

**SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ**

# **MEDSOFT 2022**

**16. PROSINCE 2022**

**1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA UK, PRAHA**

Český svaz vědeckotechnických společností  
Pobočka vědeckotechnické společnosti při 1. LF UK

Česká vědeckotechnická společnost pro aplikovanou kybernetiku  
a informatiku

Česká společnost pro kybernetiku a informatiku

Creative Connections

v odborné spolupráci s Českou společností zdravotnické informatiky  
a vědeckých informací ČLS JEP

## OBSAH

<b>DIDAKTIKA SOCIÁLNÍ INTERAKCE V INTENZIVNÍ PÉČI</b> Natália Beharková .....	4
<b>INTERAKTIVNÍ VÝUKOVÁ MÉDIA V PROCESU VÝUKY A PUBLIKOVÁNÍ</b> Igor Červený, Tomáš Stejskal, Jitka Feberová .....	8
<b>COMPUTATIONAL MODEL OF CIRRHOTIC PORTAL HYPERTENSION</b> Filip Jezek, Nikhilesh R Mazumder, Elliot B. Tapper, Daniel A. Beard .....	13
<b>UNIVERZÁLNÍ A PŘESTO JEDNODUCHÝ – ORGPAD POHLEDEM UŽIVATELE A TVŮRCŮ</b> Vít Kalisz, Jiří Kofránek .....	20
<b>JAK PROBUDIT SPÍCÍHO OBRA: ZKUŠENOSTI A PERSPEKTIVY MEZIOBOROVÉ KOOPERATIVNÍ SPOLUPRÁCE</b> Jiří Kofránek .....	26
<b>HEALTHWARDEN – SMART POST-TREATMENT REMOTE MONITORING TOOL</b> Tomáš Kouřim, Marek Polák, Jan Skála, Anastasia Surikova, Lukáš Forst, Alžběta Kouřimová, Nikola Zadorozhny .....	37
<b>EGOLEM, DIGITÁLNÍ SIMULÁTOR PACIENTA</b> Tomáš Kulhánek, Jiří Kofránek .....	45
<b>FULLY INTEGRATED DECISION-SUPPORT SYSTEM FOR DETECTION AND SEGMENTATION OF BREAST LESIONS IN DIGITAL MAMMOGRAM</b> Robert Hrubý, Daniel Kvak, Anna Chromcová, Marek Biroš .....	50
<b>E-LEARNING VE VÝUCE VOLITELNÉHO PŘEDMĚTU ZKUŠENOSTI Z AKADEMICKÝCH LET PANDEMIE COVID - 19 (MEFANET)</b> Pavel Měříčka, Jiří Gregor, Miroslava Jandová, Pavel Navrátil, Daniel Brandejs .....	55
<b>DIAGNOSTIKA NORMOTENZNÍHO HYDROCEFALU POMOCÍ STROJOVÉHO UČENÍ</b> Arnošt Mládek, Václav Gerla, Petr Šeba, Petr Skalický, Vladimír Beneš, Ondřej Bradáč .....	58
<b>BIG DATA LŮŽKOVÝCH ZDRAVOTNICKÝCH ZAŘÍZENÍ</b> Miroslav Přádka .....	64
<b>OPTIMALIZACE DIAGNOSTICKÉHO KOMPLEMENTU - KAZUISTIKA LABORATOŘE MIKROBIOLOGIE</b> Miroslav Přádka, Martina Caithamlová, Veronika Obrová .....	66
<b>KLASIFIKACE SNOMED A MKN-10 V INFORMAČNÍCH SYSTÉMECH - AKTUÁLNÍ STAV POUŽITELNOSTI</b> Miroslav Přádka, Jana Vaculová .....	68
<b>3DIAMOND: SOFTWARE FOR PRODUCT LIFE-CYCLE MANAGEMENT IN 3D PRINTING MEDICAL APPLICATIONS</b> Daniel Schwarz, Lukáš Čapek, Jakub Jamárik .....	70

## ÚVOD

*První ročník semináře tvůrců a uživatelů zdravotnického a lékařského softwaru se uskutečnil před 34 lety v roce 1988. Již tenkrát jsme každou přednášku na Medsoftu doplňovali článkem ve sborníku vysázeného v programu TeX, což bylo v té době ne zcela běžné. Druhý ročník Medsoftu proběhl ve vzrušené předvánoční době sametové revoluce v prosinci 1989.*

*Od té doby řada českých seminářů a konferencí zanikla. Svět se pro nás otevřel, a tak dnes dáváme přednost psát příspěvky spíše pro mezinárodní konference a kongresy, než trávit čas přípravou článků pro národní akce.*

*Semináře, sympozia a konference jsou ale místem nejen pro prezentaci výsledků, ale především i místem setkávání, diskusí a navazování nových kontaktů. Proto má zřejmě smysl pořádat i pravidelné setkávání české odborné komunity, a tím je i letošní 34. ročník semináře Medsoft.*

*prosinec 2022*

*Jiří Kofránek*

## DIDAKTIKA SOCIÁLNÍ INTERAKCE V INTENZIVNÍ PÉČI

Natália Beharková

### Abstrakt

Príspevek prezentuje špecifické pojetí výuky ve studijním programu Intenzivní péče s využitím interaktivních přístupů a online nástrojů. U předmětů zaměřených na osvojení si praktických dovedností a posílení soft skills studentů je důležité využívat interaktivní přístupy ve výuce a aktivizující výukové metody. V předmětu Didaktika sociální interakce v intenzivní péči je studentům k dispozici i e-learning, který byl vytvořen ve spolupráci s odborníky zabývajícími se osobami se specifickými potřebami. Vytvořený studijní materiál podporuje teoretické znalosti studentů, vhodně doplňuje potřebné praktické schopnosti studentů a zkvalitňuje připravenost studentů pro klinickou praxi. Významnou součástí e-learningu je vytvoření videí s pojmy a frázemi v českém znakovém jazyce, které souvisí s ošetrovatelskou péčí a zdravotnictvím.

### Klíčová slova

audiovizuální záznam, český znakový jazyk, e-learning, komunikace s neslyšícím, soft skills, sociální interakce

### Úvod

Studijní program Intenzivní péče je na Lékařské fakultě Masarykovy univerzity (LF MU) akreditován od roku 2011. Cílem specializačního vzdělávání je získání specializované způsobilosti – Sestra pro intenzivní péči. Absolventi jsou připraveni v intenzivní péči provádět, zajišťovat a koordinovat základní, specializovanou a vysoce specializovanou ošetrovatelskou péči. Nezbytnou součástí vzdělávání je zkvalitňování komunikačních dovedností. Koncepce vzdělávacího programu včetně učebního plánu je uvedena ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví České republiky částka 5/2020 (Vzdělávací program specializačního vzdělávání v oboru Všeobecná sestra – Intenzivní péče). Učební plán specializačního vzdělávání je rozdělen na učební osnovy základního modulu a učební osnovy odborných modulů. Do kurikula vzdělávání je v prvním ročníku zařazen předmět Didaktika sociální interakce v intenzivní péči. Cílem předmětu je posílit soft skills dovedností studentů. Předmět je veden formou samostatných přednášek a cvičení. Témata jsou seřazena tak, aby reflektovala vytyčené kognitivní, psychomotorické a afektivní cíle. Důraz je kladen na osvojení si dovedností nezbytných pro komunikaci a sociální interakci zdravotníků v intenzivní péči.

Tak, jak se mění prostředí výuky a učení, mění se i způsob, jakým učíme<sup>1</sup>. Zahrnutí e-learningu do osnov vzdělávání umožňuje nové možnosti interaktivního předávání znalostí a dovedností mezi vyučujícím a studenty i mezi studenty navzájem, interakce se neomezuje pouze na osobní rozhovory, ale mohou zahrnovat text, zvuk, obrázky nebo videa, čímž se výuka obohatí<sup>2</sup>. „E-learning, který se používá efektivně, je mnohem více než pouhé použití online úložiště dokumentů, může to být poutavé, online a interaktivní výukové prostředí.“<sup>3</sup>(p. 1) Termín e-learning (volně přeloženo jako „elektronické učení“) se v podmínkách České republiky používá v anglické podobě. „Jde o takový typ učení, při němž získávání a používání znalostí je distribuováno a usnadňováno elektronickými zařízeními. Může zahrnovat ucelené učební kurzy nebo menší stovebnicové učební moduly anebo jen malá učební témata...“<sup>4</sup>(p.66) Blended learning zahrnuje kombinaci online učení a tradiční výuky, kdy „mnohé tradiční komponenty vzdělávání jsou využitelné i v éře nejmodernějších technologií.“<sup>4</sup>(p. 51)

### Metody

Příprava nových online výukových nástrojů a využívání e-learningu zaměřujícího se na zkvalitňování komunikačních dovedností studentů. Online materiály zahrnovaly zpracovaná videa nejpoužívanějších pojmů souvisejících s poskytováním základní ošetrovatelské péče v českém znakovém jazyce. Inovativní přístupy ve výuce zvyšují didaktický potenciál. Představení využití variability interaktivních výukových metod s posilováním praktických dovedností a nácviku komunikačních technik s ohledem na specifika sociální interakce v intenzivní péči pozitivně ovlivňují připravenost studentů na klinickou praxi.

### Výsledky

Studentům je k dispozici e-learning (interaktivní osnova), který vznikl v roce 2020 v rámci projektu Podpora soft skills studentů vybraných nelékařských zdravotnických profesí (Fond rozvoje Masarykovy univerzity, MUNI/FR/1131/2019). Zpracováno bylo dvanáct oblastí zaměřených na komunikaci ve zdravotnictví, a to na základě multidisciplinární spolupráce se střediskem Teiresiás Masarykovy univerzity (Středisko pro pomoc studentů se specifickými nároky), klinickým logopedem, psychologem, speciálním pedagogem a pedagogem pro neslyšící. Struktura textu zpracovaných kapitol v e-learningu popisuje cíl a výstupy z učení, základní charakteristiku a specifika problematiky, strategie komunikace, doporučení pro praxi, dotazy k zamýšlení a sadu otázek k otestování vědomostí. Podporováno je tak řešení problémových situací a aktivní přístup studentů k řešení neobvyklé situace.

Popis kapitol e-learningu:

Cílem první kapitoly Komunikace ve zdravotnictví (autor Radka Wilhelmová) je vysvětlit pojem komunikace, rozlišit verbální a neverbální komunikaci, uvést faktory ovlivňující komunikaci a popsat bariéry v komunikačním procesu.

Ve druhé kapitole Komunikace se zrakově postiženým pacientem (autor Petr Červenka) si studenti osvojí základní pravidla komunikace se zrakově postiženými osobami, především s nevidomými. Definovány jsou specifika hlavních skupin slabozrakých a nevidomých (viz Obrázek 1 Výpadek zorného pole – ukázka), uvedeny jsou doporučení pro praxi v rámci sociální interakce zdravotníka s nevidomým pacientem, případně jeho doprovodem. Část textu se zaměřuje na usnadnění pobytu hospitalizovaného pacienta ve zdravotnickém zařízení, kdy je



Nepravdivelný výpadek zorného pole – důsledkem je zcela individuální způsob zpracování vizuální informace.

- směřování pohledu a natáčení hlavy – při přímém kontaktu (stejně tak, jako u předchozí skupiny) může postižený zaujmout nezvyklé směřování pohledu při rozhovoru nebo natáčení hlavy při čtení. Jde pouze o nejpohodlnější polohu pro pozorování, aby paprsky sledovaného předmětu dopadaly na zachovanou část sítnice.



Obrázek 1 – Výpadek zorného pole – ukázka

potřeba myslet na popis veškerých interakcí a ošetřovatelských intervencí u pacienta nebo potřebné administrativní úkony. Návčiv specifik komunikace s nevidomým pacientem zlepšuje používání specifických pomůcek (viz Obrázek 2 Pomůcky pro nevidomé a návčiv použití – ukázka a Obrázek 3 Simulační brýle pro přiblížení očních vad a dřevěná abeceda Brail). Při praktickém návčivu mají studenti možnost vyzkoušet si, jak se cítí pacienti s poruchou zraku, zkouší si orientaci v prostoru v pozici nevidomého i jeho doprovodu.



Obrázek 2 – Pomůcky pro nevidomé a návčiv použití – ukázka

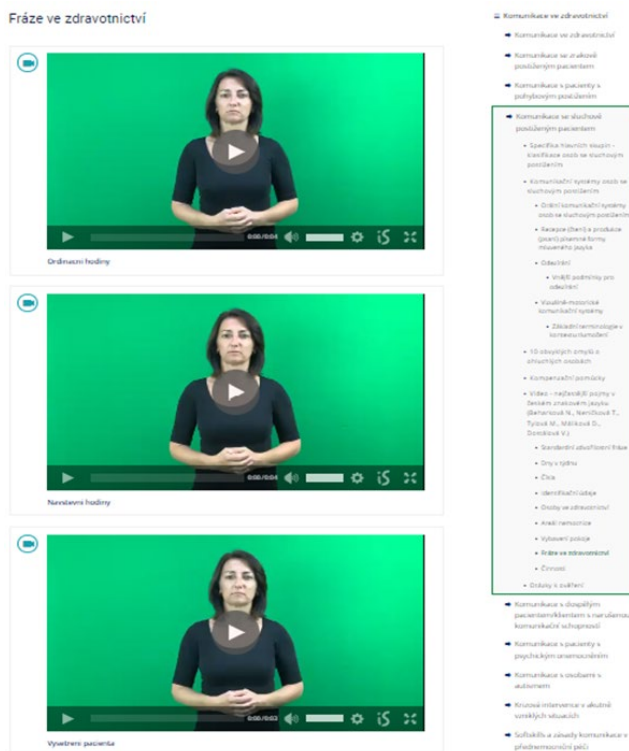


Obrázek 3 – Simulační brýle pro přiblížení očních vad a dřevěná abeceda Brail

Cílem třetí kapitoly Komunikace s pacienty s pohybovým postižením (autor Miroslav Zítka) je opět osvojení si základních pravidel správné komunikace a přístupu k pacientům s pohybovým postižením. Zdravotník má být schopen zhodnotit míru pomoci u pacienta. Pro úspěšné poskytování ošetřovatelské péče je nezbytné znát, jak handicap ovlivňuje život pacienta a s jakým omezením se potýká. Všechno závisí od druhu, příčiny a míry postižení, včetně doby vzniku. Studenti si osvojují zásady nabízení a poskytování pomoci. Významnou součástí kapitoly je i komunikace s pacientem v případě nepříznivé zdravotní prognózy.

V kapitole Komunikace se sluchově postiženým pacientem (autor Veronika Dostálová a Tereza Neničková) je popsáno sluchové postižení a klasifikace sluchových vad. Podstatná část textu čtvrté kapitoly je zaměřena na komunikační systémy osob se sluchovým postižením. V českém znakovém jazyce jsou zpracovány videa (autor Natália Beharková, Tereza Neničková, Mirka Tylová, Dagmar Máliková a Veronika Dostálová) s využitím nejčastějších pojmů při poskytování ošetřovatelské péče (např. pokyny k ošetřovatelské intervenci, zdravotnický personál, pomůcky, prostředí a další) a běžně používaných slov (např. dny v týdnu, zdvořilostní fráze a jiné). Zpracováno bylo devět tematických zaměření. Vytvořeno bylo celkem 145

videozáznamů (Obrázek 4 Ukázka videozáznamu). Vlastnímu natáčení předcházela důsledná příprava, vytipování důležitých a nejčastěji používaných frází v souvislosti se zdravotnictvím a ošetřovatelskou péčí, ověření pojmů a frází používaných v českém jazyce, v odborné terminologii a českém znakovém jazyce, následovala příprava prostředí pro natáčení (stěna pozadí, osvětlení, technika pro audiovizuální záznam). Studenti prostřednictvím vytvořených videí získají vhled do komunikace se sluchově postiženým pacientem, naučí se technice odezírání a osvojí si některé pojmy a fráze v českém znakovém jazyce.



Obrázek 4 – Ukázka videozáznamu

V kapitole Komunikace s dospělým pacientem s narušenou komunikační schopností (pátá kapitola, autor Veronika Dostálová) je vysvětlen pojem narušená komunikační schopnost (NKS), uvedeny jsou kritéria třídění NKS a zásady komunikace v klinické praxi. Zdravotník má být schopen identifikovat specifické potřeby osob s NKS a respektovat specifika komunikace u těchto osob. Zpracována je problematika afázie, dysartrie, anartrie, včetně poruchy plynulosti řeči např. Balbuties a Tumultus sermonis, pozornost je zaměřena i na komunikaci s pacientem s diagnózou dysfágie, demence, schizofrenie, deprese nebo elektivního mutismu.

