tento program popíšeme v kapitole 5.2.

Měřící mechanismus se skládá z válcového dotyku spojený trubičkou s dotykem piezoelektrické folie. Celý je uložen v těle přístroje v kluzných pouzdech. Vidět ho můžeme na obr. 4.1-2 v pravé části.

Piezo folie je zasunuta v konektoru připájeném na dvou-žilovém stíněném kabelu. Konektor je příložkou připevněn k tělu měřící sondy dvěma šroubky. Na obr. 4.1-3 vidíme spojené obě poloviny sondy, které drží pohromadě tři šroubky. Tělo je vyrobené pomocí 3D tisku technologií FDM z materiálu ABS bílé barvy.

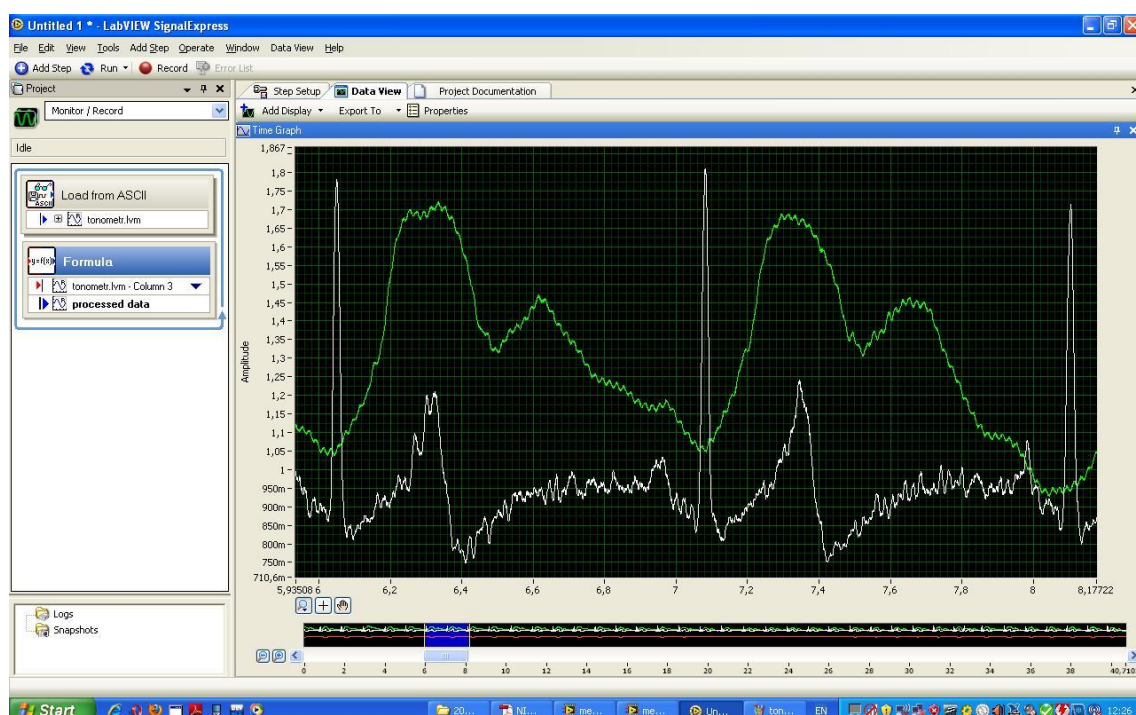


Obr. 4.1-3 Dotykový tonometr [2]

Měření s tímto tonometrem je snadné. Prstem ruky nahmatáme puls a na toto místo přiložíme měřící dotyk sondy a přimáčkneme. Na monitoru počítače se kontinuálně zobrazují naměřené hodnoty.

Pokud není vidět požadovaná křivka, je zapotřebí sondu více přitisknout nebo uvolnit, případně posunout a to tak dlouho dokud je křivka vyhovující. Přesvědčíme se na následujícím obrázku, že průběhy jsou velice kvalitní.

Horní zelená křivka je naměřená křivka průběhu pulzního tlaku z vyvinutého tonometru. Bílá dolní křivka je kontrolní křivka pulsu z EKG.



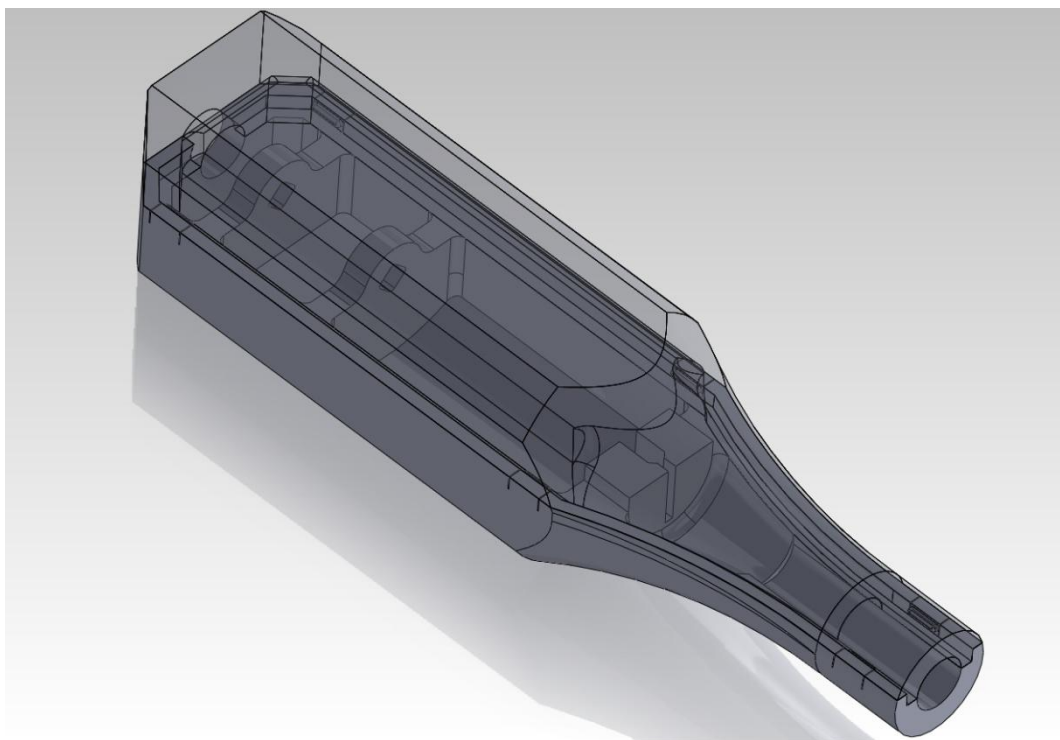
Obr. 4.1-4 Průběh pulzní vlny prvního tonometru [2]

4.2 Druhý prototyp

Dalšími kroky ve vývoji je samozřejmě vylepšování a zjednodušení stávajícího prototypu pomocí poznatků z vlastního měření stávajícím tonometrem.

První úpravou prošel mechanismus měření. Na měřicí tyčku byla přidána pružina, která vrací měřicí dotyk do základní polohy. Piezoelektrická folie nyní neplní pružící funkci, ale jen na základě ohýbání generuje elektrické napětí. Na tomto základě bylo třeba upravit tělo přístroje

Druhou úpravou byl tedy design přístroje. Tělo bylo kompletně přepracováno tak, že z původního tvaru nezůstalo nic. Tělo bylo vymyšleno a napasováno na nový mechanismus.



