

**Kontakty:****Mgr. Lenka Maixnerová**

Odbor doplňování, zpracování a správy fondů  
Národní lékařská knihovna  
Sokolská 54, 121 32 Praha 2  
e-mail: [maixnerova@nlk.cz](mailto:maixnerova@nlk.cz)  
<http://www.nlk.cz>

**Mgr. Filip Kříž**

Oddělení knihovních aplikací a digitalizace  
Národní lékařská knihovna  
Sokolská 54, 121 32 Praha 2  
e-mail: [kriz@nlk.cz](mailto:kriz@nlk.cz)

**PhDr. Eva Lesenková, Ph.D.**

Odbor knihovnicko-informačních služeb  
a komunikace  
Národní lékařská knihovna  
Sokolská 54, 121 32 Praha 2  
e-mail: [lesenkova@nlk.cz](mailto:lesenkova@nlk.cz)

**PhDr. Helena Bouzková, Ph.D.**

Národní lékařská knihovna  
Sokolská 54, 121 32 Praha 2  
e-mail: [bouzkova@nlk.cz](mailto:bouzkova@nlk.cz)

**MODELOVÁNÍ TĚLESNÝCH TEKUTIN V JAZYKU MODELICA****Marek Mateják, Jiří Kofránek****Abstrakt**

Po zkušenostech s modelováním velkých systémů lidské fyziologie jsme navrhli způsob jak propojit modelování hydrauliky kapalin se standardními komponenty jazyka Modelica. V Modelica Standard Library (MSL) je hydraulická „fluid doména“ poměrně dobře rozpracována v komponentech Modelica. Fluid i Modelica.Media. Naše propojení spočívá v definování kompatibilních knihovních balíčků pro definování tělesných tekutin jako alternativních médií a zároveň v definování konverzí mezi našimi konektory a tím pádem i se všemi komponenty v knihovně Chemical a Physiobrary. Vzniká tak plně modulární přístup, kde je možné navzájem kombinovat média i různé komponenty z našich i ze standardních knihoven jazyka Modelica. Tímto způsobem je pak možné reprezentovat i složité modely, které detailně integrují chemickou, buněčnou, tkáňovou i systémovou úroveň.

**Klíčová slova**

*Integrativní fyziologické systémy, matematické modelování, tělní tekutiny, Modelica, Standard Modelica Library, Physiobrary, Chemical*

**1 Úvod**

Vytváření modelů v jazyce Modelica podstatně ulehčují aplikační knihovny. Využití aplikačních knihoven umožňuje vytvářet model propojením jednotlivých komponent (které jsou instancemi jednotlivých knihovních tříd) a nastavením jejich parametrů. Pak obrazně řečeno, model vytváříme z jednotlivých knihovních bloků jako z legových kostiček. Aplikační knihovny (volně dostupné či komerční) byly vytvořeny pro řadu domén, v nichž se Modelica používá (např. pro automobilový průmysl, energetiku, teplárenství aj.). My jsme v minulosti vytvořili knihovny „Physiobrary“ [1] a „Chemical“, které zjednodušují vytváření modelů fyziologických systémů. Pomocí těchto knihoven jsme např. implementovali rozsáhlý model fyziologických regulací nazvaný „Physiomodel“ i řadu dalších modelů z fyziologie a biochemie.

Kromě specializovaných aplikačních knihoven pro různé oblasti jazyk Modelica obsahuje velice užitečné knihovny v tzv. Modelica Standard Library. Tyto knihovny jsou stabilní, prošly dlouhým vývojem a jejich současná podoba je výslednicí dlouhodobého užívání velké komunity uživatelů jazyka Modelica. Proto se vyplatí tyto knihovny při modelování využívat.

Modelica Standard Library (MSL) obsahuje velice užitečné knihovny pro modelování hydraulických domén – knihovny Modelica.Fluid a Modelica.Media. Lidský organismus obsahuje cca 60% vody. Ve fyziologii se proto s problematikou hydraulických domén setkáváme na každém kroku. Dynamika tělních tekutin (cirkulace krve, lymfy, přesuny vody a jednotlivých látek mezi krví

a jednotlivými kompartmenty tělních tekutin) je podstatným fyziologickým fenoménem a využívat pro modelování bločky z hydraulických knihoven by bylo užitečné.