Cílem šesté kapitoly Komunikace s pacienty s psychickým onemocněním (autor Iva Oulehlová) je poskytnout studentům základní informace o specifických komunikace s pacienty s psychickými obtížemi. Základní zásadou je respekt k lidské důstojnosti, snaha o podporu autonomie pacienta, trpělivý a empatický přístup zdravotníka. V textu jsou popsány doporučení pro praxi v případě pacienta – úzkostný, depresivní, psychotický nebo agresivní.

Kapitola Komunikace s osobami s autismem (sedmá kapitola, autor Iva Oulehlová) popisuje základní projevy autismu, vysvětluje strategii komunikace zdravotníka k osobám s poruchou autistického spektra. Pozornost je věnována možným projevům (např. problematické slovní vyjádření pocitů a potřeb, vymezení osobního prostoru, prožívání bolesti nebo citlivost na informační zahlcení a smyslové přetížení) a doporučeným postupům v přístupu zdravotníka.

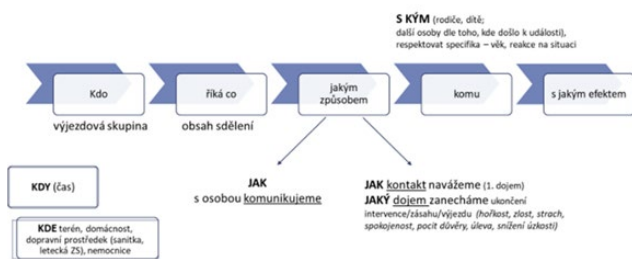


V osmé kapitole je pozornost věnována problematice krizové intervence v akutně vzniklých situacích (autor Tereza Rossmannová). Popsané jsou příčiny vzniku krize, vysvětlené jsou principy krizové intervence, charakterizována je První psychologická pomoc. Studenti si osvojí uplatňování zásad práce s člověkem v krizi.

Softskills a zásady komunikace v přednemocniční péči (kapitola devět, autor Michal Pospíšil) popisuje komunikační strategii LADDER a kognitivní pomůcky v praxi, prostřednictvím kterých mohou zdravotníci ve vypjatých, krizových situacích posoudit a předávat důležité informace a realizovat potřebné intervence.

Součástí e-learningu je zpracovaná problematika sociální interakce a komunikace zdravotníka s pacientem z hlediska věku u vybraných skupin – dětský pacient (kapitola deset, autor Natália Beharková) a senior (kapitola jedenáct, autor Natália Beharková). Cílem obou kapitol je popsat specifika komunikace s dítětem, zákonným zástupcem nebo seniorem, uvedeny jsou faktory a možné bariéry, které významným způsobem ovlivňují komunikaci (viz Obrázek 5 Části komunikačního procesu v přednemocniční péči – faktor prostředí, věk).

Části komunikačního procesu v PNP výjezd



Obrázek 5 – Části komunikačního procesu v přednemocniční péči – faktor prostředí, věk

Cílem dvanácté kapitoly Umírání a smrt (autor Natália Beharková) je zamyslet se nad tématem smrti, uvést faktory ovlivňující komunikaci zdravotníka s umírajícím pacientem a jeho příbuznými. Zdravotník má být profesionál, který se nebojí mluvit o smrti, orientuje se v problematice doprovázení, je schopen poskytnout kvalitní, šetrnou a laskavou péči, respektuje důstojnost a úctu do posledních chvil umírajícího a umí poskytnout pomoc pozůstalým. Ve výuce se používají mimo jiné i knihy a hra Řekni mi (viz Obrázek 6 Knihy s problematikou umírání a smrti – ukázka, Obrázek 7 Hra Řekni mi, Centrum paliativní péče – ukázka).

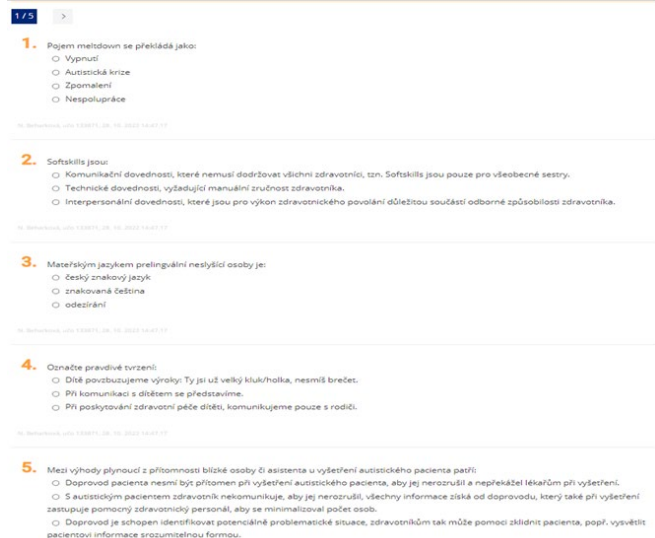


Obrázek 6 – Knihy s problematikou umírání a smrti – ukázka



Obrázek 7 – Hra Řekni mi (Centrum paliativní péče) – ukázka

Závěrečné hodnocení je v e-learningu realizováno formou odpovědníku (viz Obrázek 8 Odpovědník – ukázka), každý student odpovídá na 25 otázek. Možnosti odpovědí jsou zpracovány variantou jednoho správného tvrzení/odpovědi – single best answer nebo možnost více správných odpovědí (multiple choice question). U nesprávných odpovědí je uvedena i konstruktivní zpětná vazba a zdůvodnění. Všechny položky odpovědníku jsou formulovány jako uzavřené.



Obrázek 8 – Odpovědník – ukázka

Předmět Didaktika sociální interakce v intenzivní péči je vyučován vždy v podzimním semestru příslušného akademického roku v prezenční i kombinované formě studia. Inovativní přístup k výuce včetně používání vytvořeného e-learningu byl realizován od podzimního semestru 2020. Od té doby mělo možnost využít e-learning v uvedeném předmětu 172 studentů. Zpracovaný e-learning je také aktuálně dostupný v dalších pěti předmětech (které souvisí se sociální interakcí a edukací) vyučovaných v bakalářském prezenčním studiu u nelékařských studijních programů na LF MU. Studentům je na základě hodnocení z Odpovědníku poskytnuta self-evaluace. Od kolegů, kde je v jejich předmětu přístupná interaktivní osnova Komunikace ve zdravotnictví (e-learning) registrujeme pozitivní zpětnou vazbu, deklarováno je i zlepšení softskills dovedností studentů v klinické praxi.

Semináře uvedeného předmětu jsou vedeny formou praktických cvičení s diskusí a evaluací. Studenti provádí nácvik efektivních komunikačních technik, interpretují vhodné a ne-

vhodné postoje zdravotníka, v modelových situacích je využívána technika hraní rolí s vlastním prožitkem studenta v pozici pacienta, rodiny, zdravotníka, spolu pacienta. Studenti si zkusí alternativní způsoby komunikace u pacienta s narušenou komunikační schopností nebo základní principy krizové intervence. Důležitou součástí komunikačních dovedností je zvládnutí problematiky umírání a smrti, včetně komunikace s pozůstalými. Využívány jsou aktivizační výukové metody doplněné o specifické pomůcky v souvislosti s probíraným tématem, jako je například poskytování péče a komunikace se zrakově postiženým pacientem nebo použití simulačního modelu stáří (viz Obrázek 9 Simulační model stáří).



Obrázek 9 – Simulační model stáří

### Závěr

Zavedené metody interaktivního přístupu ve výuce, nácvik modelových situací s využitím e-learningové opory studijních materiálů založený nejen na teoretických poznacích, ale především praktické zkušenosti autorů e-learningu v péči o osoby se znevýhodněním zvyšují soft skills studentů a přispívají k jejich lepší přípravě do klinické praxe. V neposlední řadě přispívají také k uvědomění si vlastních hodnot a způsobů chování v rámci sociální interakce jak v profesním, tak v osobním životě. Efektivita uplatňovaných interaktivních přístupů s blended learningem je ověřována v rámci modelových situací v kontaktní výuce.

### Potvrzení

E-learning vznikl z projektu MUNI/FR/1131/2019 Podpora soft skills studentů vybraných nelékařských zdravotnických profesí, Fond rozvoje Masarykovy univerzity, období řešení 1. 1. 2020-31. 12. 2020, řešitel Natália Beharková. Děkuji všem autorům, kteří na projektu a zpracování e-learningu spolupracovali.

## DIDACTICS OF SOCIAL INTERACTION IN INTENSIVE CARE

### Abstract

The paper presents a specific concept of teaching in the Intensive Care programme using interactive approaches and online tools. For courses aimed at acquiring practical skills and strengthening students' soft skills, it is important to use interactive approaches in teaching and activating teaching methods. In the course Didactics of Social Interaction in Intensive Care, e-learning is also available to students, which has been developed in collaboration with professionals working with people with specific needs. The created study material supports students' theoretical knowledge, appropriately complements the necessary practical skills of students and improves students' readiness for clinical practice. An important part of the e-learning is the creation of videos with concepts and phrases in Czech sign language related to nursing care and healthcare.

### Keywords

audiovisual recording, Czech sign language, e-learning, communication with the deaf, soft skills, social interaction

### Literatura

- [1.] Secker J, Morrison C. *Copyright and E-Learning: A Guide for Practitioners*. Facet; 2016. doi:10.29085/9781783301492
- [2.] Delungahawatta T, Dunne SS, Hyde S, et al. *Advances in e-learning in undergraduate clinical medicine: a systematic review*. BMC medical education. 2022;22(1):711. doi:10.1186/s12909-022-03773-1
- [3.] Průcha, J, Walterová, E, Mareš, J. *Pedagogický slovník*. 4. aktualizované a rozšířené vydání. Praha: Portál, 2009. ISBN 978-80-7367-647-6
- [4.] Zounek J, Juhaňák L, Staudková H, Poláček J. *E-learning: Učení (se) s digitálními technologiemi*, Vyd. 2, aktualizované. Praha: Wolters Kluwer, 2021 ČR. ISBN 978-80-7676-175-9

### Kontakt

PhDr. Natália Beharková, Ph.D.

Ústav zdravotnických věd

Lékařská fakulta Masarykovy univerzity

Kamenice 126/3 Brno 625 00

[nbehar@med.muni.cz](mailto:nbehar@med.muni.cz)

## INTERAKTIVNÍ VÝUKOVÁ MÉDIA V PROCESU VÝUKY A PUBLIKOVÁNÍ

Igor Červený, Tomáš Stejskal, Jitka Feberová

### Abstrakt

Autoři popisují unikátní publikační systém FutureBooks, umožňující tvorbu a distribuci primárně elektronických interaktivních výukových médií (IVM). Systém umožňuje vytvářet, zobrazit a distribuovat výukové zdroje v běžném webovém prohlížeči bez nutnosti instalace aplikace „třetí strany“.

### Klíčová slova

digitální vzdělávání, digitální zdroje, e-learning, publikační systém, interaktivní výuková média, otevřené vzdělávací zdroje

### 1 Úvod

Od počátku samotné elektronizace společnosti dochází rovněž ke snaze o elektronizaci vzdělávání. Dnes tyto snahy nabírají na intenzitě a potřebnosti a přelévají se do národních strategií.

V oblasti Evropy (EU) pak směřují přímo do podoby strategických dokumentů "The Digital Education Action Plan (2021-2027)", "DigComp 2.1" a "DigCompEdu", které akcentují nutnost a potřebu připravit a vybavit budoucí učitele (v roli doktorandů a tzv. post-doců) dostatečnými znalostmi a dovednostmi (tzv. pedagogickými digitálními kompetencemi), které následně povedou k žádoucímu rozvoji digitálních kompetencí studentů VŠ, čímž by mělo dojít k zajištění konkurenceschopnosti EU a její ekonomiky v následujícím období. Nicméně pro zajištění rozvoje takových specifických schopností (budoucích) učitelů v oblasti využívání digitálních technologií, konkrétně v podobě integrace DigCompEdu rámců „2.0 Digitálních zdrojů, 3.0 Výuky, 4.0 Digitálního hodnocení a 5.0 Podpory žáků/studentů“ je nutné již nyní poskytnout studentům pregraduálního a doktorského studia dostatečné a inovativní ICT vybavení, které je seznámí s možnostmi využívání digitálních technologií (od SW až po HW) s cílenou didaktikou vedoucí k rozvoji potenciálu každého studujícího. Obzvláště podpora doktorského studia může následně zabezpečit i rozvoj nových vyučovacích/vzdělávacích metod pomocí digitálních nástrojů, které následně pomohou ve vysokoškolském terénu dosahovat požadovaného cíle.

Pro zajištění výše uvedených kompetencí (a to zejména zmiňovaných rámců DigCompEdu) je proto nutné zabezpečit v rámci pregraduálního a doktorského studia rozvoj těchto oblastí:

### Tvorbu digitálních zdrojů a Ochranu digitálních zdrojů

Při práci s digitálními zdroji je dle dlouhodobých strategií v oblasti digitálního vzdělávání i rozvoje digitální gramotnosti (jmenovitě „Strategie vzdělávací politiky ČR do roku 2030+“, „DigComp 2.1“, „DigCompEdu“ apod.) důležité ze strany pedagogických pracovníků oplývat dovednostmi, jež cíleně umožňují strukturovat, upravovat a rozvíjet digitální zdroje, které podporují výuku samotnou ale i jednotlivé vzdělávací cíle. Současně je nicméně nutné budoucí pedagogy seznámit i s riziky šíření didaktických pomůcek v online prostoru, a to především v oblastech sdílení a volného šíření v mezích autorského/školského zákona. Při používání, úpravách a sdílení digitálních zdrojů totiž učitelé musí respektovat autorské právo a především chránit citlivý obsah a údaje, jako je zadání zkoušek nebo hodnocení studentů.

Podpora vzdělávání v oblasti „Tvorby a úpravy digitálních zdrojů“ tudíž zabezpečí budoucím pedagogickým pracovníkům (v roli doktorandů a tzv. post-doců) především vědeckým

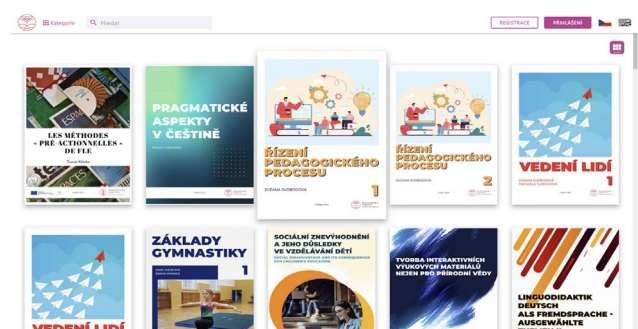
pracovníkům v oblasti didaktiky/metodiky nové kompetence, které je seznámí s:

- Vhodnými nástroji pro tvorbu a publikaci digitálních vzdělávacích zdrojů/monografií (v kontextu s Digital Humanities);
- Kooperativním režimem tvorby (více autorů, recenzentů apod.);
- Tvorbou digitálních zdrojů v kontextu zohlednění konkrétních výukových cílů, souvislostí, pedagogických přístupů i se zacílením na potřeby konkrétní skupiny studentů či daného studenta s SvP apod.;
- Ochranou soukromí a autorských práv i v souvislostech vyplývajících ze znalostí využití otevřených licencí a otevřených vzdělávacích zdrojů.

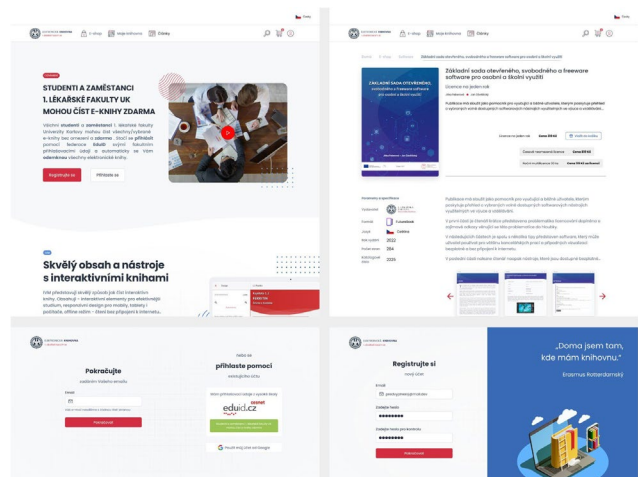
Právě z tohoto důvodu a v návaznosti na strategické cíle vyvinula Pedagogická fakulta Univerzity Karlovy ve spolupráci s externími institucemi a odborníky (z oblastí pedagogiky/didaktiky, knihovnictví, nakladatelství a vývoje softwaru) unikátní publikační systém, který má zabezpečit rozvoj digitálních kompetencí pedagogů ale především nabudit aktivizaci studentů s důrazem na jejich bezprostřední účast (aktivitu) ve výukovém procesu, v jejich angažovaném zapojení do výukových aktivit, na vlastních učebních aktivitách, na myšlení a na řešení problémů“ (Maňák, 2011).