Obr. 4.2-1 Virtuální model druhého prototypu, který slouží pro výrobu na 3D tiskárně

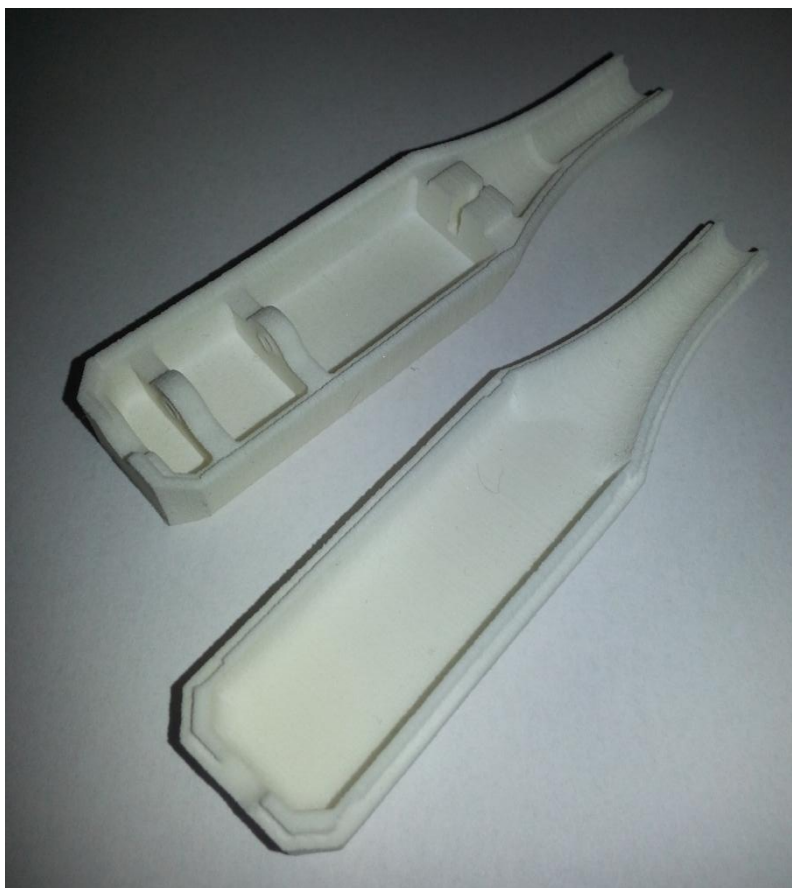
Obě poloviny již nejsou spojeny žádným spojovacím materiálem – šrouby. Odpadlo tak nutnost používání náradí při případném rozebírání přístroje. Spojení je nyní řešeno zácvaky, pomocí kterých drží pohromadě a pro potřebné rozebrání stačí zatlačit na jedno z těl.



Obr. 4.2-2 Nový design tonometru

Velikost a tvar měřícího dotyku zůstal stejný. Osa dotyku je vyrobena z měděné kruhové tyče o průměru 3mm a délce 40mm. Pro zajištění proti vypadnutí je opatřena drážkou pro zajišťovací kroužek.

Dotyk pro piezoelektrickou fólii byl zvolen, po předchozích zkušenostech, z lehkého a lehce upravitelného materiálu – balzy pro případnou potřebu změny jeho tvaru. Tvar byl zvolen nejprve kónický pro lepší a rovnoměrnější ohyb fólie. Měření ukázalo, že samotný tvar dotyku nemá vliv na zobrazená data v grafu.



Obr. 4.2-3 Obě poloviny tonometru

Bylo tedy rozhodnuto o změně uchycení fólie. Místo původního uchycení letmo jsme zvolili uchycení na dvou podporách. Folie je tedy uchycena v konektoru a opřena v drážce dotyku fólie.

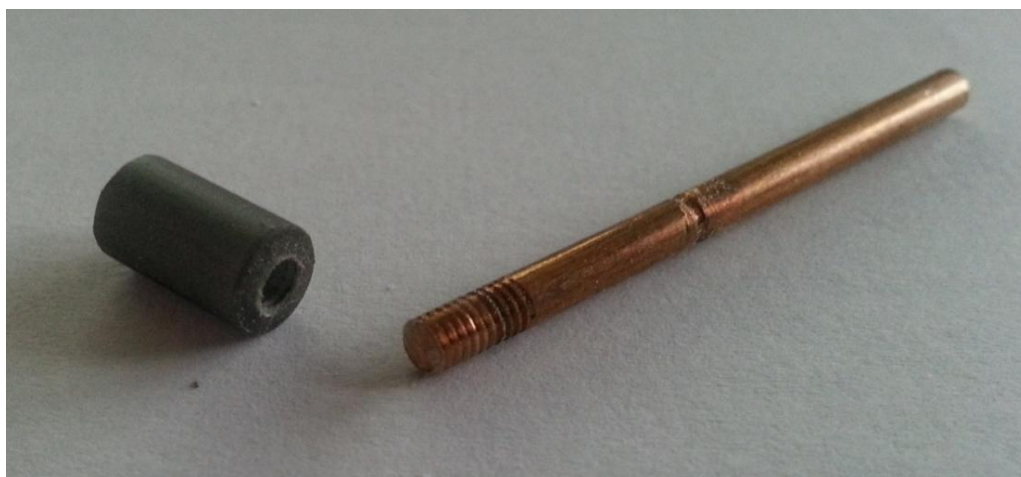


Obr. 4.2-4 Uchycení piezoelektrické fólie

Ohyb je nyní rovnoměrný v celé délce folie. V grafu se to projevuje mírným kolísáním hodnot grafu. U letmo uchycené folie je toto kolísání veliké, které je způsobeno nerovnoměrným ohybem folie. Graf se u tohoto uchycení posouvá nahoru a dolů v důsledku změny polohy ohybu folie.

4.2.1 Postup sestavení

Sestavení je podobné jako u předchozího původního prototypu. Nejprve je zapotřebí našroubovat měřící dotyk na osu.

