



PROBLÉMOVÉ SITUACE S GRANTOVÝMI PROJEKTY Z BIOMECHANIKY ČLOVĚKA

P. Janíček^{*}, J. Burša^{*}, V. Fuis^{}, F. Pešlová^{***}**

Úvod

V příspěvku jsou analyzovány dvě problémové situace, s kterými se setkáváme při podávání grantových projektů z biomechaniky člověka do Grantové agentury České republiky (dále GAČR) z hlediska jejich navrhovatelů. Odmyslíme-li různé subjektivní důvody neudělení, pak první problémovou situací je absence sekce „bioinženýrských věd“ v této agentuře a druhou existující názor, že bádání v těchto vědách nepatří do základního výzkumu, který GAČR preferuje. Následující text se uvedené skutečnosti snaží analyzovat.

Bioinženýrské obory a biomechanika

Za počátek vzniku bioinženýrských oborů lze považovat šedesátá léta minulého období, tedy období, kdy nastává velký zvrat v oblasti vědeckého poznávání (Janíček, 2007 - str. 82). V uvedené publikaci jsou bioinženýrské obory rozděleny do tří základních skupin. První skupinu tvoří obory v nichž se poznatky z biooborů aplikují v technice, ve druhé skupině je tomu naopak a třetí skupinu tvoří obory, které souvisí s podstatou inženýrství tedy s tvořivostí a vynalézáním.

Do první skupiny, nazvané „od přírody k technice“ patří bionika, biorobotika, biotechnologie, kybernetika, umělé inteligence, molekulová elektronika atd. Druhá skupina „od techniky k přírodě“ je tvořena: bioinženýrstvím, inženýrstvím medicínským, klinickým, rehabilitačním, konstruktivním medicínským, chemickým biomateriálovým, dále biokybernetikou, neurokybernetikou a biomechanikou. Třetí skupina „k podstatě inženýrství“ je tvořena prakticky medicínskými obory, tj. inženýrstvím genetickým, genovým, proteinovým, buněčným a tkáňovým, též genomikou a klonováním.

^{*} prof. Ing. Přemysl Janíček, DrSc., FENG: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno, tel.: +420 541 142 807 e-mail:janicek@fme.vutbr.cz

^{*} doc. Ing. Jiří Burša, Ph.D.: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno, tel.: +420 541 142 868 e-mail:bursa@fme.vutbr.cz

^{**} Ing. Vladimír Fuis, Ph.D.: Centrum Mechatroniky - Ústav Termomechaniky AV ČR, v.v.i a : Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno, tel.: +420 541 142 891, e-mail:fuis@fme.vutbr.cz

^{***} prof. Ing. Františka Pešlová, Ph.D.: Ústav materiálového inženýrství, Strojní fakulta ČVUT Praha, Karlovo náměstí 10100 Praha, e-mail: Frantiska.Peslova@fs.cvut.cz

Biomechanika je v pojetí (Janíček, 2007 - str. 86) vymezena jako obor, který přispívá k řešení těch biologických a medicínských problémů, jejichž součástí jsou i podproblémy mechanického charakteru, tzv. „**problémy biomechanické**“. K jejich řešení se využívají poznatky, přístupy, metody a teorie mechaniky. Biomechanické problémy se řeší na „**biomechanických objektech**“, které mohou mít nejrůznější charakter. Mohou to být prvky flóry nebo fauny, u biomechaniky člověka to může být objekt technický, a to v různé interakci s lidským organizmem (implantát, fixátor), nebo je to sám lidský organizmus jako celek, či jeho neoddělená (in vivo) resp. oddělená část (in vitro).

Biomechanika je tedy vymezena jako obor, který využívá vše z mechaniky pro řešení problémů v oblasti biooborů, především v medicíně a biologii. Zcela obdobná vymezení mají i další obory využívající mechaniku. Je to např. inženýrská mechanika, která využívá mechaniku v inženýrských odvětvích, geomechanika, využívající mechaniku v oblasti geologie atd.