### 2 Popis systému

Systém FutureBooks (<https://futurebooks.cz/>) lze charakterizovat jako publikační systém umožňující tvorbu a distribuci primárně elektronických interaktivních výukových médií. Na jeho rozvoji se podílí Pedagogická fakulta a nyní i 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy (FutureBooks, ©2022).



Obrázek 1 – Publikační systém FutureBooks – Knihovna Pedagogické fakulty Univerzity Karlovy



Obrázek 2 až 5 – Publikační systém FutureBooks – eShop 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy



Systém ke své činnosti využívá několik vzájemně propojených serverových služeb (např. mediální, publikační, autentizační apod.) s funkcemi, jež zabezpečují tvorbu, ochranu a distribuci médií (a to včetně zohlednění sociálně odpovědného přístupu, například pomocí metodiky *Blind Friendly Web*, i udržitelného rozvoje formou snížení uhlíkové stopy prostřednictvím optimalizace dat médií a jejich komponent). Ačkoliv FutureBooks produkuje IVM převážně ve značkovacím jazyce HTML5, umožňuje rovněž distribuci zdrojů (médií) jiných jazykových formátů (od PDF, přes EPUB a další) s tím, že je schopen všechna média zobrazit v běžném webovém prohlížeči (bez nutnosti instalace aplikace „třetí strany“) i s pomocí SW aplikací (od desktopových zařízení až po mobilní přístroje), (FutureBooks, ©2022).

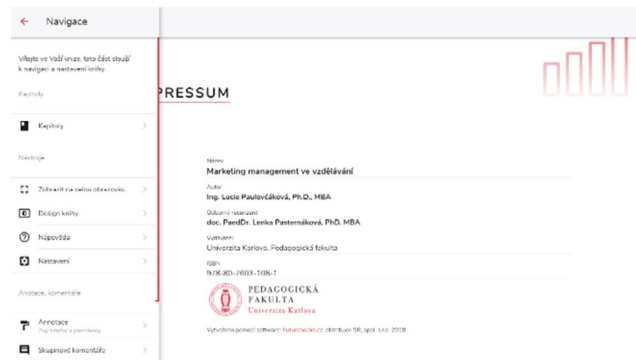
Univerzitní SpinOff FutureBooks v roli vlastníka systému svým partnerům nabízí software pod placenou licenci, avšak umožňuje tvořit a distribuovat vlastní IVM i v režimu otevřených vzdělávacích zdrojů pod nejširší licenci „Creative Commons BY 4.0“ (FutureBooks, ©2022).

### 3 Základní vlastnosti systému

#### 3.1 Přehlednost

Orientace v knihovnách (systémové prostředí pro souhrnné zobrazování publikací/IVM dané instituce) i v samotných IVM je snadná a přehledná.

Tvůrci systému vycházeli při koncipování celého prostředí z „dobré praxe“ v oblasti uživatelských zkušeností – např. navigační lišty lze snadno „vyvolat“ pohybem v IVM, případně tlačítkem myši/klikem na obrazovce; v IVM se lze pohybovat za pomoci standardních gest (v případě mobilních zařízení) i „myši“ či klávesnice u přístupu z PC; hierarchie i kategorizace je přehledná; knihovny i IVM umožňují plnohodnotné vyhledávání (u IVM lze dohledat i jednotlivá multimédia od obrázků, fotografií až po animace, videa a grafy) a celkový uživatelský dojem je příjemný a intuitivní.



Obrázek 6 – Publikační systém FutureBooks – IVM – Lišta

Samozřejmostí je, že u IVM lze nalézt veškeré popisné informace, které je autor, případně producent, ochoten svým uživatelům poskytnout (převážně formou *Impressum*, vizte prosím podkapitulu 1.3.1.3.1 – Obsahová struktura).

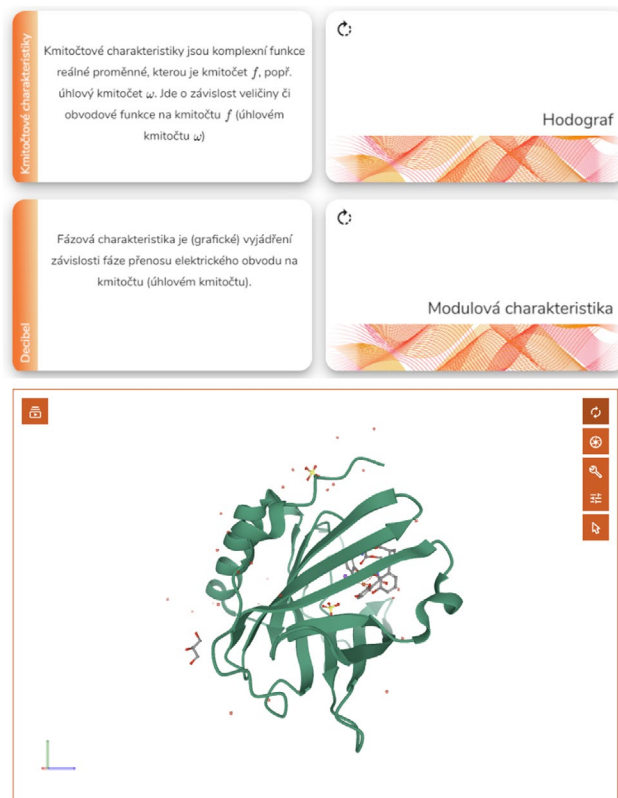
Uživatelská podpora má nyní základní úroveň (návod, doporučení, blog, přímá komunikace s programátory), nicméně v brzké době budou spuštěny další formy přímé komunikace s uživateli (forum, chat apod.), aby byl zabezpečen větší komfort pro uživatele jak v roli autora/pedagoga, tak studenta.

#### 3.2 Vizualizace

Systém FutureBooks má implementovány různé atraktivní prvky. Například u výběru titulu v knihovně se pro přehlednost dané IVM dočasně „zvětší“. U knihoven i IVM jsou aplikovány moderní grafické styly upřednostňující především „vzdušnost“.

Velikost písma i jeho barevnost si mohou uživatelé pomocí hlavní lišty upravovat sami dle svých zvyklostí nebo potřeb (uživatelé se SVP), a to od druhu fontů, přes velikost písma, až po barevnost pozadí.

Vysoká úroveň provedení multimediálních interaktivních prvků je dána desítkami stylů galerií (pro možnost zobrazení více vizuálních prvků), a řadou interaktivní nástrojů (od jednoduchých aktivizujících prvků jako jsou kartičky, až po složitější 3D simulace). Tvůrci systému se vždy snaží, aby dané prvky byly snadno ovladatelné, graficky poutavé a uživatele nemátly po obsahové i uživatelské stránce (snaha o intuitivní ovládání).



Lipokalín 2 3D molekulární struktura Lcn2 s vyznačeným atomem železa (fialová sféra ve struktuře). Je sekretován imunitními buňkami (neutrofily) a eptelinými buňkami.

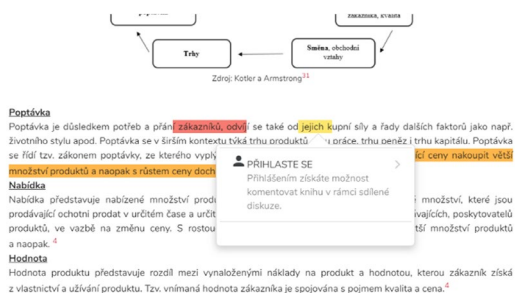
Obrázky 7 a 8 – Publikační systém FutureBooks – IVM – Kartičky a Lipokalín 3D

Odkazy jsou od standardního textu dostatečně odlišeny, tvůrci systému navíc autorům IVM nabízí různé formáty provedení (od klasického uvedení přímo v textu přes hromadný soupis – provázaný s textem až po symboly zobrazující nové okno s širším popisem/citací a odkazem).

#### 3.3 Provedení

IVM z produkce systému FutureBooks zcela naplňují kritérium „nezávislosti“. Svým uživatelům umožňují práci s IVM od režimu on-line ve webovém prostředí s využitím prohlížeče, až po jeho „stažení“ do zařízení pro případné aktivity v režimu off-line (bez přístupu k internetu) s tím, že registrovaní uživatelé mohou následně své poznámky, citace či podtržené části textu synchronizovat i zpětně (po připojení k internetu).

Uživatelské nástroje jsou standardní a jejich aplikace je velmi intuitivní. IVM studentům i pedagogům nabízí tvorbu poznámek a podtržení části textu, v obou případech s barevnou variantou pro případné rozlišení důležitosti („Červeně je podtrženo, na čem bazíruje profesor. Zeleně, co vyžaduje Sejkora, modře, co chtějí asistenti – Bylo tam podtrženo úplně všechno“, Klein, 1985). Systém rovněž nabízí vyhledávání a vyhotovení komentáře pro autorský tým (tato funkce bude popsána níže).



Obrazek 9 – Publikační systém FutureBooks – IVM – Uživatelské nástroje

Autoři IVM mohou hypertextové zpracování učební informací tvořit ve všech „směrech“ (lineárním, větveném a standardním) dle svého uvážení a vhodnosti pro dané téma.

Komunikační nástroje lze u systému FutureBooks rozdělit na autorské a uživatelské. V případě autorských nástrojů lze pomocí připomínek komunikovat přímo s realizačním týmem, od programátorů přes grafiky, korektory i producenty až po samotné autory díla. U uživatelských nástrojů lze využít poznámek či citací, které si mohou studenti „nasdílet“ mezi sebou, veřejně, nebo je sdílet pouze se svým pedagogem.

V případě správy uživatelského účtu se student/pedagog setkává se standardními postupy. Proces zahajuje registrace, pokračuje možná následná aktualizace osobních údajů, a ukončuje případné smazání účtu.

Ačkoliv administrace knihovny i IVM není složitá, je pro producenty jednodušší, svěřit tvorbu IVModborníkům s vyšší digitální gramotností a delší publikační praxí.

Nástroje administrace nabízí správcům knihoven širší nabídku nastavení atributů IVM upřesňujících jejich následnou distribuci a „volnost“ užití, které by měli mít producenti pod kontrolou.

### 3.3.1 Kategorizace provedení interaktivních výukových médií

Rozčlenění IVM podle formy je složitější. Dle proklamace bývalého Národního ústavu pro vzdělávání (NÚV, ©2016) sice existuje celá řada pokusů o jejich přehledné uspořádání či klasifikaci, ale jelikož se na „trhu“ za poslední tři desetiletí vyskytuje nespočet různých forem digitálních vzdělávacích zdrojů (od profesionálních děl vzdělávacích agentur či pedagogických nakladatelství až po výukové prezentace pedagogických pracovníků sloužící primárně k vysvětlení určitých pojmů či situací/problematik – vizte portál [rvp.cz](http://rvp.cz)), je samotná kategorizace formy provedení IVM těžko uchopitelná. Navíc lze očekávat, že s neustávajícím rozvojem ICT bude různorodost formátů nejspíše přibývat (jestli se situace neustálí jako u formátů audiovizuálních děl).

Nicméně budeme-li vycházet z dokumentu MŠMT (NÚV) v podobě „Kritéria kvality digitálních vzdělávacích zdrojů podpořených z veřejných rozpočtů“ (RVP, ©2016), který byl předložen v dubnu 2016 k veřejné i odborné diskuzi na Metodickém portálu [RVP.CZ](http://RVP.CZ) a následně doplněn o relevantní připomínky, můžeme čtenáři předložit základní soupis několika druhů

médií, která podporují interaktivní prvky či vrstvy. Patří sem dokumenty vytvořené pomocí Office (Open/MS), vrstveného PDF, moderním EPUB, aplikací Flash a v neposlední řadě média vytvořená pomocí zdrojového kódu HTML5.

U zmíněných formátů lze dle jejich SW vlastností verifikovat možnost implementace interaktivních a multimediálních prvků včetně přítomnosti určité nabídky základních uživatelských nástrojů (vizte prosím „Tabulku číslo 01 – Druhy IVM“).

### Vhodnost užití jednotlivých druhů interaktivních výukových médií

Ne všechny uvedené formáty jsou ale vhodné k tvorbě nových IVM, a to hned z několika důvodů. Za ten nejpodstatnější můžeme bezesporu považovat zabezpečení tzv. multiplatformnosti, tudíž vlastnosti, která umožňuje dané médium sdílet na vícero ICT platformách (např. na desktopu WIN/macOS a na mobilních zařízeních Android/iOS) ([sccs.abz.cz](http://sccs.abz.cz), ©2005-2020).

Ač by se na první pohled mohlo jevit, že je plně dostačující, zpřístupní-li autor nebo distributor dané médium pouze pro platformu PC s operačním systémem WINDOWS (verze 7 až 10), kterým momentálně disponuje přes 88% veškerých počítačových zařízení (vizte odbornou analýzu „Operating System Market Share“ na portále: <https://netmarketshare.com/>, NetApplications, ©2017-2020), opak je pravdou. Touto obchodní politikou by producenti mohli omezit přístup k informačním zdrojům nemalé skupině uživatelů, neboť by nejenom opomenuli nový přístup ke vzdělávání v podobě metody „BYOD“ (přines si vlastní zařízení, anglicky: Bring Your Own Device, Salem Press Encyclopedia – Mazzei, 2020), ale především by nereflektovali momentální „nadvládu“ mobilních aparátů (mobilní telefony a tablety), které mají v počtu ICT zařízení nadpoloviční většinu s téměř 59% (vizte odbornou analýzu „Device Types“ na portále: <https://netmarketshare.com/>, NetApplications, ©2017-2020). To znamená, že IVM vytvořená pomocí aplikace FLASH jež nelze spustit na většině mobilních zařízení s aktuálními operačními systémy by nedoputovala k velké části uživatelů.

Dále by měli autoři zvážit, jestli je vhodné k tvorbě a distribuci IVM využít uzavřený „ekosystém“ například v podobě formátů MOBI/AZW/KF8/iBooks (u SW iBooks může navíc docházet k narušení principu multiplatformnosti, neboť plnohodnotné využití je primárně nastaveno/omezeno pro zařízení s operačním systémem iOS, vizte webové stránky výrobce, Apple, ©2020). U těchto formátů je mnohdy uživatel „nucen“ instalovat aplikace třetí strany, aby mu bylo následně zpřístupněno komplexní využití média. Tuto administrátorskou možnost ovšem nemusí mít uživatel vždy k dispozici, obzvláště za situace, kdy ICT zařízení není jeho a on má pouze uživatelská práva „hosta“.

Tato okolnost může poměrně často nastávat ve školách či knihovnách, kde zařízení patří dané instituci. Uživatel (obzvláště z pozice pedagoga) má pravděpodobně možnost požádat administrátora dostatečně v předstihu o instalaci aplikace, aby mohl médium plnohodnotně využít při daném vyučování, ovšem v případě, kdy uživatel informace teprve vyhledává, se může dostat do situace, kdy bude mít přístup ke vzdělávacímu zdroji zamezen, a tudíž jej nebude moci při výuce využít.

Formát	Podpora interaktivních prvků	Podpora multimediálních prvků (video, animace, obrázky, fotografie, zvuk, hudba)	Podpora uživatelských nástrojů (poznámky, podtrhávání, případná citace)	Podpora typografických prvků
Office	textový, tabulkový či prezentační dokument	Ano (v omezené míře)	Ano	Ano
PDF	tzv. vrstvené s interaktivní (dynamic) vrstvou	Ano (v omezené míře)	Ano	Ano
EPUB	EPUB3, MOBI, iBooks, AZW, KF8	Ano	Ano	Ano
Flash	Flash App	Ano	Ano	Ano
HTML	HTML5	Ano	Ano	Ano

Tabulka 1 – Druhy IVM

Formát	Plnohodnotná podpora interaktivních prvků	Multiplatformní systém (WIN, MAC OS, Android, iOS)	Nutnost instalace aplikace třetí strany
Office	textový, tabulkový či prezentační dokument	Ne	Ano (částečně)
PDF	tzv. vrstvené s interaktivní (dynamickou) vrstvou	Ne	Ano (částečně)
EPUB	EPUB3, MOBI, iBooks, AZW, KF8	Ano	Ano (u většiny formátů)
Flash	Flash App	Ano	Ne (u většiny platform)
HTML	HTML5	Ano	Ano

Tabulka 2 – Druhy IVM a jejich komplexnost

Výše uvedené je ještě nutno doplnit o potřebu dané médium snadno, a potažmo i rychle uložit do režimu off-line, neboť ne vždy má pedagog/student přístup k internetu (omezená kapacita Wi-Fi, cestování apod.).