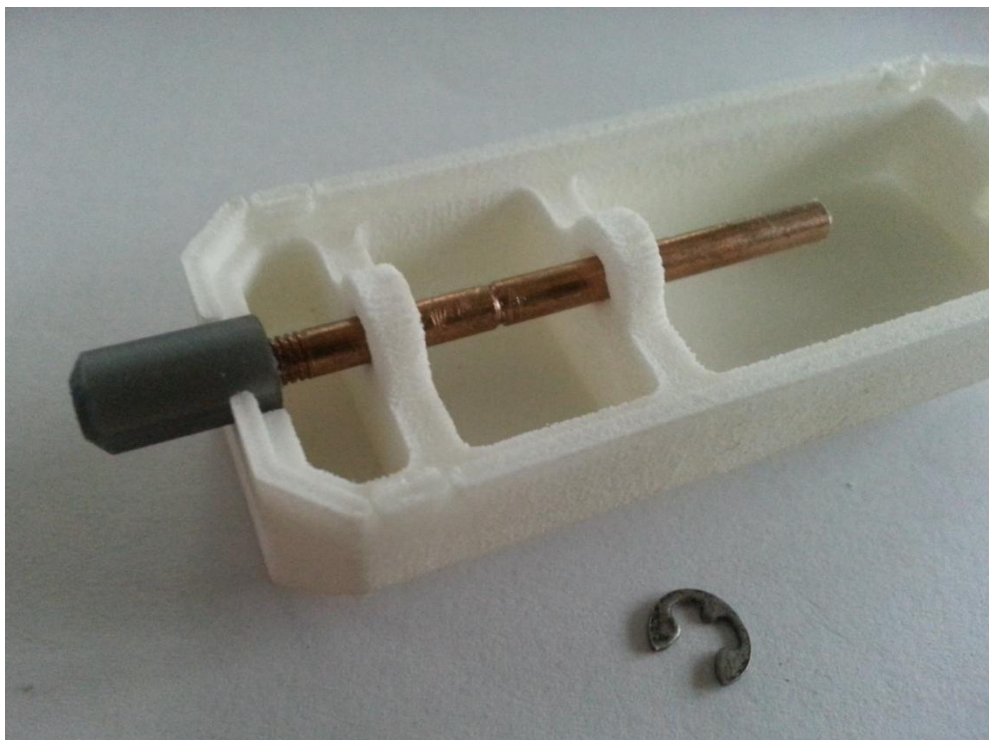


Obr. 4.2.1-1 Dotyk s osou

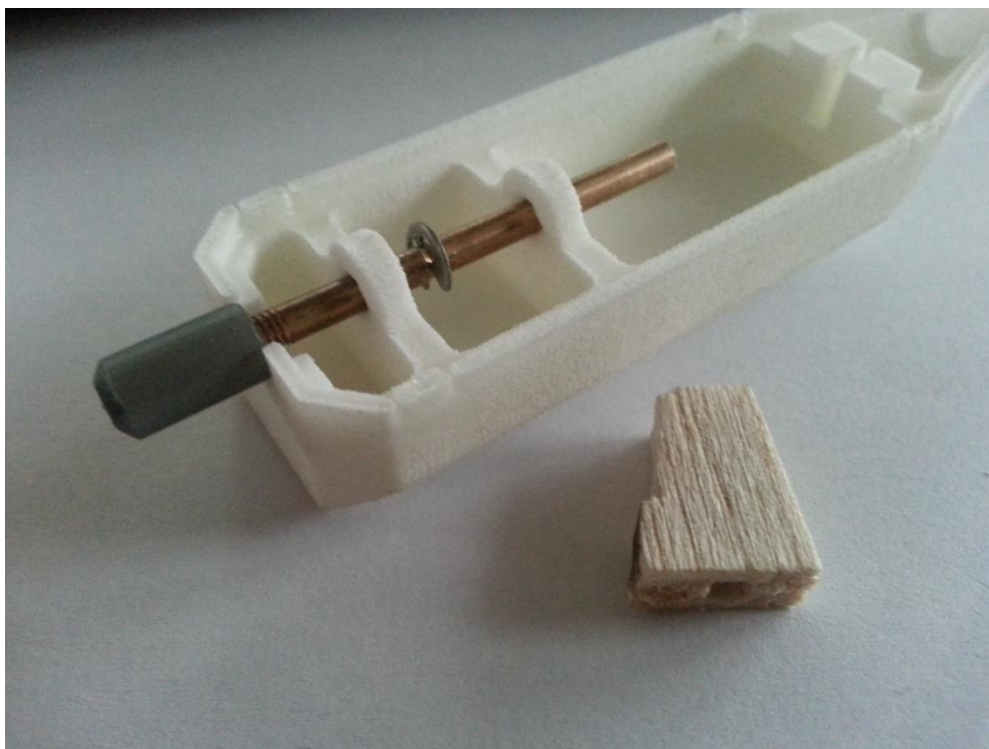


Obr. 4.2.1-2 Sestavený dotyk

Dotyk s osou zasuneme do čtvercových sousých otvorů v dolním těle. Zajišťovací kroužek zasuneme do drážky, která musí být mezi vodícími otvory. Pokud bude osa v jiné poloze, nebude dotyk správně fungovat nebo nemusí jít sestavit.



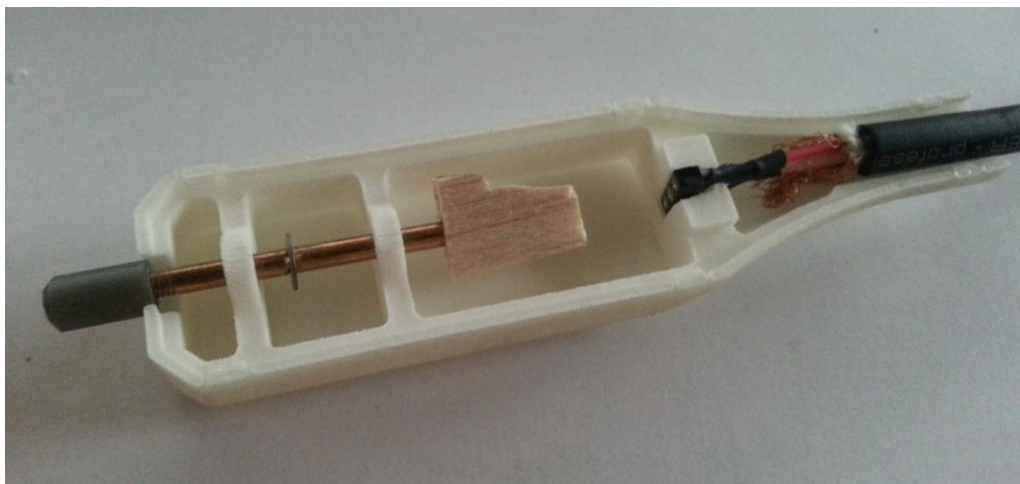
Obr. 4.2.1-3 Sestavený dotyk se spodním tělem a pojistný kroužek



Obr. 4.2.1-4 Spodní tělo a dotyk folie

Nyní nasuneme na osu dotyk folie. Otočíme s ním, tak aby drážka pro zachycení folie směřovala směrem nahoru ven z dolního těla. V tuto chvíli zatlačíme folii do konektoru na kabelu. Polarizaci nemusíme řešit. Tuto sestavu zasuneme do otvoru v dolním těle.

Přidržíme folii a otočíme dotyk po směru hodinových ručiček o 90°. Folii zasuneme do drážky v dotyku a zatlačením na měřící dotyk zkontrolujeme správný a volný pohyb celé soustavy.



Obr. 4.2.1-5 Připravené tělo snímače pro vložení folie

Pokud se bude folie při plném zatlačení měřícího dotyku dotýkat stěny těla, bude potřeba drážku v dotyku posunout více doleva.

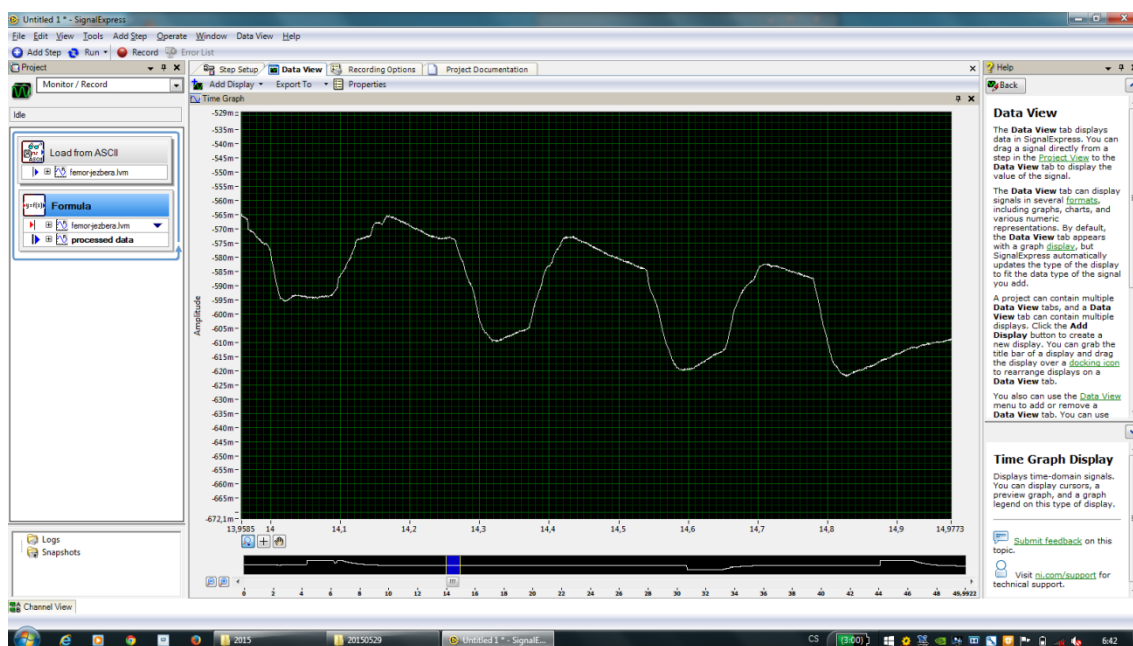


Obr. 4.2.1-6 Sestavené spodní tělo snímače

Pokud je vše v pořádku a nic nedrhne, tak můžeme přiložit vrchní tělo na spodní a zmáčknutím těl proti sobě zajistíme těla k sobě. Cvaknutí nás ujistí, že je vše provedeno správně.

