

## **Závěrečná zpráva projektu specifického výzkumu – zakázka č. 2101**

**Název projektu:** Studium šíření pulsní vlny na modelu části kardiovaskulárního systému

### **Specifikace řešitelského týmu**

Odpovědný řešitel: RNDr. Jan Kříž, Ph.D.

Studenti doktorského studia na PdF UHK: Mgr. Kateřina Vondřejcová, Mgr. Cyril Havel,  
Mgr. Markéta Klimentová, Mgr. Petr Nezavdal

Studenti magisterského studia na PdF UHK: ---

Školitelé doktorandů: Prof. RNDr. Ivo Volf, C.Sc. (KB), Prof. RNDr. Bohumil Vybíral, C.Sc. (CH),  
Doc. RNDr. Josef Hubeňák, C.Sc. (MK), Doc. RNDr. Zdeněk Kluíber, C.Sc.  
Ph.D. (PN)

Další výzkumní pracovníci: RNDr. Daniel Jezbera, Prof. RNDr. Petr Šeba, Dr.Sc.

*Pozn: Školitelé doktorandů se na projektu přímo nepodíleli.*

**Celková částka přidělené dotace:** 60 000 Kč

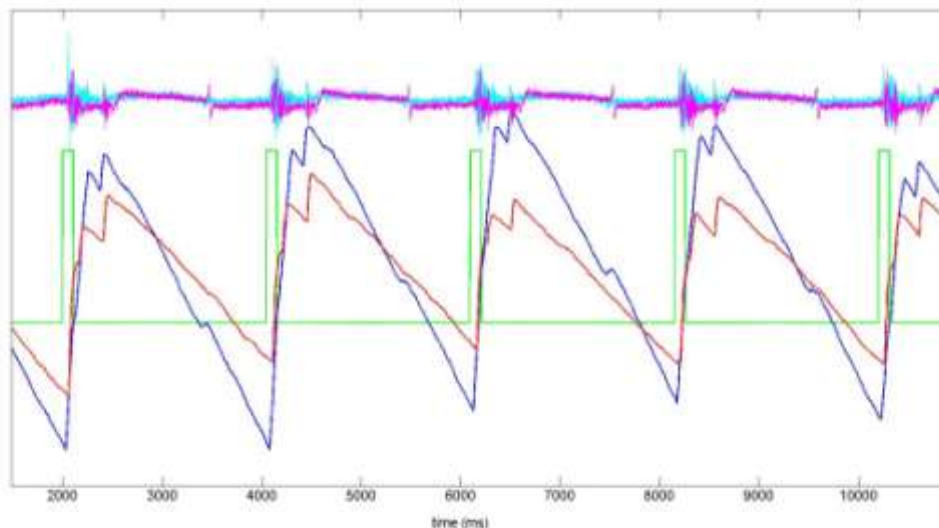
### **Stručná charakteristika projektu:**

Řešený projekt přímo navazoval na projekt specifického výzkumu "Modelování šíření pulsní vlny v krevním oběhu a studium lidské stabilografie" řešený na PdF UHK v roce 2009. Plánovali jsme využít v roce 2009 vytvořený model části kardiovaskulárního systému k dalšímu studiu šíření pulsní vlny. Zejména jsme zkoumali závislost rychlosti pulsní vlny na tlaku v systému a dále tvar pulsní vlny a její disperzi. K měření jsme využívali dva tříosé akcelerometry připevněné na pružné trubici modelu části kardiovaskulárního systému, vyvinutého v roce 2009, bailstokardiografické lůžko zapůjčené PdF firmou Linet, s. r. o. a dále vysokorychlostní kameru zakoupenou v rámci projektu.