Posledním, avšak v případě IVM rovněž důležitým kritériem, je možnost implementace složitějších interaktivních prvků, které mohou mít podobu od 3D modelů až po prvky vyžadující softwarovou podporu augmentové (rozšířené) či virtuální reality. Takovoto simulace, s nimiž uživatel může pracovat, je z programátorského hlediska téměř nemožné importovat do dokumentů Office či PDF. Tyto formáty nebyly primárně vytvořeny za účelem tak náročné interakce s uživatelem.

Z výše uvedeného textu, jehož kritéria primárně vychází ze zmiňované „kvality digitálních vzdělávacích zdrojů“ (RVP, ©2016) i ze Strategii digitálního vzdělávání (MŠMT, ©2014) či gramotnosti (MPSV, ©2015) a dle níže přiložené tabulky číslo dvě „Druhy IVM a jejich komplexnost“, lze tedy za nevhodnější formát zpracování médií považovat HTML5.

Tato platforma umožňuje tvůrcům médií multiplatformnost, implementaci složitějších interaktivních prvků i volný přístup jen za pomoci webového prohlížeče bez nutnosti instalace aplikace třetí strany, a to v režimu on-line i off-line (navíc v případě placené distribuce naplňuje formát principy EPUB3, který lze ve většině případů distribuovat i za pomoci uzavřených „ekosystémů“).

#### 4 Otevřené vzdělávací zdroje

Autoři případně producenti IVM se občas mohou setkat s povinností zabezpečit u svých médií princip tzv. „otevřených vzdělávacích zdrojů“ (OVZ, anglicky: Open Educational Resources – OER).

Dle nadace William and Flora Hewlett je „myšlenka OVZ jednoduchá. Za OVZ můžeme považovat veškeré výukové, učební a výzkumné materiály různých forem, které jsou legálně dostupné na internetu (veřejné doméně), nebo které byly vydány pod otevřenou licencí, aby je mohl kdokoli a kdykoli znovu použít, revidovat, remixovat a redistribuovat.“ (Wickline, 2013).

Katedra informačních studií a knihovnictví Masarykovy univerzity na svých webových stránkách, věnujících se podpoře OVZ dále blíže upřesňuje základní rámec tzv. „4RS“ (Reading, Writing, Respect, and Resolution, CASEL, ©2020) otevřených vzdělávacích zdrojů (Škyřík, 2019):

„**Opakované použití:** obsah může být použit v nezměněné formě (např. vytvořit záložní kopii obsahu); **Revizi:** obsah lze přizpůsobit, upravit nebo změnit; **Remix:** původní nebo revidovaný obsah lze kombinovat s jiným obsahem za účelem vytvoření nového obsahu; **Redistribuci:** kopie obsahu mohou být sdíleny s ostatními v původní, revidované nebo remixované formě.“

Tudíž aby mohl být princip OVZ naplněn, je nutné dodržet dva základní aspekty, které doporučuje i MŠMT (RVP, ©2016). Ten první se týká autorskoprávního nastavení licence, kde je potřeba aby producent dílo poskytl s volnou licencí, nejlépe formou neznámějšími veřejné licence – Creative Commons verze 4.0, „kde se jedná o maximálně liberální variantu, která

dovoluje dílo jednak zpracovávat a dále i komerčně využívat“ (Myška, 2014). Druhý aspekt se týká požadavku natzv. otevřený zdrojový kód, tedy technickou dostupnost kódu, jež umožňuje dílo „používat za jakýmkoli účelem, studovat jak pracuje a přizpůsobit jej potřebám uživatele, redistribuovat jeho kopie, a vylepšovat ho s tím, že tato vylepšení může uživatel následně zveřejňovat a dále šířit“ (Myška, 2014).

#### 5 Závěr

Z mezinárodních studií, které byly zaměřeny na potřeby studentů, vyplývají obdobné závěry, jako z šetření pobaltských a skandinávských zemí, kde se studenti, jež se zúčastnili této studie formou on-line dotazníkového šetření, jasně vyjádřili, že od elektronických opor již v dnešní době očekávají prvky, které jim poskytnou poutavější zážitek, nežli je četba „prostého“ elektronického textu (Maceviciute, Wilson, Gudiniavičius, Šuminas, 2017).

Jsou to totiž právě interaktivní prvky jakožto dynamické efekty, které pozitivně ovlivňují uživatelskou délku setrvání v médiu a nepřímo zvyšují jeho hlubší zaujetí pro věc. Právě v oblasti vzdělávání takové prvky primárně přispívají k intelektuální a emocionální stimulaci i k samostatnosti ze strany uživatele.

Je-li proto snahou vysokých škol obstát v oblasti vzdělávání u právě přicházejících generací, které jsou již zvyklé z předchozího studia (distanční vzdělávání apod.), případně ze svého osobního života (sociální sítě, mediální reprezentace kybernetické osobnosti/svého Id) na interaktivní prostředí, nemohou v této oblasti zaostávat a spoléhat se na dosavadní nástroje vytvořené předchozími generacemi.

Z hlediska plánovaného výstupu, tzn. digitálního vzdělávacího zdroje (např. formou IVM), je pak rovněž klíčové pochopit problém, který při integraci digitálních technologií do vzdělávání vyvstává. Výstižně tento problém charakterizuje Magana (2017). Vzdělávací technologie mohou podle něj sehrát ve vzdělávání jak úlohu disruptivní inovace, tak inovace rušivé (distractive innovation). Záleží na tom, jakým způsobem se technologie ve vzdělávání používá. Proto je nutné studentům/samo-studujícím poskytnout takové prostředí, které je velmi intuitivní a co nejméně rušivé a obsahově jej naplnit primárně smysluplnými aktivizačními prvky.

Z těchto všech předpokladů se snaží tvůrci systému FutureBooks vycházet, být v této oblasti z pohledu aplikovaného pedagogického výzkumu proaktivní a přinášet nové a praxi ověřené metody podpory elektronického vzdělávání.

**Literatura**

- [1.] 4Rs (Reading, Writing, Respect, and Resolution). CASEL [online]. USA: CASEL, 2020 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://casel.org/guideprograms4rs-reading-writing-respect-and-resolution/>
- [2.] ČERVENÝ, Igor. Interaktivní výuková média (IVM). Praha, 2020. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, Ústav informačních studií a knihovnictví. Vedoucí práce Drobíková, Barbora.
- [3.] Národní ústav pro vzdělávání [online]. Praha: Národní ústav pro vzdělávání [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <http://www.nuv.cz/>
- [4.] Národní ústav pro vzdělávání: Diskuse ke Standardu digitálních vzdělávacích zdrojů [online]. Praha: Národní ústav pro vzdělávání [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <http://www.nuv.cz/di>
- [5.] Pojem multiplatformní software. ABZ.cz: slovník cizích slov [online]. Praha: ABZ.cz: slovník cizích slov, 2020 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/multiplatformni>
- [6.] MACEVICIUTE, Elena, T.D. WILSON, Arunas GUDINAVIČIUS a Andrius ŠUMINAS, 2017. E-books in academic libraries: results of a survey carried out in Sweden and Lithuania. Information Research [online]. 22(3) [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <http://www.informationr.net/ir/22-3/paper762.html>
- [7.] Magana, S. (2017). Disruptive classroom technologies. Corwin, <https://dx.doi.org/10.4135/9781071872628>
- [8.] MAŇÁK, Josef. Metodický portál RVP: Aktivizující výukové metody [online]. 2011 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://clanky.rvp.cz/clanek/c/O/14483/AKTIVIZUJICI-VYUKOVE-METODY.html/>
- [9.] MYŠKA, Matěj. Veřejné licence v České republice / Matěj Myška, Radim Polčák, Jaromír Šavelka, Libor Kyncl, Iveta Sviráková. 2014. ISBN 9788021071926.
- [10.] NetApplications [online]. USA: NetApplications [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://netmarketshare.com/>
- [11.] Strategie digitální gramotnosti ČR na období 2015 - 2020. Ministerstvo práce a sociálních věcí [online]. Praha: Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2015 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://www.mpsv.cz/strategie-digitalni-gramotnosti-cr-na-obdobi-2015-2020>
- [12.] STRATEGIE DIGITÁLNÍHO VZDĚLÁVÁNÍ DO ROKU 2020. Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky [online]. Praha: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, 2014 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://www.msmt.cz/vzdelavani/skolstvi-v-cr/strategie-digitalniho-vzdelavani-do-roku-2020>
- [13.] STRATEGIE VZDĚLÁVACÍ POLITIKY ČESKÉ REPUBLIKY DO ROKU 2020 [online]. Praha: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, 2020 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: [www.vzdelavani2020.cz](http://www.vzdelavani2020.cz)
- [14.] WICKLINE, Heath. Open Educational Resources: Breaking the Lockbox on Education. The William and Flora Hewlett Foundation [online]. USA: The William and Flora Hewlett Foundation, 2013 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://hewlett.org/open-educational-resources-breaking-the-lockbox-on-education/>

**Kontakt**

Igor Červený  
Pedagogická fakulta UK  
Magdalény Rettigové 4  
116 39 Praha 1  
[igor.cerveny@pdf.cuni.cz](mailto:igor.cerveny@pdf.cuni.cz)



## COMPUTATIONAL MODEL OF CIRRHOTIC PORTAL HYPERTENSION

Filip Jezek, Nikhilesh R Mazumder, Elliot B. Tapper, Daniel A. Beard

### Abstract

**Background & Aims:** As liver disease progresses, scarring results in worsening hemodynamics ultimately culminate in portal hypertension. This process has classically been quantified via the Hepatic Venous Pressure Gradient (HVPG), however HVPG alone does not predict a given patient's clinical presentation with regards to Baveno stage of cirrhosis. In this study we propose that a patient's 'HVPG-sensitivity' to venous remodeling could explain disparate disease trajectories.

**Methods:** We created a computational model of liver disease informed by actual physiologic measurements from the field of portal hypertension over the last four decades. We simulated progression of liver disease, clinical complications, and HVPG in the context of varying 'HVPG-sensitivity' to portal venous remodeling.

**Results:** Our results unify hemodynamics, venous remodeling, and the progression of liver disease. We demonstrate that in modifying the 'HVPG-sensitivity' to venous remodeling we can explain multiple trajectories of liver disease.

**Conclusion:** This paper provides a basis for a future, whole-body computational model of decompensated liver disease and highlights the importance of venous remodeling in explaining patients' clinically presentation.

### Keywords

portal hypertension, hemodynamics, cirrhosis

### Introduction

The natural history of cirrhosis involves the progressive scarring of the liver and therefore increased resistance to blood flow across the organ. The end-result is portal hypertension which remodels the portal vasculature, alters systemic hemodynamics, and causes life-threatening cirrhosis decompensations such as ascites and variceal bleeding. Portal hypertension is graded in severity using the hepatic-venous pressure gradient (HVPG) which is the pressure difference between the portal vein and hepatic vein. The HVPG is a surrogate for hepatic resistance to blood flow<sup>1</sup>. This measure has been the cornerstone for the field of portal hypertension, with elevated HVPG a risk factor for variceal bleeding, decompensation, patient survival, peri-operative risk, and response to therapy<sup>1-5</sup>.

Despite its importance, HVPG alone may not fully explain a patient's disease trajectory. For example, disease progression is conventionally modeled in stages: Stage 1 (no varices, no ascites), to Stage 2 (varices, no ascites) to Stage 3 and 4 (Ascites and/or bleeding).<sup>6</sup> However, patients may not follow this progression in a linear fashion<sup>7-9</sup>. Furthermore, chronically elevated portal pressure induces and enlarges portosystemic shunts, prevalent in up to 63.5% of patients with cirrhosis and correlated with poor outcomes<sup>10</sup>. These shunts circumvent portal flow to the liver and can lower HVPG by 5 to 15mmHg, interfering with the diagnostic utility of HVPG<sup>11</sup>. Thus, a more complete hemo-

dynamic understanding of the system could assist clinicians in understanding portal hypertension and its progression.

Herein, we develop a computational model of portal hypertension that can simulate the full spectrum of patients with cirrhosis encountered in clinical practice. We hypothesize the sensitivity of the portosystemic system to remodeling in the face of elevated HVPG represents a key driver of variability in trajectories of cirrhosis. Simulation results are shown to support the viability of this hypothesis. Thus the developed model provides a useful tool in illustrating and probing complex interactions between hepatic hemodynamics, ascites formation, and variceal status during the progression of cirrhosis. A web-based simulator for visualizing outcomes can be accessed at <https://filip-jezek.github.io/Ascites/>, while the model source codes in Modelica language can be downloaded from <https://github.com/filip-jezek/Ascites>.

### Methods

#### Objective and Hypothesis

In this study, we sought to simulate HVPG during a consistently increasing amount of liver fibrosis ultimately culminating in the presence of portosystemic shunts and ascites. Simulation conditions are set based on parameter ranges from the literature with the goal of creating a meaningful, clinically relevant model of cirrhosis progression (see Appendix 1). In contrast to prior work, we hypothesize variability in the 'remodeling sensitivity' of portosystemic shunts in response to rising HVPG represents a key driver of differences in trajectories of cirrhosis progression. Specifically, patients 'sensitive' to HVPG will enlarge portosystemic shunts at a faster rate compared to 'insensitive' patients.

#### Steady State Simulation

For our simulated patient cases, we assumed that there are no other systemic diseases other than progressive liver fibrosis. We assumed that progression of fibrosis occurs slow enough to allow for steady state of venous remodeling to be reached. In other words, our model is a simulation of the system at each time point after remodeling has been allowed to occur in response to a given level of fibrosis. This approach is reasonable because the progression of liver disease is known to occur on a much longer time scale than venous shunt formation. For instance, patients with portal vein thrombosis have been noted to form new venous systems within 3-5 weeks<sup>13,14</sup> while the median time from compensated cirrhosis diagnosis to decompensation ranging from 5 to more than 10 years in cohort studies<sup>8,15,16</sup>. In lieu of a time scale, the level of hepatic vascular resistance represents the degree of progression of disease. The simulation is designed in this way because 1) time to a given level of resistance is known to vary by cause of liver disease (e.g. viral, alcohol, metabolic etc), and 2) our model simulates steady state at each possible liver resistance. Utilizing an initial baseline value of 4 mmHg\*min/L, (i.e. 4 mmHg HVPG at 1L/min portal flow, see Model Parameters), hepatic vascular resistance was gradually increased to 35 mmHg\*min/L.

#### Model Parameters

We built our model assuming that portal vein inflow remains constant at approximately 1L/min, which matches flow rates seen in MRI studies of healthy and patients with cirrhosis<sup>17,18</sup>. Given that oxygen delivery is dependent on flow to tissues, proscribing a constant minimum outflow (i.e. portal vein inflow) from the mesentery is a necessity. Other parameter assumptions regarding generation of ascites were previously described

in Levitt et al<sup>19</sup> and are delineated in Appendix 1. Our model represents an extension of this previously published model, which simulated ascites generation as it is related to portal hemodynamics but did not include shunts.

### Novel Portosystemic Shunt Behavior

Most notably, our model incorporates shunt behavior as liver disease progresses. This is in comparison to past models which have omitted this major factor or maintained a fixed element to account for all cases<sup>19-23</sup>. In this study, we propose that the portosystemic shunting can change as liver disease progresses and that shunt diameter increases as HVPg increases. This relationship is well known clinically however has never before been simulated in the context of hemodynamics<sup>24</sup>. We term the relationship between HVPg and fraction of shunting as the 'remodeling sensitivity' of each patient. In other words, with the same HVPg impetus, more 'sensitive' patients may form larger shunts while others who are less 'sensitive' may not. Of note, the 'sensitivity' of portosystemic shunts to remodeling should not be confused with minute-to-minute venous compliance, although they share the same units. We represent the behavior of all the portosystemic shunts in a single, lumped resistive compartment. As its luminal diameter increases, the resistance drops according to the Hagen-Poiseuille law:

$$\Delta P = R \cdot Q = \frac{8\mu L}{\pi r^4} Q \quad (1)$$

where  $Q$  is blood flow,  $\Delta P$  is pressure drop,  $\mu$  is dynamic viscosity of the blood,  $L$  length of the shunt and  $r$  is the actual diameter. The shunt is characterized by its linear resistance  $R$ , given by Hagen-Poiseuille's law. The actual diameter is calculated from the actual volume:

$$V = Lr \quad (2)$$

The actual volume is then given by the shunt's pressure difference  $P_d$  (coincides with HVPg) and assumed vessel long-term susceptibility to pressure-dependent remodeling, expressed by the 'Remodeling sensitivity Constant'  $C_r$

$$V = \max(0, P_d - P_{nom})C_r + V_{nom} \quad (3)$$

$V_{nom}$  is the normal volume, given by normal diameter  $r_{nom}$  as  $V_{nom} = L\pi r_{nom}^2$ , which in turn is calculated from assumed normal resistance  $R_{nom}$  (1000 mmHg.min/L) using the equation (1). The  $P_{nom}$  is assumed normal healthy pressure difference (8 mmHg). The 'Remodeling sensitivity Constant'  $C_r$  for the variceal and ascitic phenotypes has been arbitrarily set to represent the behaviour of distinct clinically observed cases. The parameters are listed in table 1.