Ještě jednou provedeme kontrolu správného chodu, tedy několika násobného zmáčknutí dotyku se ujistíme o volném pohybu dotyku bez drhnutí. Pokud bude dotyk drhnout nebo jeho pohyb bude tuhý, bude zapotřebí těla opět od sebe oddělit a závadu opravit.

Nově zvolený design a způsob uložení folie se ukázal jako velice zdařilý. Naměřený průběh pulzní vlny je velice čistý, téměř bez šumu s malým kolísáním. Viz obr. 4.2-5, kde je vidět průběh pulzní vlny v tepně v tříselech. Pro správné interpretování je však potřeba tento graf invertovat v časové ose. Tedy máme nyní maximum dole.



Obr. 4.2-5 Průběh pulzní vlny v tepně v tříselech

Nicméně jsme přistoupili k další úpravě designu v podobě úpravy přední části tonometru. Ploché čelo bylo změněno na kónický tvar pro lepší zacílení měřené tepny.

4.3 Třetí prototyp

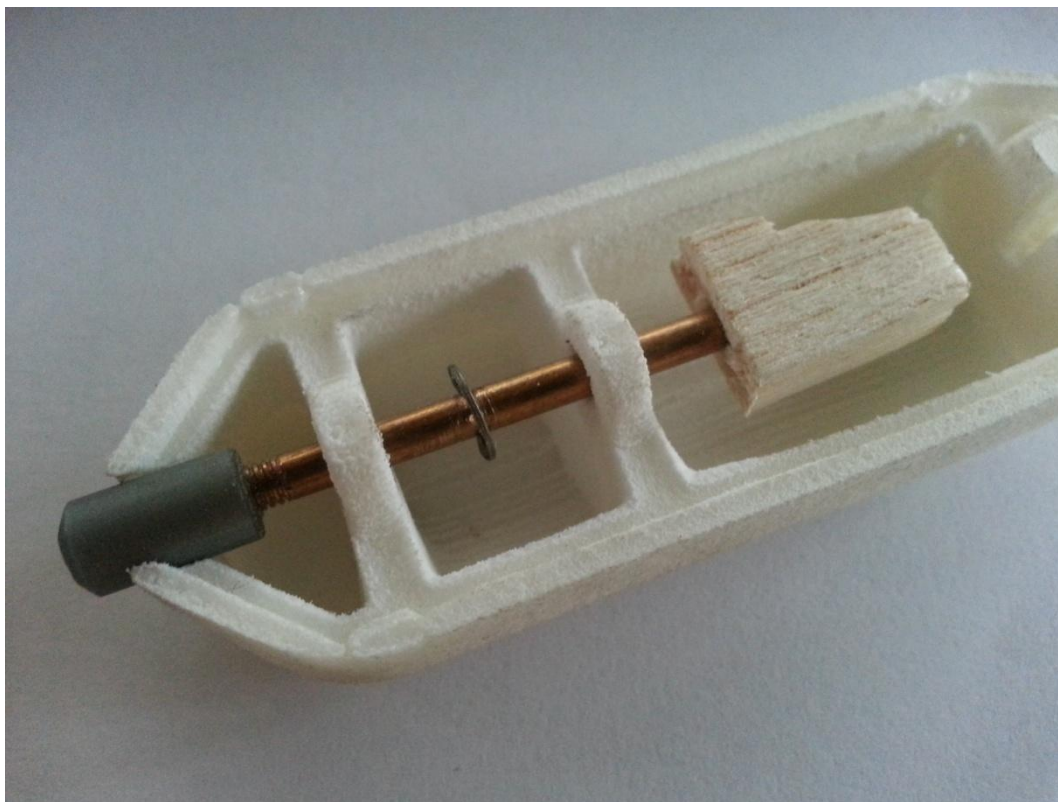
Další úpravou, jak již bylo uvedeno výše, je úprava tvaru čela tonometru. Tato změna spočívá v prodloužení čela těla do kónického tvaru. Tím se snadněji dostaneme k tepně i v hůře dostupném místě. Změna dat pro výrobu tonometru byla jen kosmetická.



Obr. 4.3-1 Změněný tvar čela tonometru

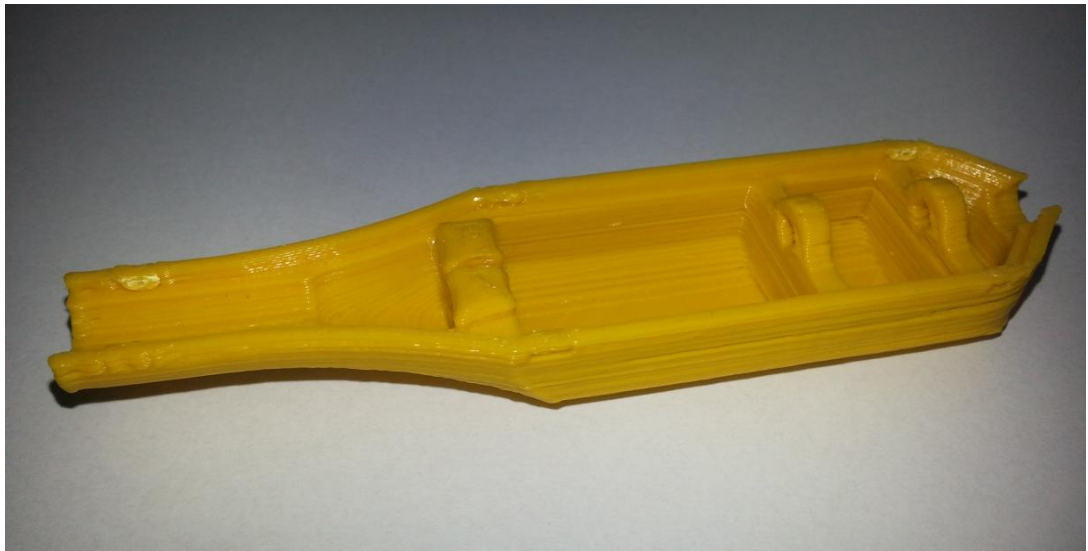
Samotná výroba proběhla na 3d tiskárně pomocí technologie SLS (Selective Laser Sintering) z práškového polyamidu bílé barvy. Vše proběhlo ve firmě Hacker Model Production a.s., které tímto děkuji.

Další možností byla výroba z materiálu ABS také na 3d tiskárně, ale tentokrát dostupnější technologií FDM. Vzhledem ke složitosti tvaru těla tonometru je tato technologie nevhodná.