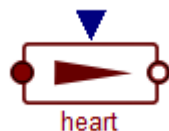
Abychom mohli přitom využívat i naše knihovny Physiobrary a Chemical musíme mezi nimi a knihovnami Modelica.Fluid a Modelica.Media vytvořit nějaké "přemostění".

## 2 Metody

Pro matematické modelování pohybu plynů a tekutin v lidském organismu jsme připravili komponenty, které je možné navzájem spojovat pomocí konektorů, které obsahují tlak a hmotnostní tok. V předchozích verzích našich knihoven jsme používali tok objemový [1]–[3], který však není možné propojit s komponenty hydraulických domén (balíčky Fluid a Media v MSL).

V minulých letech jsme ukazovali jak v jazyce Modelica modelovat krevní oběh [4]–[6], chemické reakce [7] nebo acidobazickou rovnováhu. Dnes bychom chtěli ukázat možnost jak všechny tyto domény integrovat do jednoho modelu tak, aby se zachovala grafická přehlednost modelu.

K tomuto účelu jsme navrhli modelickou knihovnu, která obsahuje komponenty vyvinuté takovým způsobem, že umožňuje vyvíjet všechny naše dosavadní modely a zároveň obsahuje skryté vnitřní propojení na velmi pokročilé výpočty z fyzikální chemie a termodynamiky spojené s mechanikou plynů a kapalin. Použitím pokročilých technik generického objektového programování je možné model velice intuitivně a jednoduše měnit. Například je možné oddělit médium jako je vzduch, krev, intersticiální tekutina, intracelulární tekutina od jiných tkání, jako jsou cévy, membrány, dutiny atd. Tak je možné si například vybrat různé typy modelů krve v závislosti na tom, co chceme modelovat. Numerickým výpočtům přitom nedělá problém ani médium, které obsahuje desítky chemických látek, které spolu navzájem interagují. Výměna média v modelu je přitom možná podobně jako změna parametru. Jednoduše se v parametrickém dialogu pomocí listboxu vybere jedno z předdefinovaných médií, které v daném modelu implementuje požadované vlastnosti.

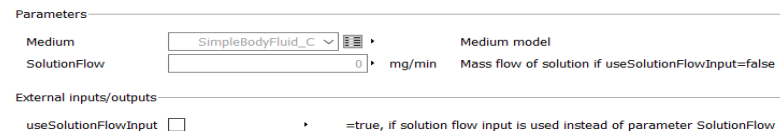


Obrázek 1 – Ikona komponenty Pump

### 2.1 Pumpa

Komponenta, která na základě hmotnostního toku, zadaném horním vstupním konektorem, vytvoří okamžitý průtok média z levého do pravého konektoru, se nazývá pumpa (knihovní komponenta Pump), obr. 1. Dá se např. využít

ve zjednodušených modelech krevního oběhu, zejména při dlouhodobé simulaci, kdy nám jde o ustálené hodnoty krevního průtoku. Každému použití této komponenty v diagramu je možné nastavit, zda má být daný průtok konstantní (konstanta SolutionFlow) nebo variabilní (useSolutionFlowInput) podle vstupní proměnné v horní části komponenty. Krom toho je možné zvolit jiný než předdefinovaný typ média, které prochází skrz porty umístěné v levé a pravé části.



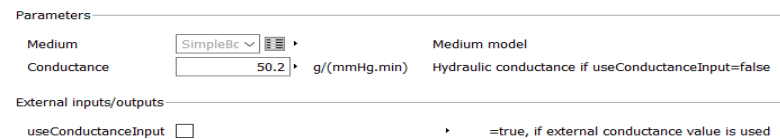
Obrázek 2 – Dialogové okno komponenty Pump

Když se hodnota toku zadává konstantou v dialogu (obr. 2), pak je možné zvolit i libovolné fyzikální jednotky, v kterých je hodnota zadaná. V numerice na pozadí se však vždy hodnota reprezentuje v SI jednotkách, což umožňuje kombinovat různé komponenty v různých knihovnách jazyka Modelica.