Biomechaniku lze členit podle různých kritérií takto:

- ❶ Podle **typu bioobjektu**, na němž se řeší biomechanický problém, biomechaniku člověka, biomechaniku zvířat a biomechaniku rostlin.
- ❷ Podle **odvětví mechaniky**, které se využívá při řešení biomechanického problému na biotermomechaniku, biohydromechaniku, bioaerodynamiku a biomechaniku tuhé fáze (biostatika, biokinematika, biodynamika a bioelasticita). Bioelasticita se zabývá analýzou deformací a napětí u bioobjektů, porušováním soudržnosti bioobjektů, a to pro jejich různá chování (elastická, elasto-plastická, vizkoelastická, při malých či velkých deformacích) a při jejich různých strukturách (izotropních až anizotropních).
- ❸ Podle **typu modelování**, které se využívá při řešení problémů biomechaniky člověka (experimentální biomechanika, výpočtová biomechanika).
- ❹ Podle **cílového chování biomechaniky**; patří se biomechanika poznávací, klinická, konstruktivní, kriminalistická, sportovní a interakční.
- ❺ Podle **prvků struktury lidského těla**, kterými se zabývá klinická a poznávací biomechanika na biomechaniku svalově-kosterní soustavy (biomechanika kloubů, biomechanika páteře, biomechanika krátkých a dlouhých kostí, biomechanika svalů), biomechaniku srdečně-cévní soustavy (biomechanika srdce, biomechanika cév, biomechanika žil), biomechaniku dentální soustavy, biomechaniku sluchové soustavy, biomechaniku vyměšovací soustavy atd.
- ❻ Podle **cílového chování biomechaniky** lze ji členit takto:

Poznávací biomechanika – má charakter cílevědomého, systematického a objektivizovaného poznávání bioorganismů z určitého vymezeného hlediska s využitím mechaniky. Především jde o poznávání vlastností a chování prvků a jejich vazeb v bioobjektu, vlastností a chování bioobjektů jako celku a jeho vazeb s okolím. Patří sem např. výzkum mechanických vlastností tkání, jejich chování při zatížení, mezních stavů tkání, výzkum vlastností a proudění biotekutin, kinematika a dynamika svalově-kosterní soustavy apod.

Klinická biomechanika – zabývá se řešením konkrétních klinických problémů u bioobjektů, v jejichž struktuře (prvky, vazby) nastal patologický stav, přičemž existuje vysoká pravděpodobnost, že propojením lékařských a inženýrských přístupů, případně s využitím technických objektů implantátů, lze patologický stav zcela nebo částečně odstranit. Klinickou biomechaniku lze členit na bezimplantační (např. biomechanické návrhy na operační rekonstrukci patologicky vyvinutých velkých kloubů) dočasně nebo trvale implantační (např. určování deformačně-napětových stavů v prvcích endoprotéz a okolních tkáních).

Konstruktivní biomechanika – cílem je využití poznatků a metod mechaniky při návrhu a realizaci technických objektů s určitým cílovým chováním, které slouží k řešení klinických problémů. Technické objekty mohou mít různorodý charakter: od chirurgických a ortopedických pomůcek, přes dočasné nebo trvalé implantáty až po zařízení pro udržení nebo obnovu fyziologických funkcí.

Kriminalistická (forezní) biomechanika – je souborem kriminalistických přístupů a metod využívajících poznatky mechaniky k získání a rozšiřování informací o příčinách trestného činu, o objektech podílejících se na jeho realizaci a o charakteristikách pachatele, to vše na základě známých informací o důsledcích a okolnostech trestného činu. Je to kriminalistika lidských stop v obousměrné interakci „člověk – okolí“, která obsahuje informaci dekodovatelnou s využitím poznatků mechaniky.

Sportovní biomechanika – je oborem využívajícím poznatky mechaniky při řešení problémů souvisejících se sportovní činností člověka, zejména při:

- zvyšování jeho sportovních výkonů,
- objektivizaci odezev sportovních činností (zejména gymnastika, volejbal, kopaná, házená, hokej, box, vzpírání) na vlastnosti a chování prvků struktury organismu a na něm probíhajících procesů,
- optimalizaci rehabilitačních sportovních procesů,
- tvorbě technických objektů pro tréninkové, posilovací, rehabilitační a klinické účely sportovců.

Interakční biomechanika – zabývá se problémy souvisejícími s interakcemi typu „okolí – člověk“, dále s problematikou prevence vůči nepříznivým vlivům těchto interakcí a s rehabilitačními problémy při odstraňování jejich následků. Okrajově sem patří i problematika opačně orientované interakce, tedy „člověk-okolí“, která je předmětem ekologického inženýrství.

⑦ Podle **úrovně struktury**, na níž se řeší problémy, na nanobiomechaniku (orgány buněk), mikrobiomechaniku (buňky), mezobiomechaniku (orgány) a makrobiomechaniku (orgánové soustavy a celý organizmus).