Obr. 4.3-2 Detail změny čela snímače

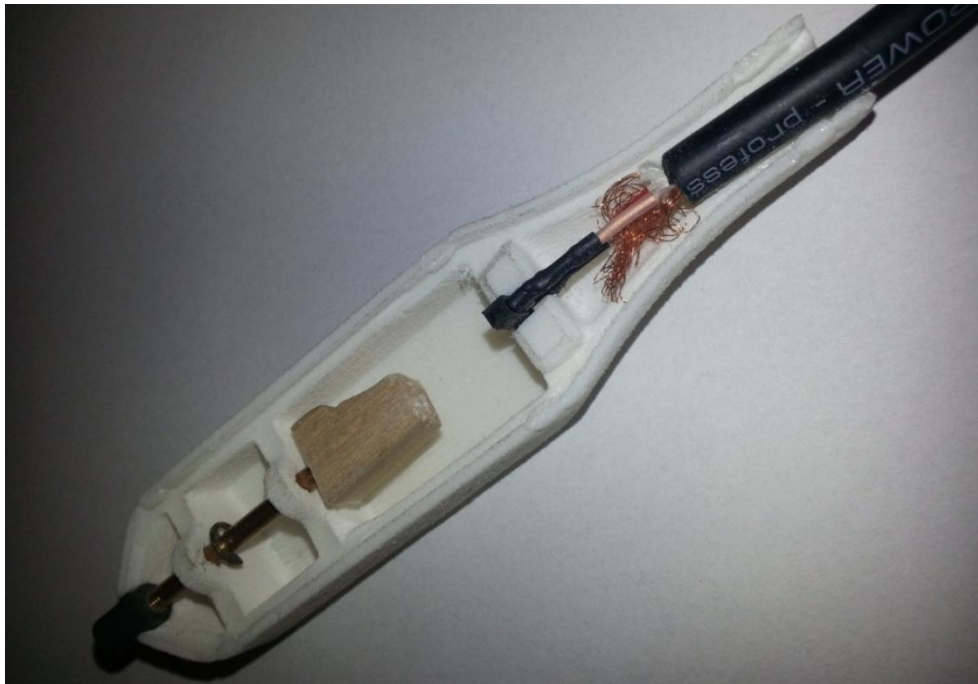
A to zejména k přihlídnutí na tvar zácvaků, které jsou touto technologií vyrobitelné, ale nemohou být funkční. Pevnost materiálu v ose Z není dostatečná pro časté a potřebné rozebírání těla tonometru. I po prvním spojení těl je na zácvacích vidět značné poškození. Viz Obr. 4.3-2.



Obr. 4.3-3 Tělo vyrobené FDM technologií z ABS

Vzhledem k tomuto poškození u FDM modelu byla zachována výroba SLS modelů, u kterých této závadě téměř nedochází.

Při kontrolních měřeních vyšlo najevo, že úprava čela byla zbytečná. Měřící dotyk se lépe dostal na měřící místo, ale tvar těla neumožní dostatečné opření o pokožku. A tím se dotyk nepohybuje nezávisle na vnějším těle, ale pohyb je vzájemně souměrný. Piezoelektrická folie se tedy nestlačuje podle nárůstu tlaku v tepně a na grafu se nezobrazuje žádný průběh.



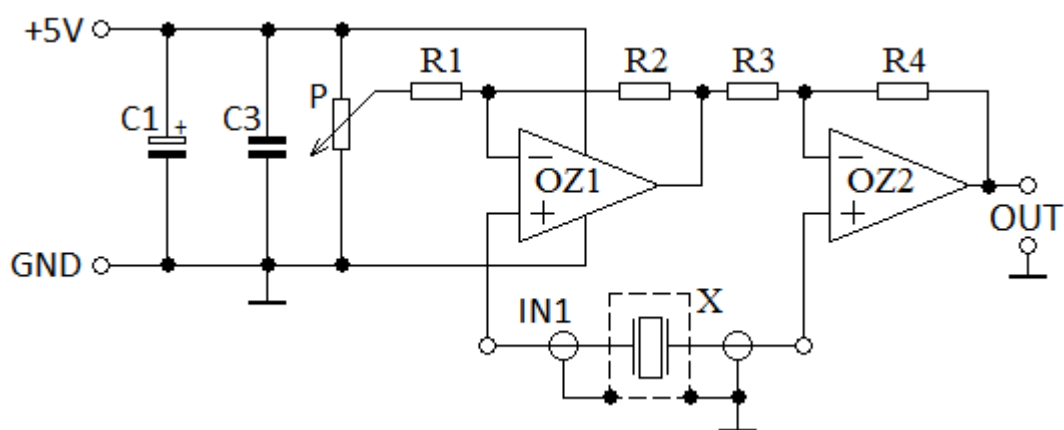
Obr. 4.3-4 Detail vnitřního uspořádání

Na základě této zkušenosti bylo rozhodnuto o návratu k předchozímu tvaru tonometru, který má při měření výborné výsledky. Byla také odstraněna pružina vracející dotyk do výchozí polohy. Toto rozhodnutí proběhlo po diskuzi s vedoucím práce. Ukázalo se, že pružina vnáší do průběhu pulzní vlny nežádoucí kmity navíc, které zkreslují samotnou křivku pulzní vlny.

5 Experimentální část

5.1 Popis přístroje

Jedná se o přístroj vyrobený studenty Přírodovědecké fakulty na univerzitě Hradec Králové. Skládá se ze dvou identických sond, nábojového zesilovače, navržený jiným studentem a analogicko-digitálním převodníkem propojeným do PC nebo laptopu se softwarem LabVIEW, který slouží pro vizualizaci naměřených hodnot. V mém případě se jedná o graf zobrazující průběhy tlaků v krční a tepně v tříslech zároveň.



Obr. 5.1-1 Schéma nábojového zesilovače [8]

Piezoelektrický snímač je tvořen dvěma elektrodami, mezi kterými je vložena a vodivě spojena destička z izolantu. Při mechanickém namáhání vytváří elektrický náboj. Takto vytvořený náboj se nazývá piezoelektrický jev a objevili ho bratři Jacques a Pierre Curie v roce 1880 ve Francii.



Obr. 5.1-2 Piezoelektrická folie [8]

Piezoelektrický jev lze pozorovat pouze u materiálů, které mají krystalovou mřížku bez středu symetrie, například křemen či Siegnettova sůl. [7]

V našem případě jsme využili komerční výrobek piezoelektrické organické folie od firmy Meas, která je vidět na obr. 5.1-2.

5.2 Popis programu LabVIEW

Software LabVIEW (z angl. *Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*), v překladu „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“, je program vyvinutý firmou *National Instruments*.

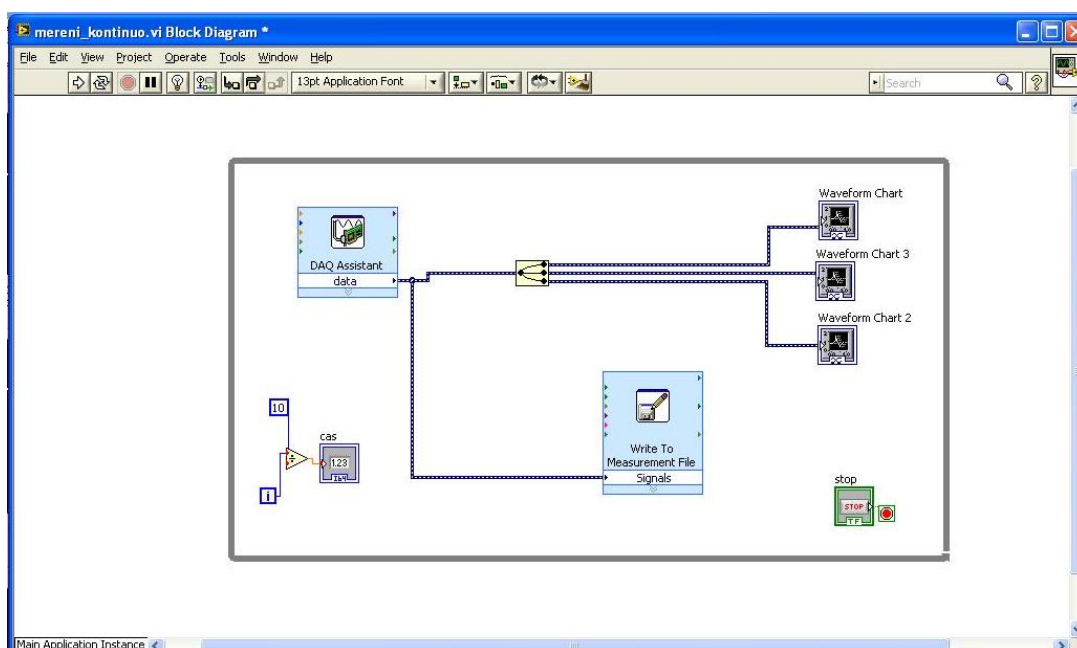
Prostředí LabVIEW, které využívá tzv. grafický jazyk, je vhodné nejen k programování systémů pro měření a analýzu signálů, řízení a vizualizaci technologických procesů různé složitosti, ale také k programování složitých systémů, jako je třeba robotické pracoviště.