Obrázek 3 – Ikona komponenty Resistance

Hydraulický odpor cév je analogií Ohmova zákona, kde rozdíl tlaků v levé a pravé části komponenty určuje podle daného odporu hmotnostní tok média (obr. 3). Obdobně jako v pumpě je zde možné zvolit typ média i to zda je hodnota hydraulické vodivosti konstantní nebo variabilní.



Obrázek 4 – Dialogové okno komponenty Resistance

Naše knihovna krom toho dodefinovává fyzikální jednotky používané ve fyziologii a v medicíně. Proto je možné tyto jednotky používat v dialogových oknech (obr. 4) při nastavování modelu bez nutnosti explicitního přepočtu na standardní SI jednotky (do nichž se tyto jednotky automaticky přepočítávají).

## 2.3 Elastický kompartment



Obrázek 5 – Ikona komponenty ElasticCompartment

Nahromaděný objem média (Medium) nad určitou hodnotu (ZeroPressureVolume) v elastickém kompartmentu (obr. 5) generuje tlak podle jeho poddajnosti (Compliance). Tento generovaný tlak je relativní vzhledem k externímu tlaku na cévu, který se na různých místech v diagramu může lišit. V portech je proto vždy tlak absolutní, od kterého je nutné okolní externí tlak (ExternalPressure) odečítat (obr. 6), abychom mohli zobrazit běžně měřené hodnoty. Tím se umožní intuitivně pracovat s různými vnějšími tlaky na cévy v různých částech těla, např. nitrohruďní tlak bývá nižší než atmosférický tlak, zatímco v edematózní tkáni bývá tlak na vnější stěnu cévy vyšší. Každé použití komponenty je vhodné inicializovat na dané počáteční množství média (mass\_start) a případně i na jednotlivé koncentrace sledovaných chemických látek v daném médiu. Pokud bychom koncentrace látek inicializovali a ponechali je na výchozích hodnotách, tak se nebudou během simulace měnit a komponenta může sloužit pouze pro výpočet hydraulických vlastností modelu, jako jsou tlaky a toky. Specialitou nového návrhu je možnost připojit jednotlivé chemické látky na chemické procesy pomocí chemických portů pro substance. Tyto porty lze aktivovat pomocí zaškrtnutí políčka useSubstances. Pak je možné propojovat libovolné chemické procesy jako například chemické reakce, pasivní i aktivní přechody přes membrány, změny skupenství, rozpouštění plynů v roztocích a elektronový transfer při elektrolýze.

Parameters	
Medium	SimpleBc
ZeroPressureVolume	850 ml
CollapsingPressureVolume	1e-06 ml
Compliance	1.55 ml/mmHg
ExternalPressure	760 mmHg
MinimalCollapsingPressure	0.075006157584 mmHg
Initialization	
mass_start	1 kg
density_start	Medium.default_density kg/l
concentration_start	cat(1, Medium.C_default, ((density_start - Medium.su) mmoI/l
External inputs/outputs	
useV0Input	<input type="checkbox"/> =true, if zero-pressure-mass input is used
useComplianceInput	<input type="checkbox"/> =true, if compliance input is used
useExternalPressureInput	<input type="checkbox"/> =true, if external pressure input is used
useSubstances	<input type="checkbox"/> =true, if substance ports are used

Obrázek 6 – Dialogové okno komponenty ElasticCompartment

## 2.4 Médium SimpleBodyFluid\_C

Knihovna definuje základní médium použitelné pro základní acidobazické modely v tělesných tekutinách, jako je například krevní plazma, mezibuněčná (intersticiální) tekutina, glomerulární filtrát, moč nebo dokonce i infuzní, či dialyzační roztok (viz obr. 7). Médium obsahuje základní elektrolyty a pufrý, jejichž celkové koncentrace mohou být zadány v poli s určeným pořadím podle daných definovaných chemických látek. V tomto pořadí se vyskytují dané látky vždy i v polích konektorů, které se aktivují v elastických kompartmentech.