Toto dělení je v současnosti diskutabilní, protože se začíná intenzivně rozvíjet víceúrovňové modelování, pro které je charakteristické problémy, že problém se řeší v propojení na úroveň struktury entity. Jedná se o tzv. metody homogenizace; ilustrace viz (Janíček, 2007 - str. 86) a dále např. (Lukeš, 2005). Existují biomechanické problémy, které bude žádoucí řešit na příslušné uvedené úrovni (biokinematika; řešení problémů pohybu člověka jako celku), ale i problémy, jejichž řešení vyžaduje cílené propojení různých strukturních úrovní (deformačně napjatostní stavy v tkáních, silové poměry v cytoskeletu buňky, jako součásti určité tkáně apod.).

Problémová situace – kam zařadit biomechanické projekty?

V souvislosti s bioinženýrskými obory (biomechaniku nevyjímaje) a podáváním projektu z těchto oborů do GAČR existuje tato **problémová situace**:

Do které z existujících sekcí GAČR-u podat bioinženýrské (biomechanické) projekty?

Jak již bylo zmíněno, v GAČR-u neexistuje sekce „bioinženýrských věd“. Je to vývojový anachronismus, protože bioinženýrské obory existují již půlstoletí. Omezme se nyní pouze na

biomechaniku. Za současné situace se navrhovatel grantového projektu v oboru biomechaniky dostává do problémové až stresové situace, neboť neví, do které skupiny v GAČR-u má projekt přihlásit. V úvahu připadají tři skupiny 01 –strojírenství, 06-materiály, **0X – lékařství**. V každé z těchto skupin se však mohou vyskytnout námitky, že biomechanický projekt do ní nepatří.

Jediným kritériem pro volbu odborné sekce v GAČR-u pak je, co v příslušném projektu lze považovat za dominantní.

Obsahuje-li biomechanický projekt i problematiku biomateriálového inženýrství, pak se jeví nejpřístupnější sekce 06. Pojem biomateriálové inženýrství je dnes vhodné chápat komplexně, např. v tomto znění: „... je to vědecko-aplikační obor, který se zabývá mechanickými vlastnostmi, chováním a mezními stavy nejen u neživých materiálů používaných na implantáty, chirurgické, traumatologické a rehabilitační pomůcky, ale i u živých tkání a orgánů.“ (Janíček, 2007). Je to tedy průnik materiálových problematik u všech „živých materiálů“, z nichž se skládá lidský organizmus a „neživých materiálů“, které se do lidského organismu implantují nebo mají jiné bezprostřední interakce s lidským organismem..

Převládají-li v biomechanickém projektu konstrukční aspekty (návrhy a spolehlivostní kontroly „technických“ biomechanických objektů), jedná-li se tedy i konstruktivní biomechaniku, pak přichází v úvahu skupina 01.

Problémy klinické, sportovní, kriminalistické a interakční biomechaniky by měly nejbližší do **skupiny 0X**, tedy do medicíny.

Existuje však mnoho biomechanický problémů, které jsou průnikem různých typů biomechaniky. Je v nich něco z poznávacích činností, mají konstruktivní zaměření, spolehlivostní kontroly, musí se zabývat vlastnostmi a chováním biomateriálů, anatomií a fyziologií příslušného orgánu atd. Je to zcela přirozené, protože biomechanické problémy jsou interdisciplinární. Kam s takovými projekty? Navrhovatel se cítí jako bezprizorní.

Bylo by vhodné, aby tato skutečnost byla vzata v úvahu a co nejrychleji byl v GAČR zřízen obor, do něhož by se podávaly projekty z bioinženýrských oborů, tedy i z biomechaniky. Lze konstatovat, že **vznik nové bioinženýrské sekce v GAČR-u se stal objektivní nutností**, kterou je nejvyšší čas realizovat.

Současná situace navíc komplikuje objektivní hodnocení projektů např. podle publikací v **impaktovaných časopisech**. Přijetí příspěvku do některého z impaktovaných časopisů je podmíněno novostí poznatků v tomto příspěvku; zde „novost poznatků“ je chápána v celosvětovém měřítku. To přináší rozpor, který je na strojních fakultách dobře známý: Všeobecné, především přírodovědní obory, jako fyzika, chemie, ale i matematika nebo biologie, jsou zaměřeny více na základní výzkum a snadněji se v nich proniká do impaktovaných časopisů. Naopak typicky strojařské aplikované obory, jako strojírenské technologie, at' už slévarenství, obrábění, tváření apod., mají možnosti podobných publikací velmi omezené; přinést celosvětově nové poznatky je v těchto oborech naprosto výjimečné. Najít objektivní kritéria pro porovnávání kvality výzkumné práce v tak odlišných kategoriích oborů, je téměř neřešitelný problém.