### **Průběh a výsledky projektu**

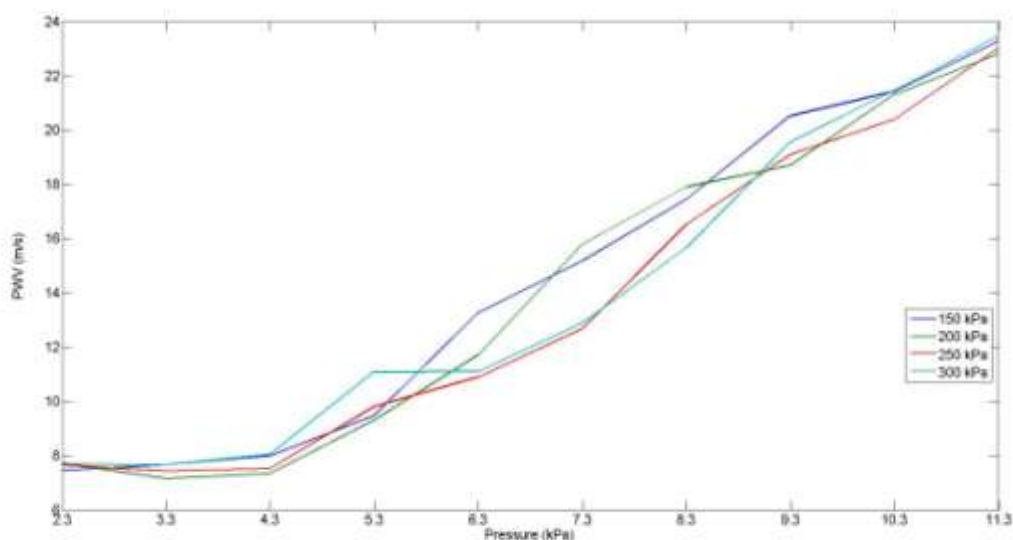
V první etapě řešení projektu (březen – červen) se podařilo naměřit dostatečné množství dat na modelu části kardiovaskulárního systému pro další zpracování zejména zásluhou intenzivní práce studentů. V tomto období se také ukázalo, že pro matematické určení rychlosti pulsní vlny z dat naměřených akcelerometry bude vhodné použít jistý geometrický invariant naměřených časových řad. Chápeme-li tři signály naměřené každým z akcelerometrů jako křivku v třírozměrném prostoru, je významným geometrickým invariantem tzv. délka oblouku dané křivky. Pokud by na měřeném modelu nedocházelo k mechanickým událostem, byly by hodnoty z akcelerometrů konstantní (nulové v obou vodorovných směrech a rovné tíhovému zrychlení ve svislém směru) – signálová křivka by byla rovná úsečka v třírozměrném prostoru rovnoměrně se prodlužující s časem. Délka křivky by pak byla lineární funkcí času. Jakmile ale dojde k mechanické události – průchodu pulsní vlny místem, kde je upevněn akcelerometr, dochází k prudkým změnám naměřených zrychlení a také k prudkým změnám v nárůstu délky signálové křivky. Odstraníme-li tedy ze závislosti délky oblouku křivky na čase lineární trend, dostaneme přesnou časovou identifikaci mechanických událostí. Příklad délek oblouků křivky zbavených lineárního trendu v porovnání se signály přímo z akcelerometrů je na obr. 1. Časové zpoždění

minim na těchto křivkách dává společně se změřenou vzdáleností obou akcelerometrů rychlost šíření pulsní vlny. Tato metoda je zcela nezávislá na poloze akcelerometrů na pružné trubici. Stejnou polohu akcelerometru ve všech měřeních nebylo možné v našich podmínkách zajistit.



Obr. 1 - Ukázka záznamu pěti pulsů. Zelenou barvou je elektrický signál, který spíná ventil, azurovou barvou signál z prvního akcelerometru ve svislém směru, fialovou barvou signál z druhého akcelerometru ve svislém směru, modrá barva je délka oblouku signálové křivky prvního akcelerometru zbavená lineárního trendu, červenou barvou je délka oblouku signálové křivky z druhého akcelerometru zbavená lineárního trendu.

V další fázi projektu byla naměřená data vyhodnocována. Byla např. opakovaně prokázána lineární závislost rychlosti šíření pulsní vlny na tlaku v systému (v jistém intervalu tlaků), což je ve shodě s literatuře publikovanými výsledky, viz obr. 2.



Obr. 2 – Závislost rychlosti pulsní vlny na tlaku v systému pro 4 různé tlaky v tlakové láhvi používané společně s pulsně spínaným ventilem jako zdroj pulsů. Od tlaku 4,3 kPa je patrný lineární nárůst rychlosti pulsní vlny.

Dalšímu úspěšnému pokračování projektu pak bohužel zabránila skutečnost, že díky dočasnému zákazu nákupu výpočetní a audiovizuální techniky na UHK nebylo možné zakoupit vysokorychlostní kameru. Pomocí této kamery jsme chtěli přímo potvrdit správnost našich předpokladů o určování rychlosti šíření pulsní vlny. Kameru se podařilo zakoupit až v závěru roku 2010. Okamžitě jsme provedli několik měření, nicméně jsme zatím nestačili výsledky tohoto porovnání sepsat v podobě článku.

Doba řešení projektu (duben – prosinec jednoho kalendářního roku) je příliš krátká na to, aby studenti stihli získat výsledky v rámci projektu, přihlásit se na konferenci a výsledky tam prezentovat. Jelikož je z hlediska odborného růstu studentů velmi žádoucí, aby se konferencí zúčastňovali, umožnili jsme jim z prostředků projektu cestovat na mezinárodní konferenci DIDFYZ 2010 s podmínkou, že se musí zúčastnit aktivně. Některá z níže uvedených vystoupení na konferencích jsou tedy starší výsledky studentů zapojených do řešení projektu.

V současnosti není z projektu žádný výstup v impaktovaném nebo alespoň recenzovaném časopise. Podle našeho názoru jsme ale dosáhli výsledků, které po dopracování lze úspěšně publikovat. Máme k dispozici materiály, které se po zpracování měření vysokorychlostní kamerou pokusíme publikovat v mezinárodním recenzovaném časopise. Plánujeme v blízké budoucnosti odeslat do recenzovaných časopisů dva články – jeden by shrnoval výsledky projektu specifického výzkumu z roku 2009 a zároveň část výsledků projektu specifického výzkumu z roku 2010 týkající se konstrukce modelu části kardiovaskulárního systému a měření rychlosti šíření pulsní vlny na něm. Na sepsání tohoto článku již jsme začali pracovat, měl by obsahovat oba výše uvedené obrázky. Druhý článek by se potom týkal studia tvaru a disperze pulsní vlny, týkal by se tedy výhradně výsledku projektu specifického výzkumu z roku 2010.