To například umožňuje propojit dané pole konektorů s poli konektorů na komponentech membrán a tak definovat stejný chemický proces pro každou jednotlivou substanci, jak dále ukážeme na modelu dialyzační membrány.

```
package SimpleBodyFluid_C
extends Modelica.Media.Water.StandardWater (
  extraPropertiesNames={"Na", "K", "Cl", "Ca", "Mg", "Alb", "Glb", "Others", "H2O"},
  singleState=true, T_default=310.15, X_default=ones(nX));

replaceable package stateOfMatter =
  Chemical.Interfaces.Incompressible constrainedby
  Chemical.Interfaces.StateOfMatter
"Substance model to translate data into substance properties"
a;

// Provide medium constants here
constant Modelica.SIunits.Concentration C_default[nC-1]={135,24,5,5,3,105,1.5,0.5,0.7,0.8,1e-6};
constant Modelica.SIunits.MassFraction Xi_default[nXi]=ones(nXi);
constant Modelica.SIunits.Density default_density=1025;

constant stateOfMatter.SubstanceData substanceData[nC] = {
  Chemical.Examples.Substances.Sodium_aqueous(),
  Chemical.Examples.Substances.Bicarbonate_aqueous(),
  Chemical.Examples.Substances.Potassium_aqueous(),
  Chemical.Examples.Substances.Glucose_solid(),
  Chemical.Examples.Substances.Urea_aqueous(),
  Chemical.Examples.Substances.Chloride_aqueous(),
  Chemical.Examples.Substances.Calcium_aqueous(),
  Chemical.Examples.Substances.Magnesium_aqueous(),
  Chemical.Examples.Substances.Albumin_aqueous(),
  Chemical.Examples.Substances.Globulins_aqueous(),
  Chemical.Examples.Substances.Water_liquid(),
  Chemical.Examples.Substances.Water_liquid()
}
"Definition of the substances"
b;

end SimpleBodyFluid_C;
```

Obrázek 7 – Výpis zdrojového textu balíčku SimpleBodyFluid\_C

## 3 Výsledky

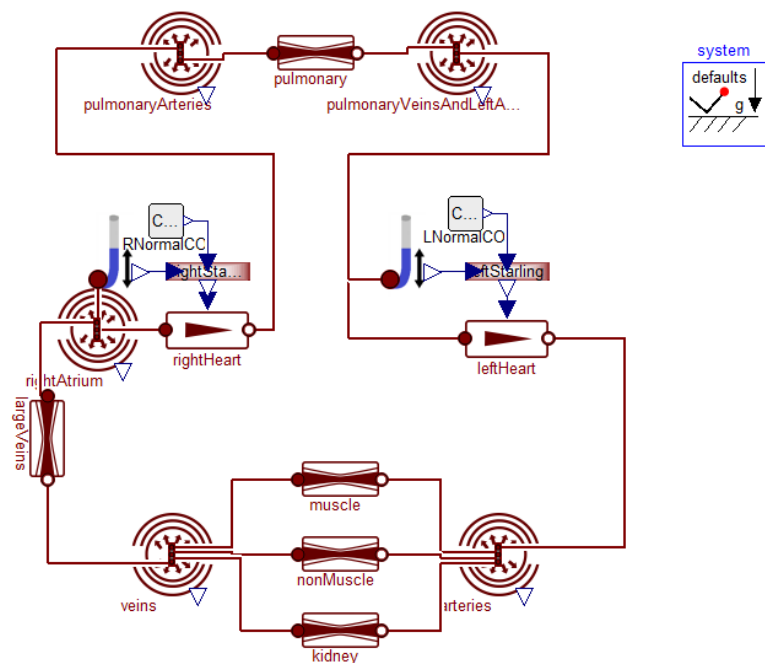
Model krevního oběhu (obr. 8) má přitom stejnou strukturu a jeho vytvoření je stejně složité jako při použití jednoduchých komponent z knihovny Physiolybrary. V parametrickém dialogu byla jen přidána možnost vybrat médium, které se bude danými hydraulickými komponenty pohybovat a zároveň v akumulacích bločcích byla přidána možnost definovat i iniciální stav koncentrací jednotlivých látek v daném médiu spolu s možností zobrazit porty pro jednotlivé substance. Obě tato nastavení mají defaultně zvolené hodnoty, takže pokud nás opravdu zajímají pouze hydraulické vlastnosti např. toky a tlaky