	Value	Unit	Description
$P_{nom}$	8	mmHg	Normal transmural pressure of the shunt
$R_{nom}$	1000	mmHg.min/L	Normal shunt resistance at $P_{nom}$
$C_{varices}$	1	ml/mmHg	Long-term pressure-volume remodeling sensitivity of the shunt of the variceal phenotype
$C_{ascites}$	0.5	ml/mmHg	Long-term pressure-volume remodeling sensitivity of the shunt of the ascitic phenotype
$\mu$	4e-3	Pa.s	Blood dynamic viscosity
$L$	10	cm	Length of the portosystemic shunt

Table 1 – List of shunt model parameters

### Model Setup

A diagram of the setup can be seen in Figure 1. We employed 0-D steady state modelling of isolated splanchnic hemodynamics. We assumed constant flow and system free of transients (i.e. in steady state). As a basis, we used the model previously published by Levitt to calculate the steady state ascites pressure<sup>19</sup>. This model consists of resistive components in series (intestinal arteries, intestinal veins, liver, hepatic vein and assumed central venous pressure) and a model of the peritoneal compartment. When the hepatic vein pressure is lower than the peritoneal pressure, the hepatic vein collapses, increasing its resistance to flow.

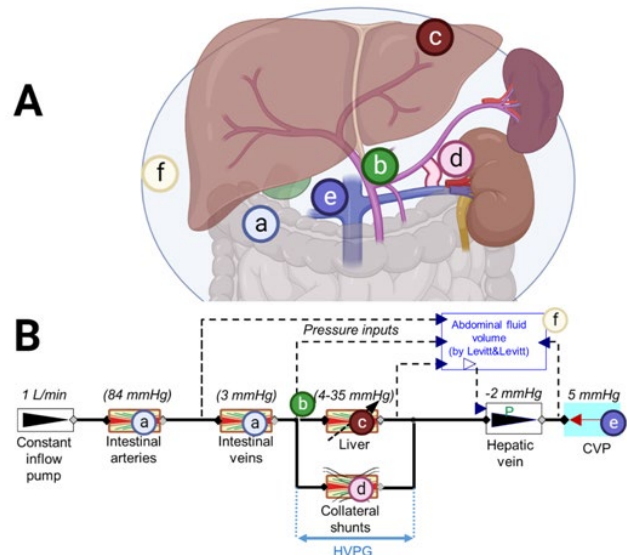


Figure 1 – Anatomy (A) and model setup (B) of the base model (a) intestines, (b) portal vein, (c) liver (d) shunt, (e) inf. vena cava (f) abdominal cavity with ascites. Nominal parameters are shown above each component. Created with BioRender.com.

The fixed pressure drops assumed by Levitt and Levitt for the liver (6 mmHg), intestine venules (3 mmHg) and intestinal arteries were replaced with appropriate resistances so that the pressure drop at the said components stays the same for selected normal inflow of 1 L/min<sup>17,18</sup>. Thus, we can observe the change of the pressure drop at different inflow rates.

### Definitions for Stages of Cirrhosis

Following Baveno classification<sup>5</sup>, we defined the stages as 1) no ascites present and no portosystemic shunt (varices), 2) varices present – the shunt receives > 10 % of the PV flow (100ml/min given set splanchnic inflow of 1 L/min), 3) clinically meaningful ascites (over 5L) and 4) variceal bleeding as varices present and Hepatic venous pressure gradient (HVPg) over 17 mmHg<sup>3,4,25</sup>.

**Experimental setup**

We initialized the model in steady state and then gradually increased liver resistance in increments of 2 mmHg.min/L, mimicking progression of fibrosis, while keeping the inflow constant at 1 L/min. The simulated outputs are HVPG, PPV, abdominal pressure, ascites volume, and Baveno stage of cirrhosis for a high and a low value of ‘remodeling sensitivity’ constant.

Simulations were designed and run in Dymola 2022x, using Modelica Standard Library 4.0 (<https://github.com/modelica/ModelicaStandardLibrary>) and Physiobrary v2.5 (<https://github.com/filip-jezek/physiobrary>). Source code including model documentation and usage instructions can be found at <https://github.com/filip-jezek/ascites>. Institutional Review Board approval was not applicable for this computational study.

**Results**

**Portosystemic Shunt Remodeling Attenuates HVPG Rise**

After simulation, HVPG varied significantly between patients who were HVPG-sensitive vs HVPG-insensitive remodelers. As liver disease progressed, HVPG response can be seen in Figure 2, with end simulation values labeled. Both shunt situations have identical baseline initial conditions with near-zero flow through shunts until diameter rose (prescribed by equation (1)) at a sustained HVPG of 8mmHg per model starting conditions. HVPG-sensitive remodelers had lower HVPG and Pressure in the Portal Vein (PPV) as liver disease progressed compared to the insensitive and no-shunt cases. This is true at each simulated stage of liver disease and especially prominent in the final stages simulated. An example of a later stage of disease is denoted by the orange line in Figure 2, with HVPG decreased by 7 to 10 mmHg in insensitive and sensitive patients respectively. PPV followed a similar ratio, with insensitive and sensitive patients having significant decompression of venous pressure. Notably, HVPG of both shunted groups rise in a non-linear fashion, with a plateau of HVPG around 25 mmHg (and 23 mmHg in the HVPG sensitive group respectively) at later stages of liver disease despite progression of fibrosis.

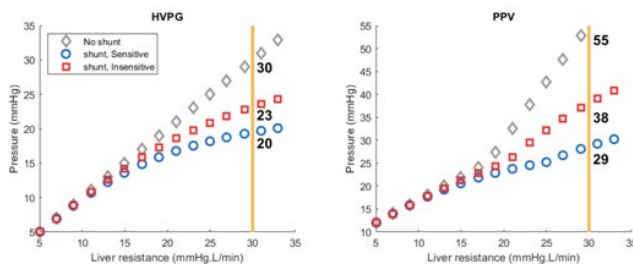


Figure 2 – With increasing liver resistance, increases in Hepatic-Venous Pressure Gradient (HVPG) and Pressure in the portal vein (PPV) are blunted by remodeled cases compared to ‘No shunt’ case. Patients with more remodeling achieved lower HVPG and PPV at all stages. The orange line shows an example of pressures simulated in an advanced disease case.

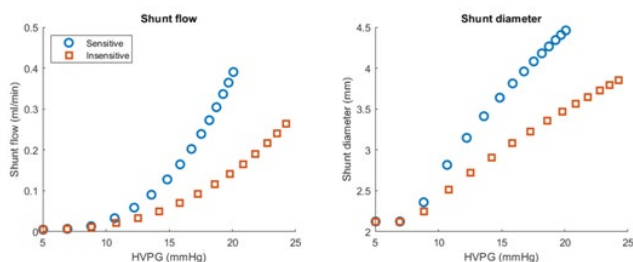


Figure 3 – With increasing HVPG, shunt flow and diameter are higher in ‘HVPG-sensitive’ vs ‘insensitive’ cases.

These differences in hemodynamics are further explored in Figure 3. Patients who were ‘HVPG-sensitive’ remodelers had higher shunt flow and diameter as HVPG rose, with ‘sensitive’ patients achieving more than 20% higher shunt diameter at HVPG of 15 and flow starting in earlier disease, in contrast to the ‘insensitive’ patient group who had smaller shunt diameter and required a much higher HVPG to begin flow through shunts.

**Extent of Remodeling Predicts Clinical Course**

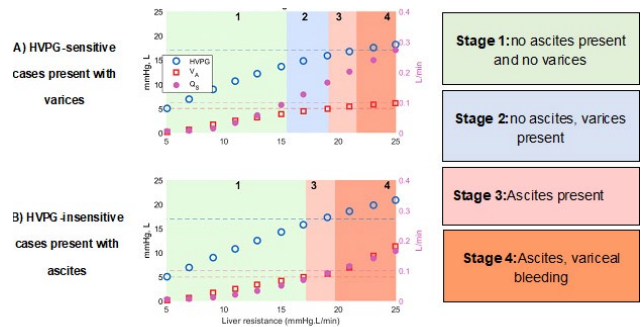


Figure 4 – Two representative cases. As liver disease progresses, HVPG increases non-linearly. After venous remodeling at each stage, ‘HVPG-sensitive’ (A) cases demonstrate early varices and bleeding compared to ‘insensitive’ (B) remodelers who present with ascites. At the end of simulation, both groups of patients achieved stage 4 through different trajectories.

HVPG= Hepatic venous pressure gradient (mmHg);  $Q_s$  = flow through shunts (L/min);  $V_A$  = Volume of ascites (L)

Figure 4 shows two representative simulations that demonstrate the differences in clinical presentation between ‘HVPG-sensitive’ remodelers (4A) and ‘insensitive’ remodelers (4B). Specifically, ‘sensitive’ remodelers displayed in 4A demonstrate a decompensation profile dominated by higher shunt flow ( $Q_s$ , solid purple dots) and a lower rise in HVPG (Blue circles) compared to ‘insensitive’ patients seen in 4B. Accordingly, these patients experience earlier varices and develop ascites (Red squares) later in disease progression. In contrast, the ‘HVPG-insensitive’ remodelers displayed in figure 4B experience ascites as a presenting symptom, with variceal bleeding occurring later in disease. For instance, at the same HVPG of 15mmHg ‘HVPG-sensitive’ patients would have >100ml/min of shunt flow, no significant ascites as compared to HVPG-insensitive patients who would have minimal shunt flow and clinically significant ascites. This is consistent with clinical observation in which HVPG alone is not sufficient to predict portal hypertensive complication type. Regardless of route, both ‘sensitive’ and ‘insensitive’ remodelers end at stage four disease with symptomatic ascites and variceal bleeding, however ‘sensitive’ remodelers have a predicted ascites volume of around 5-7L in this stage while ‘insensitive’ patients could potentially generate greater than 10L. Of course, these are two representative simulations, the true ‘HVPG-sensitivity’ factor  $C_r$  can be adjusted across a range of values and is likely somewhere around these two simulations for actual patients.

**Demonstrational application**

To allow experimentation with the model outside the two presented cases to general audience, we have developed a demonstrational web application employing on the [Body-light.js](https://bodylight.physiome.cz/) framework (<https://bodylight.physiome.cz/>). Making advantage of the model Modelica implementation, the model



has been translated into JavaScript (using the Bodylight Virtual Machine from <https://github.com/creative-connections/Bodylight-VirtualMachine>) and further processed in the [Bodylight.js](#) Editor, running within the virtual machine. We encourage the reader to try out different values of 'sensitivity' to remodeling and splanchnic inflow using the simulator at <https://filip-jezek.github.io/Ascites/>. (Figure 5)

### Ascites simulator

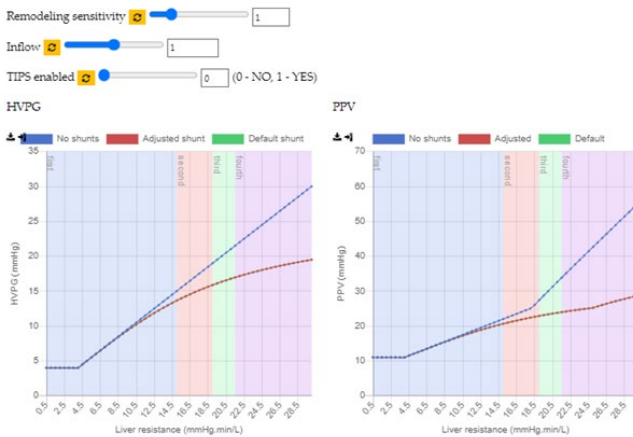


Figure 5 – Online web-based simulator. The reader is encouraged to manipulate the remodeling sensitivity and portal vein inflow at <https://filip-jezek.github.io/Ascites/>. Additionally, effects of transjugular intrahepatic portosystemic shunt (TIPS) can be simulated together.

### Discussion

Our capacity to optimize and personalize the medical management of patients with cirrhosis requires an understanding of the pathophysiology that explains their heterogeneous phenotypes and clinical courses. While clinical guidelines for predicting and managing portal hypertensive events focus on the HVPG, this single parameter is insufficient to explain why different patients present differently. Our simulation elucidates the complex interactions between hepatic hemodynamics, ascites formation, and variceal status during the progression of cirrhosis, and demonstrates the viability and consequences of this hypothesis.

While computational modeling of cardiovascular dynamics has found numerous applications<sup>29,30</sup>, previous application to liver disease have been limited. Golsse et al predicted post-hepatectomy portal hypertension in non-decompensated patients using a 'digital twin', or a personalized computational model of the patient<sup>21</sup>. This application required intensive collection of CT and intraoperative hemodynamic data to inform parameters. Another study developed a model to simulate blood flow through the portal system and lobes of the liver<sup>22</sup>, treating varices as static shunts. Other studies have modeled the formation of ascites at the level of the sinusoids<sup>31</sup> or portal system<sup>19</sup> but these studies primarily focused on the relationship between sinusoidal pressure and ascites generation. In this study, we demonstrate the critical role of portosystemic remodeling in the face of HVPG and link the aforementioned work together into a mathematically consistent, unified model. We show how our shunt dynamics could explain the heterogeneity of the disease course.

### Implications of Shunt diameter and HVPG

We demonstrate that by altering portosystemic shunts so that their size grows with rising HVPG, we attenuate the rise in HVPG

in exchange for higher shunt (variceal) flow. Even a small variation in venous 'remodeling sensitivity' manifested as larger portosystemic shunt luminal diameter and significantly blunted HVPG rise. This is mainly due to the fourth power exponential relationship in the Hagen-Poiseuille law (Equation 1). In contrast to bleeding varices at later stages of liver disease, early portosystemic shunts may thus in fact serve as a useful adaptation to the rising resistance to flow through the diseased liver. This would help maintain venous drainage of the mesentery which must be perfused to avoid ischemia. This is seen in our simulation of HVPG-'sensitive' patients in that they remain compensated farther into liver disease progression, staving off significant ascites formation longer than their less remodeled counterparts.

Despite its importance in explaining clinical presentation, the exact mechanism of portal venous remodeling in response to HVPG is not known. Some animal studies suspect remodeling to be related to growth factor release<sup>32,33</sup>. Given the ongoing research in this area, we simplified the relationship between HVPG and shunt expansion to a sensitivity factor  $C_r$ , which could allow simulation of various levels of HVPG-'sensitivity'.

### Variations in HVPG-related remodeling explain disease progression

While the 'stages' of cirrhosis have been well documented by several longitudinal studies over the last forty years, the transition between stages has been less clear<sup>7-9,16,34</sup>. For instance, among patients with cirrhosis and varices, D'Amico finds an 8% annual rate of first decompensation with bleeding versus a 20% annual rate of other events (most commonly ascites) but it is not known why certain patients would present with one type of event or another<sup>35</sup>. Similar findings of ascites as a first decompensating event have been described in other large cohorts as well, but in some patients this is preceded by bleeding<sup>9,34,36</sup>. Our results provide insight into this pattern, showing that the relative severity of ascites as a presenting symptom suggests low HVPG remodeling 'sensitivity' while patients with larger shunts have natural relief from this complication at the potential cost of variceal bleeding and portosystemic encephalopathy.

This is most apparent in Figure 4B of our results, which demonstrates an absence of Baveno Stage two (varices without ascites). Namely, these patients transition from Stage one (no varices, no ascites) to Stage three (ascites) directly. In clinical practice, patients with portal hypertension manifested as ascites but with endoscopy negative for varices are common and may fall into this category. Importantly, our findings do not claim that patients with varices do not have ascites—as noted in figure 4 both trajectories of liver disease end with the combination of varices and ascites (Baveno stage four).