Hlavním cílem virtuální instrumentace je nahradit dočasně nebo i trvale prostorově, finančně a mnohdy i časově náročné využití technických prostředků (hardware) řešením virtuálním za přispění programových prostředků (software) a zejména pak grafickými a vizuálními prostředky a zprostředkovat tak uživateli maximální názornost. Toto řešení umožňuje rychlé navrhování nových aplikací a provádění změn v konfiguraci, což je u realizace skutečnými nástroji za pomoci reálných součástek často velice nákladné ba přímo nemožné. [2]

5.3 Virtuální zařízení

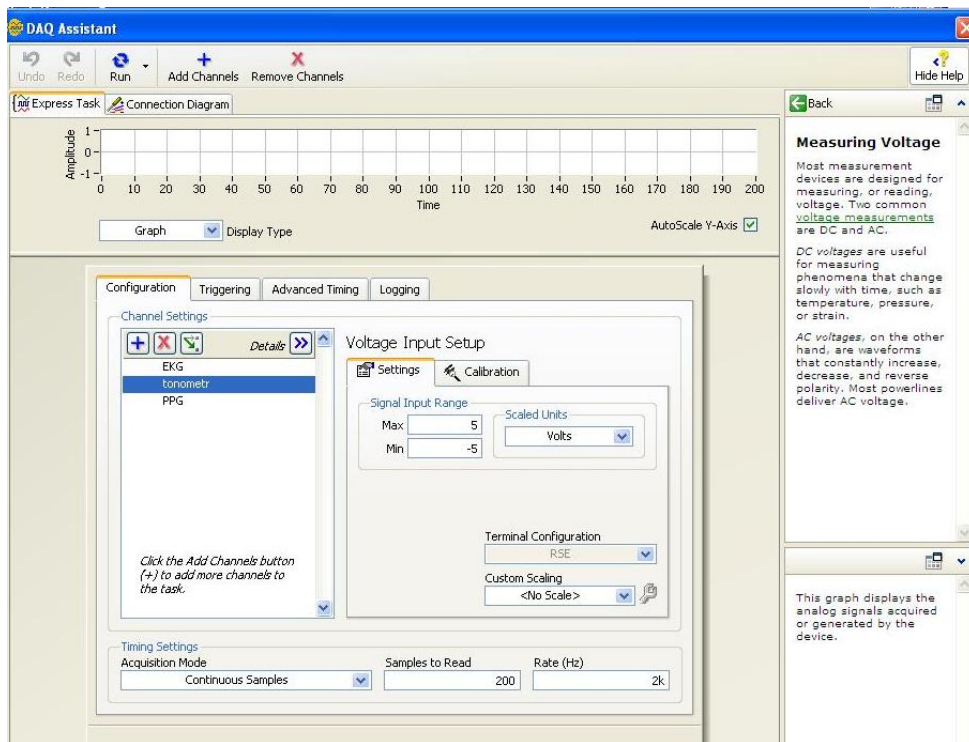
Na obr. 5.3-1 je zobrazena obrazovka se zapojením obou tonometrů a EKG pro určení počátku nástupu pulzní vlny. Všechna tři měření jsou zobrazována v grafech.

Zapojení se skládá, ze sběrače dat, rozdělovače pro zobrazení signálů v jednotlivých grafech a zapisovače dat do textového souboru. [2]

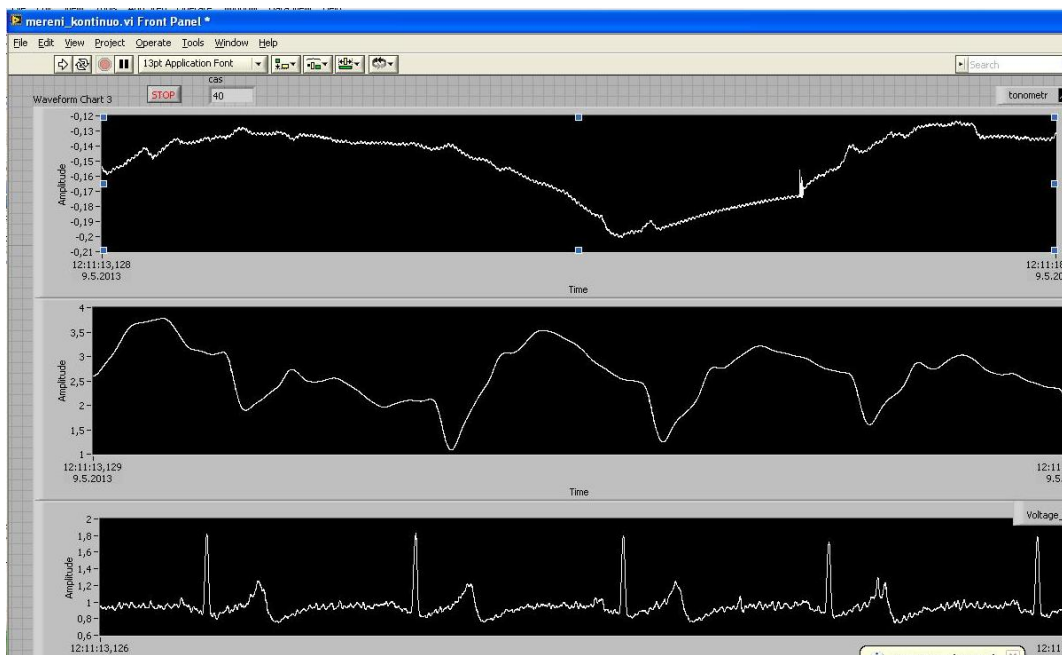


Obr. 5.3-1 Blokové schéma zapojení v NI LabVIEW

Pro každý způsob je potřeba ještě nakonfigurovat vlastnosti vstupního kanálu. Jsou to rozsahy napětí $\pm 5V$, jednotky volty a vzorkování 2000vz/s. Obr. 5.3-2. [2]



Obr. 5.3-2 Konfigurace [2]



Obr. 5.3-3 Zobrazení grafů v prostředí LabVIEW – horní kanál je nepřipojený, v prostřední je obrácený výstup z tonometru a spodní kanál je výstup z EKG [2]

Jednotlivá měření jsme zobrazovali do grafů, na kterých je názorně vidět jednotlivé průběhy pulzních vln.