v jednoduchých hydraulických komponentech (třeba v pumpě, v rezistoru či v elastickém rezervoáru cév), tak tyto nové parametry není třeba ani vyplňovat. Modelování krevního oběhu s novými komponenty je tak stejně jednoduché jako modelování s hydraulickými komponenty knihovny PhysiLibrary ve verzích 3.2 a nižších.

Výsledky simulací však obsahují daleko víc informací, protože se podrobně vyhodnocuje i stav média po chemické a termodynamické stránce. Po vytvoření modelu je tak vhodné doplnit zobrazovací skript, který zobrazí jen ty proměnné modelu, pro které byl model vyvíjen. Tak například model krevního oběhu nemusí ještě navíc počítat toky kyslíku do a z krve. Koncentrace kyslíku u takového modelu tedy není vhodné zobrazovat z důvodu, že jsou v něm neměnné a nemají v něm žádný signifikantní vliv na tlaky a toky krve, které model primárně modeluje. Cílového uživatele modelu je tak třeba výběrem výsledků usměrnit tak, aby zbytečně nezkoumal parametry a proměnné, které model sice obsahuje, ale vůbec nevyužívá.

Na druhou stranu ale zůstává otevřená cesta jak tyto parametry a proměnné využít když to bude potřeba. Příkladem může být pasivní přechod látek přes polopropustnou membránu na Obr. 9.

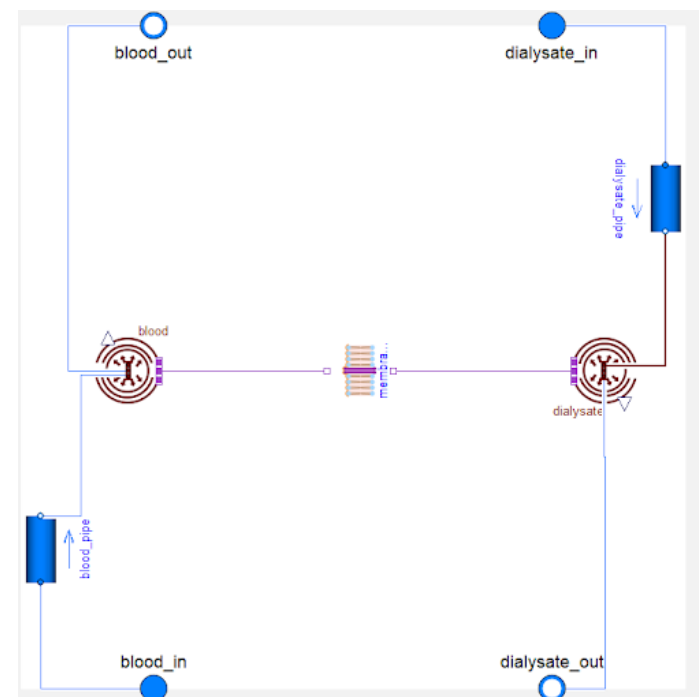
Pomocí aktivace portů pro jednotlivé substance je umožněné používat



Obrázek 8 – Model krevního oběhu dle původní dekompozice A. Gyttona

bloky z chemické domény, které jsme prezentovali jako knihovnu Chemical [7]. Tyto bloky umožňují definovat chemické reakce, změny skupenství, přechody přes membránu, či dokonce elektronový transfer při elektrolýze. Spojením fyzikální chemie s modelem média v daném termodynamickém stavu tak vzniká exaktní způsob, jak počítat děje, jejichž výpočet pro jeho složitost byl pro mnohé fyziology dodnes téměř tabu i přes to, že jeho zákonitosti dobře znají. Příkladem jsou Donnanovy rovnováhy na membráně, které jsou automatickým důsledkem použití základních principů z fyzikální chemie. Tím je možné konečně přiblížit naměřené hodnoty k hodnotám vypočítaných, protože odhady prováděné zanedbáním Donnanových rovnováh jsou v mnoha situacích velmi nepřesné.