### Limitations

Our study has several strengths and limitations. We do not use actual patient data in our study, however our goal was not to directly model a specific patient's data but to ensure that the assumptions and physiology accrued from decades of portal hypertension research were self consistent when integrated in a single model. Furthermore, creation of a 'digital twin' requires invasive measurement of physiologic parameters and acquiring this level of data on the timescale needed to observe the natural history of cirrhosis is impractical<sup>20,21</sup>. Despite this, utilizing previously published physiologic norms for healthy, cirrhotic, and decompensated cases we were able to explain the complex presentations of portal hypertension making our findings are more generalizable.

We do not model complications outside of the portal system, including hepatic encephalopathy, renal failure, hepatopulmo-



nary syndrome, hyperdynamic circulation, etc. This first iteration of a model for portal hypertension was intended to enhance the 'stages' of cirrhosis as described in Baveno which also does not include these complications<sup>1</sup>. Furthermore, if we had attempted to draw parallels between quantity of portosystemic shunting and predict hepatic encephalopathy, we would not be able to account for the significant contributors of liver dysfunction and intestinal microbiome. We plan to connect our current model with an established model of the human circulatory system as a next step in order to examine the cardiorenal axis in the setting of progressive liver disease.

We assume that shunt remodeling and HVPG are linearly related. Some studies claim that shunt growth corresponds to shear stress and the wall thickness builds up with the transmural pressure<sup>41</sup>. We briefly explored this however the simulation does not support that shear stress alone would increase growth of shunts, rather caused them to close (results not shown). We also investigated remodeling strategy based on transmural pressure without a difference in clinical outcomes (results not shown).

In the current study we modeled the effect of all shunts 'lumped' into a single resistive component. In future work, a distinction between extra-abdominal (e.g. esophageal shunts) vs intraabdominal shunts will be made to determine if this influences outcomes. The Hagen-Poiseuille equation for calculating resistance has some limitations when applied to the actual vessels in that the real resistance at given diameter might be significantly higher, as we omit possible turbulent effects. For simplicity, we implemented the generalized assumption that the vessel resistance decreases with larger diameter and due to lack of measurement data on pressure-resistance in branched shunts using the Hagen-Poiseuille law. Lastly, we make no assumptions of the rate of liver fibrosis, just that the time scale is much longer than venous remodeling. It is well known that the rate of scarring is anything but constant and can accelerate or stabilize depending on control of the underlying disease. This model is actually able to simulate a time-varying liver resistance, however actual data delineating the relative rates of liver resistance in various clinical scenarios does not exist and so we chose discrete fibrosis states to increase generalizability.

In future work, we hope to couple this model with existing whole body models to further simulate the changes of end stage liver disease<sup>29,30</sup>. Namely, we hope to show that the classic findings of hyperdynamic circulation and renal hypoperfusion due to effective arterial hypovolemia is a natural result of the findings within this paper<sup>42</sup>. Furthermore, future studies may employ more sophisticated personalized computational modeling, simulation of treatments (beta blockers, diuretics, paracentesis etc), TIPS, and transplant related hemodynamic changes, and to better understand the nuances of portal hypertension physiology.

## Conclusion

This study reveals novel insights into the progression of liver disease by incorporating four decades of experimental measurements on portal flow, venous remodeling, and variceal bleeding into an interactive, unified physiological model. We demonstrate that while HVPG remains a crucial marker of portal hypertension, the full range of clinical presentations is determined only if sensitivity to venous remodeling is taken into account. Our hypothesized responsively remodeling shunt mechanism results in a plateau in HVPG around 23, consistent with HVPG measurements found in studies of advanced liver disease. This emergent result was not pre-tuned into our model, instead naturally arising from our baseline parameters, suggesting mathematical consistency of our literature-based model and actu-

al disease<sup>3,4,40</sup>. Altering this single parameter allows a consistent and flexible explanation for these phenotypes and in this way has an advantage over the 'stage of cirrhosis' models. We connect several domains of knowledge in portal hypertension to construct a working model of decompensation that augments the existing 'stage' based approaches. An interactive version of the model is available for experimentation at <https://filip-jezek.github.io/Ascites/>.

## Acknowledgements

The web simulator accompanying the model is developed using an open-source Bodylight.js framework, with kind technical support of the Creative Connections s.r.o.

## Appendix

For calculating ascites volume and pressure we use the model from Levitt and Levitt<sup>19</sup>, as detailed below. All variables and parameters employed in the model are listed in Table 2.

The volume of ascites fluid in the abdominal cavity denoted  $A_v$  is determined by the governing equation

$$A_v = V_{\min} + \max(0, D(P_a - P_{\min})) \quad (A1)$$

where  $V_{\min}$  is minimal residual volume,  $P_{\min}$  minimal abdominal pressure and  $D$  reflects linear abdominal compliance. The abdominal pressure  $P_a$  is calculated so that all lymph flows  $J_i$  (intestinal leak),  $J_l$  (liver leak) and  $J_y$  (leak from abdominal cavity) are in steady state balance. The leaks are defined as follows

$$J_i = L_i(P_c - P_a - A_p + A_a) \quad (A2)$$

where  $L_i$  is the intestinal leak constant,  $P_c$  is the intestinal capillary pressure (calculated from the resistances and flows),  $P_a$  is the abdominal ascites pressure and  $A_p$  and  $A_a$  are oncotic plasma and ascitic pressures. Between those two a relation holds:

$$A_a J_y = m A_p J_l \quad (A3)$$

where the  $m$  notes protein balance fraction constant. The liver leak is calculated as

$$J_l = L_l(P_l - P_a - P_{break}) \quad (A4)$$

where  $L_l$  is a liver leak constant,  $P_{break}$  notes a breaking pressure of liver sinuses, which cause greater leak and  $P_l$  is the liver pressure, taken as average pressure between portal vein and hepatic vein:

$$P_l = \frac{P_p + P_{hv}}{2} \quad (A5)$$

The abdominal lymphatic leak  $J_y$  balances the lymph inflow so that  $J_y = J_l + J_i$  and is given as:

$$J_y = \max(0, L_y(P_{\min} + P_a - P_{ra})) \quad (A6)$$

where  $L_y$  is the leak constant and  $P_{ra}$  right atrial pressure parameter.

Parameters	Unit	Value	Description
$P_{ra}$	mmHg	5	Right atrial pressure
$A_p$	mmHg	25	Blood colloid osmotic pressure
$P_{a,min}$	mmHg	2	Minimal ascites pressure. Must be less than $P_{ra}$
$P_{break}$	mmHg	8	Breaking pressure of liver sinuses
$L_v$	ml/(mmHg.min)	0.131	Ascites outflow conductance
$L_l$	ml/(mmHg.min)	0.172	Liver to ascites conductance
$L_t$	ml/(mmHg.min)	0.104	Intestine to ascites conductance
$D$	L/mmHg	0.8	Abdominal compliance (ascites pressure-volume characteristics)
$V_{min}$	L	0.1	Residual abdominal fluid volume
$m$	unitless	0.8	Protein balance fraction
Variables			
$P_l$	mmHg	9.5 <sup>1</sup>	Liver sinus pressure
$A_a$	mmHg	11.5 <sup>1</sup>	Ascites oncotic pressure
$P_a$	mmHg	1.5 <sup>1</sup>	Ascites pressure
$P_{hv}$	mmHg	7 <sup>1</sup>	Hepatic vein pressure <sup>2</sup>
$P_c$	mmHg	15 <sup>1</sup>	Intestinal capillary pressure <sup>2</sup>
$P_p$	mmHg	12 <sup>1</sup>	Portal vein pressure <sup>2</sup>
$A_v$	L	0.1 <sup>1</sup>	Ascites volume
$J_l$	ml/min	0 <sup>1</sup>	Lymphatic flux from liver to ascites
$J_i$	ml/min	0 <sup>1</sup>	Lymphatic flux from intestines to ascites
$J_y$	ml/min	0 <sup>1</sup>	Lymphatic outflow

Table 2 – Model variables and parameters.

<sup>1</sup>normal healthy value (at normal HVPG = 5 mmHg), <sup>2</sup>variable calculated from the resistances and flows (schematics on figure 1)

## References

- [1.] de Franchis, R. et al. Baveno VII - Renewing consensus in portal hypertension. (2022) doi:10.1016/j.jhep.2021.12.022.
- [2.] D'Amico, G. et al. Hepatic Vein Pressure Gradient Reduction and Prevention of Variceal Bleeding in Cirrhosis: A Systematic Review. *Gastroenterology*131, 1611–1624 (2006).
- [3.] Ripoll, C. et al. Influence of hepatic venous pressure gradient on the prediction of survival of patients with cirrhosis in the MELD Era. *Hepatology*42, 793–801 (2005).
- [4.] Ripoll, C. et al. Hepatic Venous Pressure Gradient Predicts Clinical Decompensation in Patients With Compensated Cirrhosis. *Gastroenterology*133, 481–488 (2007).
- [5.] D'Amico, G., Garcia-Tsao, G. & Pagliaro, L. Natural history and prognostic indicators of survival in cirrhosis: A systematic review of 118 studies. *J. Hepatol.*44, 217–231 (2006).
- [6.] D'Amico, G. et al. Session 2: Predictive Models in Portal Hypertension. *Portal Hypertens. IV Proc. 4th Baveno Int. Consens. Work.* 47–102 (2007) doi:10.1002/9780470988831.CH4.
- [7.] D'Amico, G., Morabito, A. & Pagliaro, L. Survival and Prognostic Indicators in Compensated and Decompensated Cirrhosis. *Dig. Dis. Sci.*31, 468–475 (1986).
- [8.] D'Amico, G. et al. Clinical states of cirrhosis and competing risks. *Journal of Hepatology* vol. 68 563–576 (2018).
- [9.] Ginés, P. et al. Compensated cirrhosis: Natural history and prognostic factors. *Hepatology*7, 122–128 (1987).
- [10.] Nardelli, S. et al. Relevance of spontaneous portosystemic shunts detected with CT in patients with cirrhosis. *Radiology*299, 133–140 (2021).
- [11.] Ma, J. et al. Impact of Intrahepatic Venovenous Shunt on Hepatic Venous Pressure Gradient Measurement. (2020) doi:10.1016/j.jvir.2020.08.027.
- [12.] Boike, J. R. et al. Outcomes After TIPS for Ascites and Variceal Bleeding in a Contemporary Era-An ALTA Group Study. *Am. J. Gastroenterol.*116, 2079–2088 (2021).
- [13.] De Gaetano, A. M. et al. Cavernous transformation of the portal vein: patterns of intrahepatic and splanchnic collateral circulation detected with Doppler sonography. *AJR. Am. J. Roentgenol.*165, 1151–1155 (1995).
- [14.] Ohnishi, K. et al. Formation of Hilar Collaterals or Cavernous Transformation After Portal Vein Obstruction by Hepatocellular Carcinoma: Observations in Ten Patients. *Gastroenterology*87, 1150–1153 (1984).
- [15.] Merli, M. et al. Incidence and natural history of small esophageal varices in cirrhotic patients. *J. Hepatol.*38, 266–272 (2003).
- [16.] D'Amico, G. et al. Competing risks and prognostic stages of cirrhosis: a 25-year inception cohort study of 494 patients. *Aliment. Pharmacol. Ther.*39, 1180–1193 (2014).
- [17.] McAvoy, N. C. et al. Differential visceral blood flow in the hyperdynamic circulation of patients with liver cirrhosis. *Aliment. Pharmacol. Ther.*43, 947–954 (2016).
- [18.] Iwao, T. et al. Portal Hypertensive Gastropathy in Patients With Cirrhosis. *Gastroenterology*102, 2060–2065 (1992).
- [19.] Levitt, D. G. & Levitt, M. D. Quantitative modeling of the physiology of ascites in portal hypertension. *BMC Gastroenterol.*12, 26 (2012).
- [20.] Golse, N. et al. Partial orthotopic liver transplantation in combination with two-stage hepatectomy: A proof-of-concept explained by mathematical modeling. *Clin. Biomech.*73, 195–200 (2020).
- [21.] Golse, N. et al. Predicting the risk of post-hepatectomy portal hypertension using a digital twin: A clinical proof of concept. *J. Hepatol.*74, 661–669 (2021).

- [22.] Wang, T., Liang, F., Zhou, Z. & Shi, L. A computational model of the hepatic circulation applied to analyze the sensitivity of hepatic venous pressure gradient (HVPG) in liver cirrhosis. *J. Biomech.*65, 23–31 (2017).
- [23.] Zhaleev, T. R., Kubyshkin, V. A., Mukhin, S. I., Rubina, A. F. & Khru-lenko, A. B. Mathematical Modeling of the Blood Flow in Hepatic Vessels. *Comput. Math. Model.* 2019 30430, 364–377 (2019).
- [24.] Zhou, H. Y. et al. Patterns of portosystemic collaterals and diame-ters of portal venous system in cirrhotic patients with hepatitis B on magnetic resonance imaging: Association with Child-Pugh classifica-tions. *Clin. Res. Hepatol. Gastroenterol.*39, 351–358 (2015).
- [25.] M, A. M. et al. Hepatic Venous Pressure Gradient Measurement in Bangladeshi Cirrhotic Patients: A Correlation with Child's Status, Variceal Size, and Bleeding. *Euroasian J. hepato-gastroenterology*7, 142–145 (2017).
- [26.] Boike, J. R. et al. North American Practice-Based Recommendati-ons for Transjugular Intrahepatic Portosystemic Shunts in Portal Hypertension. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* (2021) doi:10.1016/j.CGH.2021.07.018.
- [27.] Salerno, F., Cammà, C., Enea, M., Rössle, M. & Wong, F. Transjugular Intrahepatic Portosystemic Shunt for Refractory Ascites: A Meta-analysis of Individual Patient Data. *Gastroenterology*133, 825–834 (2007).
- [28.] García-Pagán, J. C. et al. Early Use of TIPS in Patients with Cirrhosis and Variceal Bleeding. *N. Engl. J. Med.*362, 2370–2379 (2010).
- [29.] Ježek, F., Kulhánek, T., Kalecký, K. & Kofránek, J. Lumped models of the cardiovascular system of various complexity. *Biocybern. Biomed. Eng.*37, 666–678 (2017).
- [30.] Jezek, F., Randall, E. B., Carlson, B. E. & Beard, D. A. Systems analysis of the mechanisms governing the cardiovascular response to chan-ges in posture and in peripheral demand during exercise. *J. Mol. Cell. Cardiol.*163, 33–55 (2022).
- [31.] Meedejprasert, N. & Leungchavaphongse, K. Mathemati-cal Modeling of Ascites Formation in Liver Diseases. (2018) doi:10.1145/3239264.3239267.
- [32.] Serrano, C. A. et al. Portal Angiogenesis in Chronic Liver Disease Patients Correlates with Portal Pressure and Collateral Formation. *Dig. Dis.*37, 498–508 (2019).
- [33.] Fernandez, M. Molecular pathophysiology of portal hypertension. *Hepatology*61, 1406–1415 (2015).
- [34.] Davies, P., Walters, J. R. F. & Paton, A. A 20-year prospective study of cirrhosis. *Br Med J (Clin Res Ed)*282, 263–266 (1981).
- [35.] D'Amico, G. et al. Competing risks and prognostic stages of cirrhosis: a 25-year inception cohort study of 494 patients. *Aliment. Pharma-col. Ther.*39, 1180–1193 (2014).
- [36.] Jindal, A., Bhardwaj, A., Kumar, G. & Sarin, S. K. Clinical Decom-pensation and Outcomes in Patients with Compensated Cirrhosis and a Hepatic Venous Pressure Gradient  $\geq 20$  mm Hg. *Am. J. Gastro-entrol.*115, 1624–1633 (2020).
- [37.] Lutt, W. W. Regulatory processes interacting to maintain hepatic blood flow constancy: Vascular compliance, hepatic arterial buffer response, hepatorenal reflex, liver regeneration, escape from vaso-constriction. *Hepatol. Res.*37, 891 (2007).
- [38.] Aoki, T. et al. Intraoperative direct measurement of hepatic arterial buffer response in patients with or without cirrhosis. *Liver Transplant.*11, 684–691 (2005).
- [39.] Chen, B. et al. TIPS Is Not Associated with a Higher Risk of Developing HCC in Cirrhotic Patients: A Systematic Review and Meta-analysis. *J. Clin. Transl. Hepatol.*7, 232 (2019).
- [40.] Feu, F. et al. Relation between portal pressure response to pharma-cotherapy and risk of recurrent variceal haemorrhage in patients with cirrhosis. *Lancet*346, 1056–1059 (1995).
- [41.] Pries, A. R., Reglin, B. & Secomb, T. W. Remodeling of Blood Vessels. *Hypertension*46, 725–731 (2005).
- [42.] Oliver, J. A. & Verna, E. C. Afferent mechanisms of sodium retention in cirrhosis and hepatorenal syndrome. *Kidney Int.*77, 669–680 (2010).