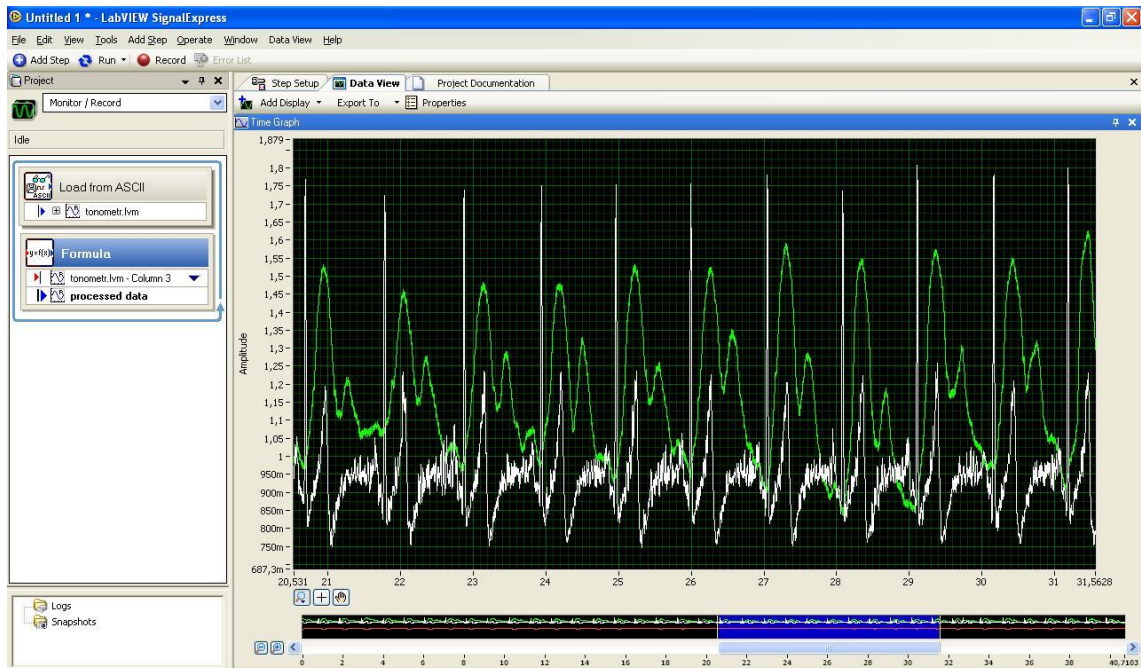
5.4 Měření

Měření bylo realizováno ve fyzikální laboratoři LFY3 v budově C na náměstí Svobody v Hradci králové za přítomnosti vedoucího práce pana Daniela Jezbery a studenta Petra. Vaňka.

Samotnému měření předcházela kontrola měřících tonometrů a zapojení celého měřícího aparátu. Následovalo spuštění potřebného softwaru a samozřejmě proběhla jeho konfigurace pro měření a zobrazení výsledků měření obou tonometrů.

Zobrazení je z technických důvodů nutno separovat do dvou grafů umístěných pod sebou pro lepší porovnání. Zobrazení do jednoho grafu není vhodné, protože každá z piezoelektrických folií není stejnoměrně zatížená a tím dává jiný rozsah hodnot. V jednom grafu jsou naměřené průběhy pulzní vlny každý v jiném měřítku a tím pádem špatně interpretovatelné.

První měření proběhlo za použití jen jednoho z tonometrů a měřena byla krční tepna. Pro kontrolu jsme ještě připojili měření EKG, viz obr. 5.4-1. Po té se sonda vyměnila za druhou a měření se opakovalo. Tím to úkonem jsme zjistili, že tonometry správně fungují a můžeme přistoupit k vlastnímu měření průběhu pulzní vlny na krční tepně a tepně v tříselech.

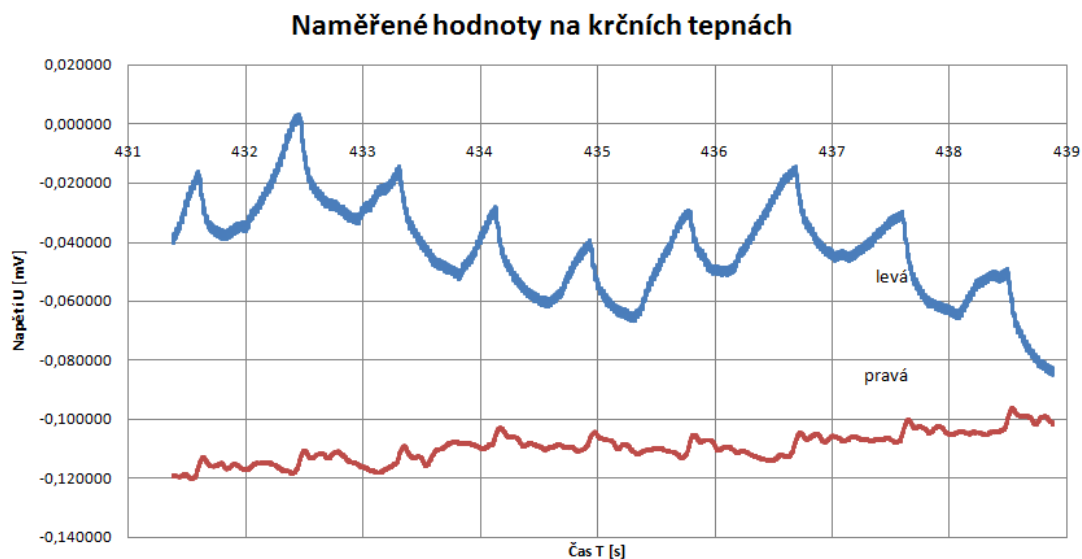


Obr. 5.4-1 Společné výstupy z měření tonometru a EKG, grafy jsou posunuty, aby se překrývaly [2]

Před vlastním měřením jsme ještě provedli měření na levé i pravé krční tepně s oběma tonometry zároveň. Na obrázku Obr. 5.4-2 je vidět porovnání náběhů pulzních vln. Z naměřených průběhů je vidět, že oba tonometry nemají stejný průběh. Druhý exemplář nepracuje správně a jeho naměřený průběh neodpovídá předpokládanému průběhu.



Obr. 5.4-2 Pulzní vlny na levé i pravé krční tepně zároveň



Obr. 5.4-3 Výřez z výstupů ze dvou tonometrů na pravé a levé karotidě. Je vidět, že druhý tonometr (levá karotida) má zdeformovaný průběh, nicméně doba průchodu pulzu je zde zřetelně vidět.

Měření na dvou místech probíhá v součinnosti obou zúčastněných osob, protože nelze, ba je velice obtížné sledovat oba grafy a korigovat přítlak na obou tonometrech zároveň. Měřená osoba, v tomto případě pan Jezbera, obsluhuje jeden tonometr, který měří průběh pulzní vlny tepnou v tříselech. Druhá osoba, student Vaněk, obsluhuje tonometr měřící průběh v krční tepně.

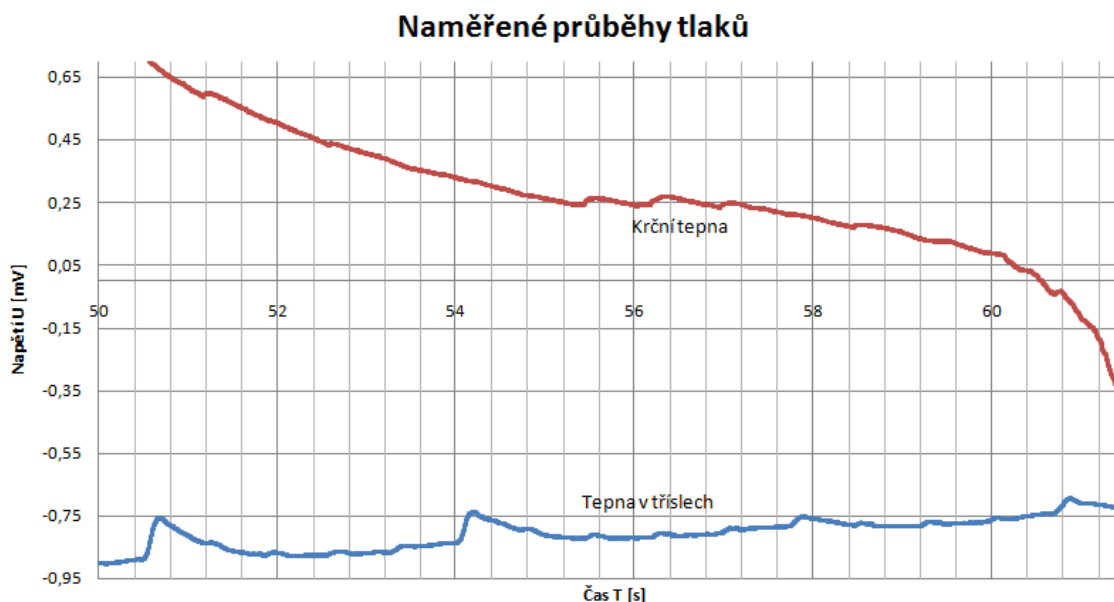
Naměřené hodnoty, které se dají dobře zpracovat, tedy nalézt průběhy pulzních vln tak, aby byly, na obou grafech, dobře patrné není nijak jednoduché. Měřená osoba se nesmí téměř hýbat. Jelikož se měří na krční tepně tak nesmí polykat, neboť se tím změní napětí na krku a v tu chvíli ztratíme kontakt s tepnou a tím i cenná data.