Biomedicínské obory se z principu pohybují mezi obory technickými a přírodovědnými, takže podobný problém s porovnáváním nastane vždy, pokud je hodnotíme společně s kterýmikoli z těchto oborů. Biomechanika má kromě toho handicap vlastní všem oborům, které vznikaly na západě v době naší izolace železnou oponou, tedy v druhé polovině 20. století; tradiční obory přece jen díky jisté setrvačnosti neztrácely natolik kontakt s celosvětovým

děním, zatímco nové obory (kromě biomechaniky např. kybernetika) zde prakticky nebyly konstituovány. Zdá se však, že tuto ztrátu se v posledních 15 letech i zde daří zmenšovat.

Problémová situace – jak lze charakterizovat výzkum v biomechanice?

Druhým důležitým problémem, jak bylo uvedeno v úvodu, je fakt, že GAČR v současnosti preferuje projekty, které lze zařadit do **základního výzkumu**. Za této situace jsou tedy pro pracovníky v bioinženýrských oborech a tedy i v biomechanice aktuální otázky:

Jak lze charakterizovat výzkum v biomechanice? Patří do základního výzkumu?

Situaci v GAČR-u je ještě nutno upřesnit V GAČR-u se vyskytují v současnosti dvě priority: na jedné straně je zjevný a deklarovaný trend upřednostňování základního výzkumu před aplikovaným, na straně druhé jsou vysoce hodnoceny projekty, jejichž výstupem je patent. Pro patent je ovšem typický aplikační výstup. Tím jsou tato dvě kritéria v rozporu a ztrácejí svůj význam.

Celá záležitost vyžaduje poněkud širší zamyšlení. Člověk je tvor zvědavý. Někteří jedinci dokonce tvrdí, že „Žít znamená poznávat!“ Cílevědomé a systematické poznávání určité entity se označuje jako výzkum. Člověk ho pro své potřeby rozčlenil na výzkum základní a výzkum aplikovaný. Dokonce ho „uzákonil“ jak je zřejmé z dále uvedeného českého a evropského vymezení základního výzkumu:

České vymezení (zákon 130/2002 Sb.; 14.3.2002); citace: „*základní výzkum – experimentální nebo teoretické práce prováděné s cílem získat znalosti o základech či podstatě pozorovaných jevů, vysvětlení příčin a možných dopadů při využití získaných poznatků.*“ V citaci není o způsobu využití získaných poznatků zmínka. Takže to může být i aplikační využití.

Evropská unie (2006/c 323/01); citace: „*experimentální a teoretické práce vynakládané zásadně za účelem získání nových vědomostí o základních principech jevů nebo pozorovaných skutečností, které nejsou primárně zaměřeny na uplatnění a využití v praxi.*“ Toto vymezení taktéž nevylučuje aplikační výstup, bude-li tento sekundární.

Domníváme se, že by bylo možné sjednotit obě uvedené definice základního výzkumu do tohoto znění:

Základní výzkum zahrnuje teoretické nebo experimentální činnosti prováděné s cílem získat znalosti o základech či podstatě pozorovaných jevů, vysvětlení příčin a možných důsledků bez ohledu na jejich využití a obor, v němž se tento výzkum realizuje.

Žádná z uvedených definic základního výzkumu apriori nevylučuje, aby badatelské činnosti v poznávací biomechanice byly považovány za základní výzkum. Do základního výzkumu lze tedy řadit například deformačně-napěťové a spolehlivostní analýzy implantátů (kloubních, zubních a cévních) a přilehlých živých tkání, deformačně-napěťové analýzy u všech osteotomií, určování konstitutivních a materiálových charakteristik biologických tkání i implantátů atd., pokud přinášejí obecné poznatky, aplikovatelné v širší míře, než u jednoho konkrétního výrobku.

Podle našeho názoru není možno exaktně oddělit, co patří do základního, a co do aplikovaného výzkumu. Oba musí být propojené a úrovnově vyvážené. Mělo by se jen hodnotit, zda výzkum je společností prospěšný, tedy zda je postavený na kvalitní úrovni.

Reference

- Janíček, P.(2007) Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky – hledání souvislostí. CERM, VUT IUM, Brno, s. 1270.
- Lukeš V. (2005) Porovnání dvouškálové metody homogenizace a klasického přístupu při modelování materiálu s periodickou strukturou. In: sborník konference Computational Mechanics 2005, Hrad Nečtiny.
- Lukeš V., Rohan, E. Modelování biologických tkání pomocí metody homogenizace. KME FAV & NTC, ZČU v Plzni.