## Contact

### Ing. Filip Ježek, PhD.

Department of Molecular and Integrative Physiology  
University of Michigan  
Ann Arbor  
Michigan  
United States of America

Institute of Pathological Physiology  
First Faculty of Medicine  
Charles University  
U nemocnice 5  
128 53 Praha 2  
[filip.jezek@lf1.cuni.cz](mailto:filip.jezek@lf1.cuni.cz)

### Elliot B. Tapper MD

Division of Gastroenterology and Hepatology, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA  
Gastroenterology Section, VA Ann Arbor Healthcare System, Ann Arbor, Michigan, USA

### Daniel A. Beard PhD

Department of Molecular and Integrative Physiology, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, United States of America

### Nikhilesh R Mazumder MD, MPH

Division of Gastroenterology and Hepatology, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA  
Gastroenterology Section, VA Ann Arbor Healthcare System, Ann Arbor, Michigan, USA

## UNIVERZÁLNÍ A PŘESTO JEDNODUCHÝ – ORGPAD POHLEDEM UŽIVATELE A TVŮRČŮ

Vít Kalisz, Jiří Kofránek

### Abstrakt

OrgPad je nový webový nástroj pro tvorbu, prohlížení a sdílení kontextových map. Článek popisuje OrgPad z pohledu nového uživatele a pohledem jeho tvůrčů.

### Klíčová slova

výuka, software, kontext, myšlení, myšlenkové mapy, OrgPad, internet, SaaS

### 1 Jak jsem přišel k OrgPadu – pohled uživatele (Jiří Kofránek)

Na OrgPad jsem přišel náhodou při hledání na Internetu[1]. Zpočátku jsem si myslel, že to je jen další z mnoha kreslicích nástrojů, které podporují vytváření myšlenkových map.

Myšlenkové mapy (mind maps) jsou kontextové diagramy, obvykle ve formě stromového grafu, v jehož uzlech jsou krátké popisné texty (obvykle jen klíčová slova), symboly či obrázky, které pomocí propojení názorně graficky označují vzájemné vztahy a souvislosti mezi jednotlivými informacemi. Myšlenkové mapy jsou založeny na hierarchické stromové struktuře. Obecnější, pojmové grafy mohou být volnější, založené na propojení mezi pojmy v různorodých vzorech. Pojmové grafy také mohou mít textové popisky na spojnicích mezi uzly.

Myšlenkové a pojmové grafy jsou užitečnou pomůckou, protože díky grafickému vyjádření asociací jsou kontextové informace setříděny, a přitom jasně zachycují podrobnosti jako celek. Tím umožní při jejich prohlížení vnímat danou problematiku komplexně, čímž se předchází mentálnímu nepořádku. Mozek totiž lépe vnímá souvislosti, které si může vzájemně spojovat. Grafické vyjádření, zapojující vizuální paměť vytváření těchto asociací podporuje. Myšlenkové mapy proto podporují zapamatování složitých souvislostí, a proto jsou užitečnou pomůckou při učení.

Na druhé straně, vytváření grafických kontextových diagramů pomáhá analýze problému. Je to svého druhu akcelerátor myšlení, protože nenutíme mozek pracovat paralelně na různých aspektech zvoleného tématu, ale postupně můžeme využít soustředěnou kapacitu myšlení na jeden aspekt za druhým. Postupně vytvářený a neustále překreslovaný asociční kontextový graf pomáhá s hledáním přesné podoby informačního celku v jeho šíři i hloubce.

Termín “myšlenková mapa” (někdy se také hovoří o mentální mapě) zpopularizoval britský autor Tony Buzan, který tomuto tématu věnoval široce sledovaný televizní seriál BBC z roku 1974, s názvem “Use Your Head” (použijte svou hlavu). Následně o tom napsal celou řadu knih ([2–6]), z nichž mnohé byly přeloženy do řady jazyků včetně češtiny ([7,8]). Buzanovy myšlenkové mapy jsou založeny na radiální hierarchii (stromové struktuře) označující větvené vztahy s centrálním pojmem. Tony Buzan bývá někdy označován za vynálezce “myšlenkových map”, ale ve skutečnosti sahá použití větvených stromových diagramů pro vizuální “mapování” informací o celá staletí zpět [9]. Obrázkové metody graficky zaznamenávající znalosti a modelující pojmové systémy mají dlouhou historii. Některé z prvních příkladů takových grafických záznamů byly vytvořeny Porfyrymem z Tyrosu, významným myslitelem 3. století, který graficky vizualizoval pojmové kategorie Aristotela. Obdobné techniky používal i filozof Ramon Llull (1235-1315) [9].

Abychom grafy nemuseli kreslit (a neustále při změnách překreslovat) na papíře, máme dnes pro jejich vytváření, editaci a sdílení k dispozici celou řadu programů, placených nebo volných, např. Bubbl., us[10], EdrawMind (dříve nazývaný MindMaster) [11], GitMind[12], FreeMind[13], Freeplane[14], MindMap Architect[15], VisualUnderstanding Environment [16] a další. Pro kreslení nejrůznějších diagramů (nejen myšlenkových a pojmových map) je široce používán program Lucidchart[17].

Když jsem poprvé uviděl OrgPad, nijak mě, vzhledem k mrakům nejrůznějších již existujících programů pro kreslení myšlenkových a pojmových map, nenadchl. Když jsem program v jeho webové podobě otevřel a zkusil vytvořit novou OrgStránku – tak se říká dokumentu v aplikaci OrgPad, na prázdné stránce se objevil nápis “dvojklikem vytvořte buňku”... žádná nápověda, žádná dokumentace... Vzmoužil jsem se a začal si s tím programem hrát. Záhy jsem zjistil, že se snadno dají tvořit buňky a spoje, že se dá plocha OrgStránky kolečkem myši přibližovat a oddalovat. To bylo vizuálně hezké, ale celkem jsem v tom pořádku neviděl žádný velký přínos. Než jsem ale ten nově objevený program definitivně zavřel a odložil k ledu, podíval jsem se ještě na seznam veřejných OrgStránek s příklady použití OrgPadu v základní škole. Barbora Jeřábková [18,19] s ním dělala základy – jednoduchost programu umožňuje aktivní zapojení i dětem ve věku, kdy se ještě stále učí číst a psát. Byla to skutečná škola hrou, Jan Amos by se radoval. To mě jednoduše dostalo.

Proto jsem začal zkoumat, co vlastně ten nástroj umí. Metodou pokusů nebo prohlížením veřejně dostupných stránek vytvořených v OrgPadu [20] jsem brzy zjistil, že lze do stránek vkládat kdeco, že je možné sdílet vložený materiál s dalšími členy týmu, a hlavně, že se do buňky dá vkládat celá OrgStránka, takže je možné kontextovou mapu rozšiřovat i do hloubky. Přesvědčil jsem se, že je manipulace s programem jednoduchá, že se dají buňky otvírat a zavírat, a že přitom celá složitá síť propojených buněk vždy poslušně udělá místo pro právě otevíranou buňku.

OrgPad je tedy ucelený editační nástroj pro tvorbu nekonečných kontextových diagramů rozvíjejících se do šířky, délky i hloubky, o kterém kdysi snil docent Hedrlín, světově uznávaný matematik a zakladatel pražské školy diskrétní matematiky. V době, kdy se jí začal Zdeněk Hedrlín zabývat, byla diskrétní matematika ještě v plenkách, docent Hedrlín v ní však spatřoval budoucnost. Její skutečný rozmach přišel o dvě desetiletí později, kdy se začala rozvíjet výpočetní technika. Docent Hedrlín byl jedním z prvních českých matematiků, který se zabýval výzkumem teorie kategorií, v pozdější části své kariéry se zaměřil na aplikace vztahových struktur a vedl velice úspěšné speciální mezioborové semináře, kde se snažil pojímat věci v širších souvislostech. Studoval např. chování buněčných struktur; se svými studenty dostal evropský grant zaměřený na počítačový buněčný model rakoviny. Měl jsem to štěstí, že jsem mohl Zdeňka Hedrlína osobně poznat. Koncem sedmdesátých let mi vysvětloval, jaká je matematická podstata fungování počítačových neuronových sítí (v té době to byla spíše experimentální teorie) a já ho seznamoval s tím, jak to, mnohem složitěji, dělají skutečné neurony v mozku. Sledoval jsem, s jakým zaujetím se věnoval svým studentům, když jsem posuzoval jejich práce ve vnitrouniverzitní grantové agentuře. Zdeněk Hedrlín přemýšlel o tom, jak zapisovat strukturální informace obdobně jako to dělá lidský mozek a jak takový zápis co nejlépe reprezentovat v počítači. Teď jsem před sebou najednou měl něco, co jeho myšlenky uskutečňuje.

OrgPad je díky svým vlastnostem skvělý nástroj nejen pro práci s vlastními myšlenkami, ale také pro výuku. Má nekonečnou plochu pro prezentaci složitých propojených struktur, obdobně jako Prezi[21], ale navíc si přes něj mohou se svými studenty vyměňovat data. Pro ně je pak OrgPad vynikajícím prostředkem pro ukládání a další uspořádávání poznámek z přednášek.



Do OrgPadu si mohou strukturovaně ukládat literaturu a poznámky o přečtených článcích. V OrgPadu je snadné tvořit interaktivní návody a strukturovanou dokumentaci k programům.

Kromě toho je OrgPad, jak ostatně napovídá i jeho název, dobrý nástroj pro organizaci kde čeho – od to-do seznamů, strukturovaného ukládání záznamů a dokumentů, které bych neměl ztratit, až po plánování nejrůznějších aktivit či managementu firmy.

V OrgPadu lze vytvořit interaktivní webovou stránku bez jediné řádky kódu.

Nakonec jsem se přesvědčil, že do OrgPadové buňky se dá vložit webový simulátor vyvinutý v naší technologii "Bodylight[22–24]", a že simulátor v té buňce skutečně funguje. Tehdy jsem si zaplatil profi verzi tohoto nového softwarového produktu a od té doby ho používám neustále.

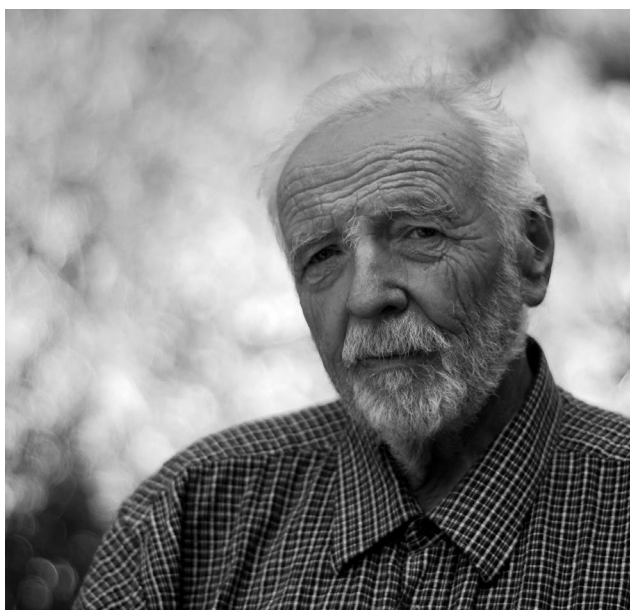
## 2 OrgPad pohledem tvůrce (Vít Kalisz)

### 2.1 Co je OrgPad

OrgPad je webový nástroj na tvorbu interaktivních digitálních nástěnek jak pro jednotlivce, tak pro týmy. Nabízí snadné sdílení materiálů, přičemž data jsou bezpečně uložena v cloudovém úložišti. OrgPad lze použít jako prezentační nástroj, a také v něm jde, bez schopnosti programovat, rychle vytvořit vlastní interaktivní webovou stránku. Mimořádně se hodí k vytváření kontextových myšlenkových map (obr. 1).



Obrázek 1 – Metamorfózy OrgPadu: OrgPad je využitelný pro různé účely.



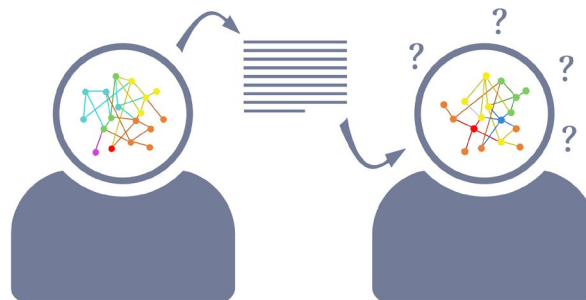
Obrázek 2 – Doc. Zdeněk Hedrlín, na jehož myšlenkách je založen OrgPad.

Za to vdčíme myšlenkám Zdeňka Hedrlína (obr. 2), který na více než šedesát let, až do své smrti v roce 2018 ve věku 85 let, spojil svůj život s Matematicko-fyzikální fakultou. Ten mimo jiné studoval, jak funguje lidský mozek, a přitom jej zaujala Herbartova teorie myšlení.

Zjednodušeně řečeno, v mozku máme informace propojované do jakési pavoučí sítě a ty, které spolu souvisí, jsou blízko. Představme si, že jsou jednotlivé informace bójky vznášející se na mořské hladině. Souvislosti zde připodobňují lana, kterými jsou na sebe sousední bójky napojeny. Když při přemýšlení nad nějakým problémem zatáhnou za některou z bójek a vytáhnou ji na hladinu vědomí, připluje s ní ke mně celý bezprostředně napojený kus sítě. Známe to z každodenní zkušenosti. Když si například chci vzpomenout, jak se někdo jmenuje, pomůže mi vybavit si jak vypadá nebo kde jsem ho potkal.

Při komunikaci s ostatními lidmi se snažíme myšlenky, které máme složitě "sesítované v hlavě", uspořádat za sebe (linearizovat) tak, jak to vyžaduje mluvená řeč nebo text. Náš komunikační partner si pak ve svém mozku z této lineární posloupnosti postupně vytváří svou vlastní asociativní síť (obr. 3). Předpokladem porozumění je dosažení určité podobnosti obou sítí.

Pro vytváření asociativních sítí v mozku je velice dobrým pomocníkem vizuální a prostorová paměť. Zdeněk Hedrlín přemýšlel, jak grafickým vyjádřením podpořit vědomé vytváření plastické sítě propojených pojmů a jak přitom využít grafické možnosti, které nabízí počítač. Díky této práci dokázal postupně zformulovat základní principy, na kterých je OrgPad postaven.



Obrázek 3 – Informace v mozku nejsou uloženy v lineární podobě, ale ve složité asociativní síti. Při jejich předávání textovou formou nebo řečí je linearizujeme. OrgPad je nástroj, který pomocí nonverbálních grafických nástrojů pomáhá zapisovat a při komunikaci zprostředkovat složitý nelineární kontext předávaných informací, čímž usnadňuje jejich porozumění.

### 2.2 Založení OrgPadu

S myšlenkou OrgPadu jsem se poprvé setkal na podzim 2016, krátce po začátku svého studia informatiky na MFF UK v Praze, díky vedoucímu semináře o teorii grafů. Tím byl totiž RNDr. Pavel Klavík, PhD, jemuž doc. Hedrlín dělal během jeho doktorátu neoficiálního školitele a přitom jej svými myšlenkami hluboce ovlivnil. Totéž se prostřednictvím Pavla Klavíka stalo mně. Přemýšlením, jak Hedrlínovy principy uvést do praxe, jsem se zabýval i potom, co Pavel obhájil doktorát a odešel pracovat jako programátor k firmě Google. Když docent Hedrlín na jaře 2018 umíral, Pavel jej ještě stihl navštívit v nemocnici a přitom mu slíbil, že se pokusí myšlenku OrgPadu zrealizovat v podobě spolehlivého, uživatelsky přívětivého nástroje.

Přirozeným prostředím, kde jsem hledal do projektu kolegy, byla komunita bývalých studentů docenta Hedrlína a tak jsem odjel v létě 2018 do Curychu a přesvědčil Pavla, že OrgPad začneme vyvíjet my dva. Práce začaly v prosinci 2018 [25]. Tím se lavina, ve které jedeme dodnes, dala do pohybu. Pavel odešel z Googlu, postupně se přidali Kamila, Adam a Nikol, takže se náš tým nyní skládá z pěti lidí (obr. 4). V práci nám pomáhá komunita lidí, kteří si OrgPad zamilovali a nebojí se o něm dále mluvit.