Pokud nás zajímá jen ustálený stav přechodu látek přes membránu, tak model dokonce nevyžaduje nastavovat žádný parametr, protože defaultní permeabilita membrány je tak velká, že se stav látek v průběhu první sekundy ustálí. Toto nastavení nám zatím postačuje pro všechny námi modelované případy. Samozřejmě, komponenta membrány umožňuje zadávat i permeabilitu pro konkrétní látky, pokud by se vyžadoval model dané kinetiky na membráně i mimo ustálený stav.



Obrázek 9 – Model dialyzační membrány

#### 4 Diskuse

Princip správného rozložení modelu do elementárních astı má velkou řadu vıhod. Implementace se stáva přehlednější, protože se jednotlivé komponenty opakují. Opakovane využití komponent vede i k jednoduššímu přeskupovanı a modifikacím modelu. Dıky promyšlene struktury je možné snadnější dohledat význam jednotlivých parametrů i proměnných. Navíc se ukazuje, že základních kamenů, z nichž lze poskládat i rozsáhlý model, je relativně malý počet. Tyto komponenty obvykle odpovídají exaktním fyzikálním vztahům, které lze dobře matematicky vyjadıt a parametrizovat. Modelica umozuje tyto komponenty definovat i pro grafické diagramy takovým způsobem, že po správném propojení a nastavení hodnot parametrů je možné systém zkompilevat a numericky simulovat, protože se tak definuje soustava diferencıalnıch rovnic s jednoznačným řešením v čase.

Pří integrovanı znalostí do univerzálních komponent jsme narazili na nutnost exaktních fyzikálních a chemických definic jednotlivých proměnných a parametrů. Velkým problémem z hlediska exaktních fyzikálních výpočtů bylo definovanı stavových proměnných. Ukázalo se totiž, že námí zvolené veličiny v předchozıch modelech, jako napřıklad objem a z něj odvozené koncentrace, jsou jako stavové proměnné nevhodne, protože se mění v závislosti na tlaku a teplotě. Z tohoto důvodu jsme museli změnit hydraulickou doménu z objemových toků na toky hmotnostní a jako stavovou proměnnou brát hmotnost, která nezávisle na termodynamického stavu určuje exaktně množství daného medıa. To dokonce umožnilo počítat ve stejných komponentech i medıa plynneho í kombinovaného skupenství. Hydraulickou doménu tedy zaınıame nazıvat doménou fluid, což je mechanika medıı různých skupenství – nejen ideálních nestlačitelných kapalin.

Domnívali jsme se, že hmotnost jednotlivých chemických látek při dane molární hmotnosti je možné jednoduše převest i na přesny počet molekul. Tyto molární množství vystupovali jako stavové proměnné v chemických komponentech, takže zdanlive všechno do sebe zapadlo. Při výpočtech jsme vřak narazili opět na urcıte anomalıe, které bylo potřeba vyřešit. První anomalı, se kterou jsme během vytvaranı chemické knihovny přišli do styku, bylo to, že Henryho konstanty pro rozpustnost plynů ve vodě byly po přepoctu přes vyrovnanı chemických potenciálů posunute o stejnou konstantu pro různé plyny.