### **Kontrolovatelné výsledky řešení**

- a) Vystoupení na mezinárodní konferenci DIDFYZ 2010 „Aktuálne problémy fyzikálneho vzdelávania v európskom priestore“ (20. - 23. 10. 2010, Račkova dolina - Západné Tatry)
  - Petr Nezavdal: Tracker - software na analyzování videa
  - Kateřina Vondřejcová: Životy fyziků v úlohách a experimentech
  - Markéta Klimentová, Petr Nezavdal, Miroslav Tobyška: Experimenty na základních školách a víceletých gymnáziích – elektřina a magnetismus
  
- b) Publikace
  - Petr Nezavdal, *Tracker - software na analyzování videa*, to appear in DIDFYZ 2010 Aktuálne problémy fyzikálneho vzdelávania v európskom priestore.
  - Cyril Havel, Daniel Jezbera, Jan Kříž, Petr Nezavdal, Petr Šroll, *Pulse wave velocity measurement on the simple model of cardiovascular system*, in preparation.
  - Daniel Jezbera, Markéta Klimentová, Jan Kříž, Petr Nezavdal, Kateřina Vondřejcová, *The shape and dispersion of the pulse wave on the simple model of cardiovascular system*, in preparation.

## Hospodaření

Dotace: 60 000 Kč

Náklady	Plán	Skutečnost
Osobní náklady	0 Kč	16 000 Kč
Mimořádná stipendia	36 000 Kč	18 500 Kč
Materiálové náklady	24 000 Kč	25 828 Kč
Další náklady	0 Kč	0 Kč
CELKEM	60 000 Kč	60 328 Kč

Podrobné vyúčtování: (viz též příloha č. 1)

a) osobní náklady – celkem 16 000 Kč

Mgr. Havlovi byla vyplacena mzda ve výši 5750 Kč, Mgr. Klimentové mzda ve výši 10 250 Kč. Podrobnější zdůvodnění, viz odstavec Zdůvodnění přesunů.

b) stipendia a jejich stručné zdůvodnění – celkem 18 500 Kč

Mgr. Nezavdalovi bylo vyplaceno stipendium ve výši 9500 Kč a Mgr. Vondřejcové ve výši 9000 Kč. Část stipendia (4000 Kč) pokrývalo náklady studentů na cestu a pobyt na konferenci DIDFYZ v Ráčkovej dolině na Slovensku. Stipendium bylo vyplaceno po předložení dokladů o zaplacení konferenčního poplatku (112 EURO) zahrnujícího i ubytování a stravování a dále jízdenek. Stipendium ve výši 5000 Kč bylo navrženo za časově náročnou práci (zejména sběr dat) mimo běžné studijní povinnosti. Mgr. Nezavdal také dvakrát cestoval do Prahy na konzultaci s odborníky z FJFI ČVUT, proto mu bylo vyplaceno dalších 500 Kč.

c) materiálové náklady: 25828 Kč.

Byla zakoupena rychlokamera schopná zaznamenat 1000 snímků za sekundu s příslušenstvím celkově za 8700 Kč. Dále jsme zakoupili tonery do tiskárny používané v projektu (6623 Kč), kancelářský materiál (1332 Kč), USB flash disk na přenos dat (390 Kč), tonometr na měření tlaku (2099 Kč), laboratorní zdroj na pohon minikompressoru a generátoru pulsů (4852 Kč) a drobný materiál v celkové ceně 1832 Kč.

Zdůvodnění přesunů: Jelikož Mgr. Cyril Havel a Mgr. Markéta Klimentová v průběhu řešení projektu přestoupili z denní formy studia do kombinované, nebylo možné jim vyplatit mimořádné stipendium. Proto jim odměna a v případě Mgr. Klimentové i pokrytí účasti na konferenci DIDFYZ bylo uhrazeno formou mzdy na základě uzavřené dohody o provedení práce. Oproti plánu se Mgr. Havel nezúčastnil konference DIDFYZ a nebylo mu tedy vyplaceno 4000 Kč pokrývající náklady spojené s touto konferencí. Tyto prostředky byly využity následujícím způsobem – 2000 Kč na navýšení mzdových prostředků pro Mgr. Klimentovou a Mgr. Havla (kompenzace daně ve výši 15%), 500 Kč navíc na mimořádné stipendium pro Mgr. Nezavdala za 2 cesty do Prahy na konzultace spojené s řešením projektu, 1828 Kč navýšení materiálových nákladů.

## Přílohy

1. Výpis účetnictví projektu
2. Výpis z OBD
3. Rukopis článku, který se objeví ve sborníku konference DIDFYZ 2010

Datum: 3. 1. 2011

Podpis odpovědného řešitele