Jako první je nalezen průběh na krční tepně. Po delší námaze byl nalezen průběh na tepně v tříselech. Měření proběhlo několikrát za sebou, to z důvodu většího objemu naměřených hodnot pro vybrání dobře čitelných průběhů pulzních vln.

Na obrázku Obr. 5.4-4 jsou vidět průběhy pulzních vln. Horní představuje pulzní vlnu na krční tepně a dolní je průběh vlny v tepně v tříselech. Názorně je zde vidět, že nástup pulzní vlny v tříselech je opožděn oproti vlně na krční tepně. To je způsobeno vzdáleností mezi měřenými místy v oběhové soustavě.



Obr. 5.4-4 Průběhy pulzních vln na krční a tepně v tříselech



Obr. 5.4-5 Výstup z tonometru v tříselech (dolní) a na krkavici (horní)

Proměřením vzdálenosti mezi místy měření se dají vyvodit určité lékařské závěry, které jsou popsány v teorii, ale z naměřených průběhů nešlo přesně stanovit začátky pulzů, takže výpočet rychlosti pulzní vlny by byl velmi nepřesný.

Absolutní hodnota na ose Y samozřejmě neodpovídá přesné hodnotě tlaku v tepně. Důvodem je neznámý převod mezi výstupním napětím tonometru a skutečným tlakem v tepně. Takový převod by bylo potřeba nejprve proměřit a výsledky důsledně podložit výsledky měření certifikovaným přístrojem.

6 Závěr

V této diplomové práci jsme si připomněli teorii a vývoj dotykového tonometru pro neinvazivní měření pulzní vlny procházející krevním řečištěm. Měření probíhalo na dvou místech najednou a to na krční tepně karotidě a tepně v tříslech femuru.

Z našich experimentů se ukázalo, že toto měření není praktické. Nalezení pulzu (pulzní vlny) není jednoduché a i zkušený vyšetřovatel by měl problém nahmatat i naměřit pulzy na dvou místech najednou. Proto se v praxi přistupuje k měření jediným tonometrem nejprve na jednom místě a následně na druhém. Naměřené hodnoty se poté analyzují a porovnávají se s naměřeným EKG a z těchto dat se vy počítávají časové rozdíly.

Navržený tonometr je pro tato měření použitelný. Avšak chybí přesný převod mezi výstupním napětím z piezoelektrické folie a přesnou hodnotou tlaku v tepně. Tento převod je sice potřeba pro měření průběhu pulzní vlny, ale není nutný pro stanovení rychlosti pulzní vlny, která byla cílem mojí práce.

7 Použitá literatura

- [1] Paolo Salvi, Pulse Waves: How Vascular Hemodynamics Affects Blood Pressure, Anglicky, ISBN: 8847024382, 2012, 150stran [citace 17.5.2015]
- [2] Vaněk, Petr - Vývoj dotykového tonometru pro měření tlaku v tepnách, Bakalářská práce, 2013, Univerzita Hradec Králové [citace 26.4.2015]
- [3] Mudr. Šimáček Jan CSc., Základy biologie člověka[online]. 2004, Brno. Dostupné z: <http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/somatologie.pdf> [citace 23.5.2015]
- [4] Oběhová soustava, Wikipedia [online], dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Ob%C4%9Bhov%C3%A1_soustava [citace 16.8.2015]
- [5] Rtuťový tonometr, obrázek, [online], dostupné z: http://www.tonometr-tlakomer.cz/uws_images/tonometry/rtutovy-tonometr.jpg [citace 16.8.2015]
- [6] Pneumatický tonometr, obrázek, [online], dostupné z: <http://www.lamipromed.cz/tmp/products/screen/kzj5q-digitalni-tonometr-omron-r3.jpg> [citace 16.8.2015]
- [7] Krevní tlak, compex.zdravi-cz.eu [online], dostupné z: <http://compex.zdravi-cz.eu/krevni-tlak.php> [citace 16.8.2015]
- [8] Raisner, Jiří, Zesilovač signálů z piezosensorů, Bakalářská práce, 2012, Univerzita Hradec Králové [citace 18.8.2015]

8 Seznam obrázků

Obr. 2.1-1 Kardiovaskulární systém člověka - červeně tepny, modře žíly

Obr. 2.1-2 Změna hodnoty tlaku se vzdáleností od srdce

Obr. 2.1-3 Zobrazení cév v prstech ruky zobrazené metodou angiografie

Obr. 2.1-4 Složení krevního tlaku

Obr. 2.2-1 Rtuťový tonometr

Obr. 2.2-2 Pneumatický tonometr

Obr. 2.2-3 Zobrazení měření rychlosti pulzní vlny dvěma tonometry

Obr. 2.2-4 Měření pulzních vln na laboratorní kryse pomocí dvou tonometrů

Obr. 2.2-5 Naměřené průběhy pulzních vln a jejich viditelné posunutí

Obr. 3.1.2-1 Ukázka Rapid Prototype modelu

Obr. 4.1-1 Virtuální modely součástí snímače

Obr. 4.1-2 Pohled na mechanismus tonometru

Obr. 4.1-3 Dotykový tonometr

Obr. 4.1-4 Průběh pulzní vlny prvního tonometru

Obr. 4.2-1 Virtuální model druhého prototypu, který slouží pro výrobu na 3D tiskárně

Obr. 4.2-2 Nový design tonometru

Obr. 4.2-3 Obě poloviny tonometru

Obr. 3.1-4 Uchycení piezoelektrické folie

Obr. 4.2.1-1 Dotyk s osou

Obr. 4.2.1-2 Sestavený dotyk

Obr. 4.2.1-3 Sestavený dotyk se spodním tělem a pojistný kroužek

Obr. 4.2.1-4 Spodní tělo a dotyk folie

Obr. 8.2.1-5 Připravené tělo snímače pro vložení folie

Obr. 4.2.1-6 Připravené tělo snímače pro vložení folie

Obr. 4.2.1-7 Sestavené spodní tělo snímače

Obr. 4.2-5 Průběh pulzní vlny v tepně v tříselech

Obr. 4.3-1 Změněný tvar čela tonometru

Obr. 4.3-2 Detail změny čela snímače

Obr. 4.3-3 Tělo vyrobené FDM technologií z ABS

Obr. 4.3-4 Detail vnitřního uspořádání

Obr. 5.1-1 Schéma nábojového zesilovače

Obr. 5.1-2 Piezoelektrická folie

Obr. 5.3-1 Schéma zapojení

Obr. 5.3-2 Konfigurace

Obr. 5.4-3 Zobrazení grafů

Obr. 5.4-1 Společné výstupy z měření tonometru a EKG, grafy jsou posunuty, aby se překrývaly

Obr. 5.4-2 Pulzní vlny na levé i pravé krční tepně zároveň

Obr. 5.4-3 Výřez z výstupů ze dvou tonometrů na pravé a levé karotidě. Je vidět, že druhý tonometr (pravá karotida) má zdeformovaný průběh, nicméně doba průchodu pulzu je zde zřetelně vidět.

Obr. 5.4-4 Průběhy pulzních vln na krční a tepně v tříslech

Obr. 5.4-5 Výstup z tonometru v tříslech (dolní) a na krkavici (horní)