Velmi podobná konstanta začala vycházet i při reakcích ve vodě, které měly o jeden produkt více než reaktantů. Problém jsme vyřešili až s uvědoměním si, že počet častíc v cıste vodě není roven počtu molekul H<sub>2</sub>O. Molekuly vody se totiž navzájem vázou vodíkovými vazbami a vytvarejı tak astıce tvořené z několika molekul H<sub>2</sub>O. Nesprávný přepocet hmotnosti na počet častíc vody použitım molární hmotnosti H<sub>2</sub>O jsme nahradili přepoctem, který zohlednuje celkový počet častíc ve vodě tak, aby dane naměřené konstanty nebylo nutné korigovat.

Toto zjištenı nás tedy vede k otázce, zda je molární množství látky ideální stavovou veličinou, protože je závislé na chemických vazbách látek mezi

sebou. Chemické vazby jsou totiž citlive napřıklad na teplotu. Přitom se ukazuje, že vodíkové vazby a i jiné slabe vazanı látek mezi sebou je možné zanedbat pokud nemají vliv na zkoumané deje a dopracovat se k dobrým výsledkům i bez exaktní znalosti celkového počtu častíc ve vodném roztoku.

Ve fyzikální chemii se vřak ukazuje jako nutné pracovat s molárními množstvími látek i se znalostí složení roztoku na úrovni častíc, které drı pohromadě jen slabe vodíkové vazby. Minimálně je nutné spravne odhadnout celkový počet častíc v roztoku, protože ten je rozhodující pro spravne propojení tabulkových formačních entropií a formačních Gibbsových energií jednotlivých chemických substancí s měřenými konstantami jako jsou Henryho rozpustnost plynů nebo disociační konstanty reakcí s jiným množstvím produktů než reaktantů.

Přesne definované chemické formy substancí se ukázaly jako klıcove i při zkoumanı organických makromolekul [8]. Pomocí relaxovanı a tenzını formy hemoglobinu tak dokazeme sledovat jeho saturaci kyslíkem podle alosterickeho modelu známého jako Monod-Wyman-Changeux model [9]. Tyto i jiné molekulární modely je pak možné snadno integrovat i do velkých integračních fyziologických modelů celého organismu člověka [10], [11].

#### Literatura

- [1.] M. Mateják, T. Kulhánek, J. Šilar, P. Privitzer, F. Ježek, a J. Kofránek, „Physiolibrary-Modelica library for physiology”, in *Proceedings of the 10 th International Modelica Conference; March 10–12; 2014; Lund; Sweden, 2014*, s. 499–505.
- [2.] M. Mateják, F. Ježek, M. Tribula, a J. Kofránek, „Physiolibrary 2.3–An Intuitive Tool for Integrative Physiology”, *IFAC-Pap.*, roc. 48, ç. 1, s. 699–700, 2015.
- [3.] M. Mateják, „Physiolibrary-fyziologia v Modelice”, *Sbornık Přıspevku MEDSOFT*, s. 165–172, 2014.
- [4.] J. Kofránek, M. Mateják, F. Jezek, P. Privitzer, a J. Šilar, „Vyukovy webovy simulator krevního obehu”, *Sbornık Přıspevku MEDSOFT*, s. 106–121, 2011.
- [5.] T. Kulhanek, J. Kofránek, a M. Mateják, „Modeling of short-term mechanism of arterial pressure control in the cardiovascular system: object-oriented and acausal approach”, *Comput. Biol. Med.*, 2014.
- [6.] T. Kulhanek et al., „Object-Oriented and Acausal Modeling of Hemodynamics of the Cardiovascular System and Control Mechanism”.
- [7.] M. Mateják, M. Tribula, F. Jezek, a J. Kofránek, „Free Modelica Library of Chemical and Electrochemical Processes”, in *11th International Modelica Conference, Versailles, France, 2015*, roc. 118, s. 359–366.
- [8.] M. Mateják, T. Kulhanek, a S. Matoušek, „Adair-based hemoglobin equilibrium with oxygen, carbon dioxide and hydrogen ion activity”, *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*
- [9.] J. Monod, J. Wyman, a J.-P. Changeux, „On the nature of allosteric transitions: a plausible model”, *J. Mol. Biol.*, roc. 12, č. 1, s. 88–118, 1965.
- [10.] Marek Mateják a Jiří Kofránek, „Rozsáhlý model fyziologických regulací v Modelice”, *Medsoft*, s. 126–146, 2010.
- [11.] Mateják, Marek a Kofránek, Jiří, „HumMod–Golem Edition–Rozsáhlý model fyziologických systémů”, in *Medsoft, 2011*, s. 182–196.

## Kontakt

Mgr. Marek Mateják, Ph.D.

web: [www.physiolibrary.org](http://www.physiolibrary.org)

e-mail: [marek@matfyz.cz](mailto:marek@matfyz.cz)

doc. MUDr. Jiří Kofránek, CSc.

e-mail: [kofranek@gmail.com](mailto:kofranek@gmail.com)

## IHE PROFILY

### Marek Mateják, Libor Seidl, Karel Zvára

Standardizace e-Health dovoluje propojit různé softwarové i hardwarové řešení pro ukládání, zpracování a sdílení zdravotních informací i mimo rámec jednoho informačního systému. Mezinárodní společné úsilí zdravotnických pracovníků i odborníků ze zdravotnické informatiky přináší optimální a ověřené postupy, které by měli usnadnit implementaci e-Health tak, aby v konečném důsledku usnadnili i práci pracovníků ve zdravotnictví. Specifikování mezinárodních formátů dat již dospělo do obecně použitelných datamodelů jako HL7 FHIR, které umožňují strukturovaně reprezentovat i data v národních standardech – např. DASTA. IHE profily na tuto cestu přímo navazují a představují tak jednotlivé specifikace, které definují optimální způsoby, jak tyto data zabezpečit, sdílet, oživit a jak s nimi bezbolestně a efektivně nakládat bez zbytečných dalších režii.

### 1 Úvod

IHE profily formalizujú špecifické riešenia na integračné problémy pri elektronizácii zdravotníctva. Profily dokumentujú pre každú zainteresovanú stranu (IHE Actor) jej požiadavky, rolu a zodpovednosť v systéme [1]. I napriek tomu, že IHE popisuje stovky rôznych zainteresovaných strán (IHE Actors) v IHE profiloch, tak ich autorizáciu a práva je možné určiť pomocou menšieho počtu užívateľských rolí v systéme a východzím priradením práv na jednotlivé typy dát a základných softwarových operácií nad nimi – napríklad princípom popísaným v článku [2]. Je zaujímavé, že IHE profily väčšinou neurčujú, či je zainteresovaná stranou (IHE Actors) fyzická, právnická osoba alebo dokonca len automatická softwarová služba. Mnohé exaktne definované úkoly tak môžu byť plne alebo čiastočne zautomatizované a tým môže byť práca zdravotníckych pracovníkov plne odľahčená od zbytočnej administratívy a byrokracie.

IHE profily sú navrhnuté takým spôsobom aby ich integrácia zbytočne nevyžadovala reimplementovať celý systém a zároveň aby zabezpečili interoperabilitu [3]. Ak systém zdravotných záznamov už využíva niektorý z medzinárodných štandardov na ukladanie dát popísaných napr. v [4] alebo v [5], tak mnohokrát je možné tieto reprezentácie dát priamo alebo pomocou definovaného mapovania ihneď využiť na vnútornú i vonkajšiu komunikáciu.

Štruktúra IHE profilov aktuálne ku dňu 12.2.2019 verejne zahŕňa nasledujúce oblasti v zdravotníctve: Anatomická patológia (ANAMPATH), kardiológia (CARD), zubárstvo (DENT), endoskopia (ENDO), očné (EYECARE), IT infraštruktúra (ITI), laboratórne vyšetrenia (LAB), patológia a laboratórna medicína (PaLM), koordinácia starostlivosti o pacienta (PCC), zariadenia na starostlivosť o pacienta (PCD), lieky (PHARM), kvalita, výskum a verejné zdravie (QRPH), radičná onkológia (RO), rádiológia (RAD).

Pod týmito jednotlivými oblasťami je možné dohľadať konkrétny IHE profil,