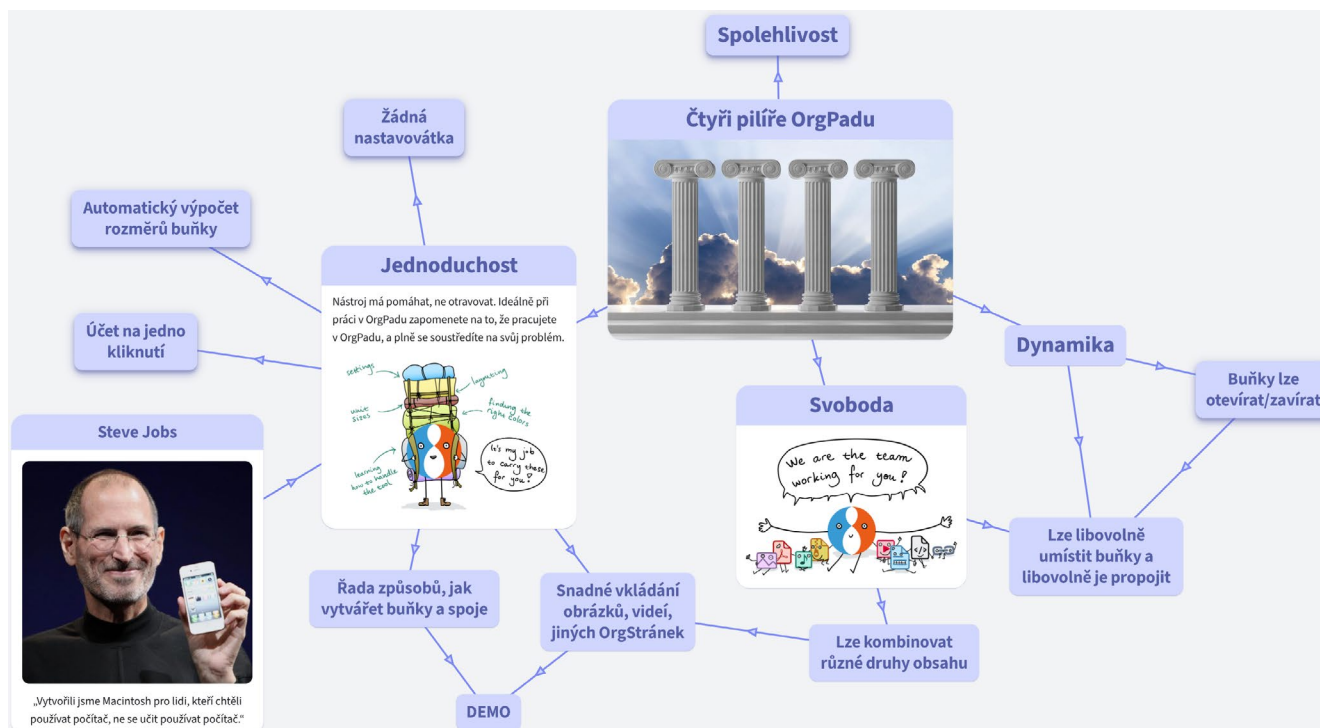


Obrázek 4 – Vývojový tým OrgPadu je dnes v podstatě tvořen dvěma rodinami – manželi Pavlem a Kamilou Klavíkovými (vlevo), bratry Vítem a Adamem Kaliszem (Adam se připojil v létě 2020) a Vítovou přítelkyní Nikol Vypior.

### 2.3 Čtyři pilíře OrgPadu

Nástroj je založen na čtyřech pilířích (obr. 5).

1. Prvním je **svoboda**. Do buněk OrgPadu můžeme ukládat různé druhy obsahu – od textů, obrázků, tabulek, přes vkládání obsahu z internetu (třeba videí z YouTube), až po embedování celých OrgStránek.
2. Druhým pilířem je **dynamika**. OrgPadové buňky lze libovolně rozmisťovat, přemisťovat a propojovat, obsahy buněk lze otevíráním a zavíráním podle potřeby zobrazit nebo zase skrýt. Při otevírání buněk se okolní buňky a spoje posunou tak, aby otevírané buňce udělaly místo, při jejím zavření se zase vrátí zpět. Animace v OrgPadu přitom napodobují reálné pohyby, na které jsme zvyklí z každodenního života; pohyby buněk působí přirozeně a člověka tak při práci neruší. Toho se podařilo dosáhnout napodobením fyziky pružin. Také pro optimální nepřekrývající se rozmístění buněk využíváme fyzikální simulaci, která běží na pozadí. Buňky a spoje na sebe působí odpudivými silami, takže se při otevírání buněk okolní buňky a spoje rozestoupí. OrgStránka proto zůstává přehledná i v situaci, kdy svým rozsahem odpovídá knize. Dynamika OrgPadu tak razantně přispívá ke svobodě uživatele.
3. Třetím pilířem je **jednoduchost**. OrgPad nechce uživatele rozptylovat množstvím rozbalovacích nabídek a zdržovat jej přemýšlením nebo hledáním, kterou nabídku v kterém menu zvolit. V tomto směru je nám inspirací Steve Jobs a jeho geniální přístup k designu. Stejnou měrou klademe důraz na krásu, precizní provedení a uživatelskou přívětivost. Jednoduchost OrgPadu začíná už u samotného vstupu do aplikace. Uživatel může využít možnost pokračovat s Facebookem, Googlem nebo Microsoftem, čímž si zřídí účet doslova na jedno kliknutí. Pokud jste do zvolené služby ve svém webovém prohlížeči přihlášení, ověření Vaší identity proběhne na pozadí bez nutnosti dalších akcí. Login se následně uloží do Vašeho prohlížeče a nemusíte se tak do OrgPadu po každé znovu přihlašovat. Těžiště naší designerské práce však spočívá uvnitř samotných OrgStránek.



Obrázek 5 – Čtyři základní pilíře, na nichž je vystaven OrgPad – svoboda, dynamika, jednoduchost a spolehlivost.



Šířka a výška buněk se nastavuje automaticky. Na pozadí se pro různé šířky buněk dopočítává jejich výška a podle řady pravidel se následně určuje výsledná, esteticky nejpříjemnější varianta. Každé zařízení se při vykreslování chová jinak, proto jsme museli vyvinout tuto obecnou infrastrukturu.

Další takovou infrastrukturou je asistent pro rozmístování buněk a spojů, který při interakcích uživatele mírně upravuje pozice prvků v grafu tak, aby bylo stále vše vidět a nic se nepřekrývalo.

K jednoduchosti patří i to, že nemáme žádná složitá nastavení pro volbu barev. Místo toho nabízíme výběr z jednoduché palety 15 barev, které jsou předvybrány tak, aby spolu všechny navzájem ladily dohromady. Maximálně usnadňujeme vkládání obrázků, videí a jiných OrgStránek do OrgPadových buněk. Kvůli urychlení práce při vytváření rozsáhlých OrgStránek má uživatel k dispozici několik různých způsobů, jak lze vytvářet buňky a spoje – všechny jednoduché a intuitivní.

4. Čtvrtým pilířem OrgPadu je **spolehlivost**. Data jsou pečlivě zálohována, je zajištěna jejich bezpečnost. Data jsou uložena v našem cloudu a jsou tak dostupná odkudkoliv. Uživatel nemusí stahovat a přesouvat soubory. Servery, kde jsou data uložena, jsou hostované v EU (konkrétně u německého poskytovatele Hetzner) a nedochází tedy k přesunům chráněných dat mimo EU. Zálohy dat jsou v různých datacentrech různých firem, všechny šifrované. Nemůže proto dojít k úniku citlivých dat mimo EU, třebaže některé zálohy jsou v USA (konkrétně u DigitalOcean). Vícenásobným zálohováním na zeměpisně vzdálených místech minimalizujeme hrozbu ztráty uživatelských dat.

## 2.4 Programování OrgPadu

OrgPad je celý napsán ve funkcionálních programovacích jazycích Clojure (serverová část) a Clojure Script (klientská část). Kód OrgPadu má v současné době zhruba sto tisíc řádek. Při paděsáti řádcích na stránku by to odpovídalo zhruba polovině stran knižní série Hra o trůny (obr. 6).

Oba tyto jazyky umožňují psát velice kompaktní kód. Pro srovnání: Kdyby byl OrgPad napsán v běžném programovacím jazyce, pak by počet popsaných stránek odpovídal souboru knih velké encyklopedie.



Obrázek 6 – Velikost programového kódu, v němž je napsán OrgPad, je ohromující.

## 2.5 Komunita a financování OrgPadu

Od začátku financujeme rozvoj OrgPadu z vlastních zdrojů. Abychom se mohli držet své vize, nechtěli jsme hledat investora – závislost na vnějším financování by totiž mohla rozvoj OrgPadu do jisté míry svazovat.

Podstatnou součástí rozvoje OrgPadu je proto komunita uživatelů, která nám umožňuje na OrgPadu pracovat. Od ní získáváme zpětnou vazbu, spokojení uživatelé OrgPadu přitahují další nové zákazníky a komunita se rozrůstá. OrgPad jsme nejprve tři roky distribuovali zdarma, teprve na začátku září roku 2021 jsme zpoplatnili. OrgPad se zpočátku šířil hlavně ve školství, které je nyní hlavním zdrojem našich příjmů. OrgPad používají základní, střední i vysoké školy. Našimi klienty jsou například ČVUT nebo Pedagogická fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, kde jej mají zaplacený pro všechny studenty a pedagogické pracovníky. Postupně se nám ale kromě škol povedlo přesvědčit i řadu dalších organizací a firem, aby si OrgPad pořídily (obr. 7).

Komunita uživatelů OrgPadu se rozrůstá také zásluhou “ambasadorů OrgPadu”, kteří školící uživatele v používání tohoto nástroje, poskytují jim konzultace a starají se o postupný růst komunity. V listopadu 2022 jsme též pořádali již druhou konferenci o OrgPadu. Záznam lze nalézt na [našem YouTube kanálu](#).

## 3 Perspektivy OrgPadu z pohledu vnějšího uživatele (Jiří Kofránek)

OrgPad poskytuje řadu aplikačních možností – jeho ovládání je jednoduché, nezatěžuje spoustou nabídek a menu. Na druhou stranu to znamená, že se musí potenciální uživatel nejprve seznámit s tím, jak a k čemu se ten nástroj dá využít. K tomu slouží i úvodní stránka OrgPadu, která je vytvořená, jak jinak, opět v OrgPadu. Rozkliknutím jednotlivých propojených OrgPadových buněk se potenciální uživatel na mnoha konkrétních příkladech a videonávodech rychle dozví o možnostech, které OrgPad nabízí i o tom, jak se ovládá a jak v něm pracovat.

Za největší přínos OrgPadu pokládám to, že je skvělým nástrojem pro kontextový zápis informací. To se ale nejlépe demonstruje na konkrétních příkladech. Proto jsou neefektivnějším způsobem pro rozšíření OrgPadu právě konkrétní zkušenosti uživatelů a jejich šíření různými způsoby – např. přes sociální sítě nebo aktivní formou workshopů, školení a přednášek.

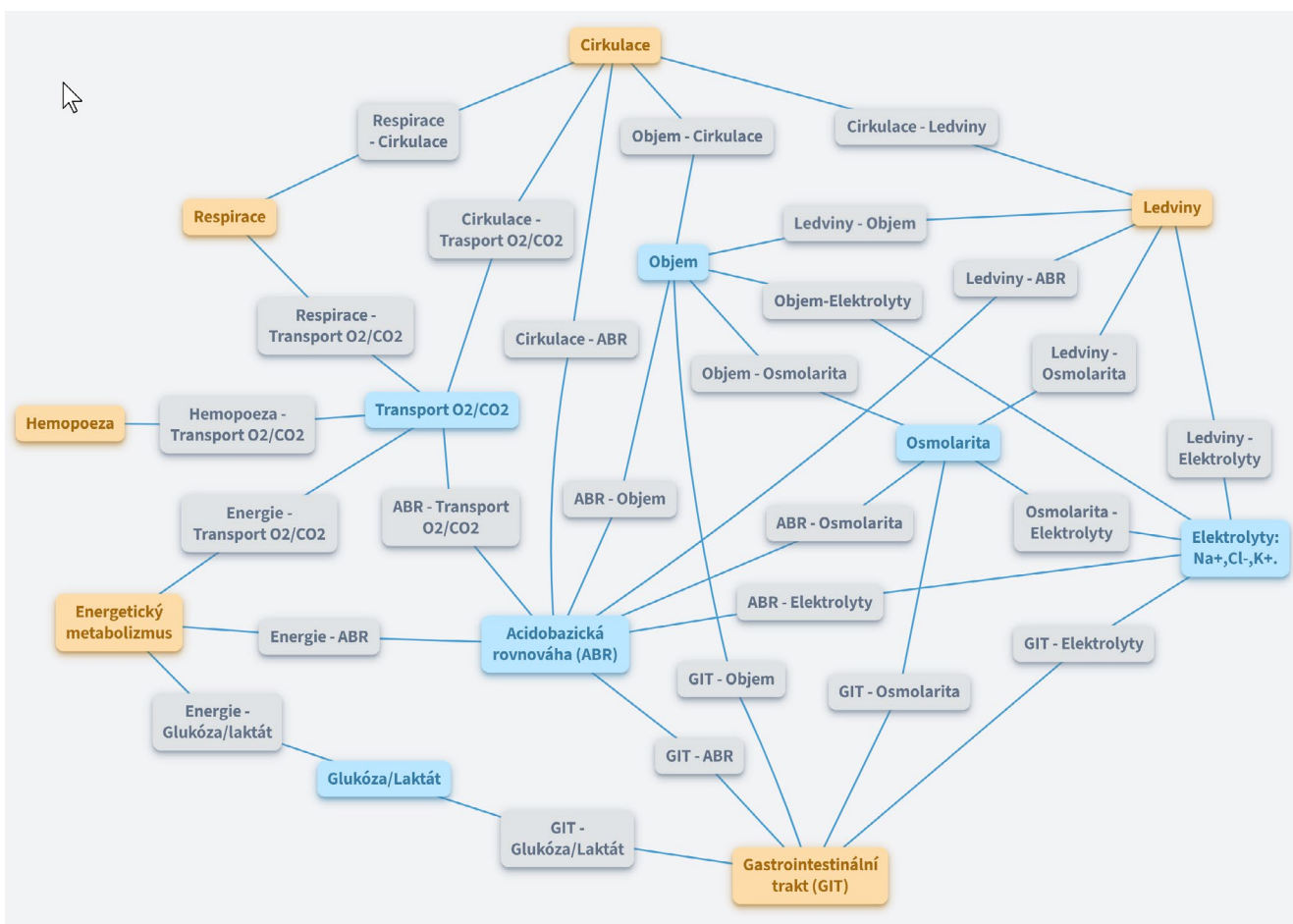
Kontextově propojený výukový obsah má mimo jiné velký význam v medicíně – studentům vykládáme postupně poruchy jednotlivých orgánových systémů a v učebnicích je výklad členěn lineárně do jednotlivých kapitol. Reální pacienti však většinou mají poruchy různých systémů najednou, proto je cílem výuky na lékařských fakultách, aby lékař chápal vzájemné souvislosti.

Studenty při výuce postupně seznamujeme s patofyziologií poruch hemopoézy, cirkulace, respirace, ledvin a zažívacího traktu a vliv těchto systémů na změny objemu, osmolarity, koncentrace krevních plynů, elektrolytů a glukózy v tělesných tekutinách (obr. 8). Výukový materiál (nejen texty a obrázky, ale i interaktivní animace a simulační modely) můžeme vkládat do OrgPadových buněk (ty mohou v sobě obsahovat i celé embedované OrgStránky). Takto začleněný obsah umožňuje lépe pochopit (a při studiu vyhledávat) jednotlivé souvislosti, které přispívají k hlubšímu vhledu do vykládané látky.

Kontextově propojený obsah má velký význam zvláště při opakování před zkouškami. Kdyby OrgPad umožnil předem načíst potřebné OrgStránky do počítače, tabletu či smartphonu, bylo by možné jej využít k přípravě i v situacích, kdy není k dispozici připojení k internetu (např. při delší cestě vlakem, kdy ale právě může být čas podívat se do tabletu či smartphonu na studijní materiál).



Obrázek 7 – Současní významní uživatelé OrgPadu



Obrázek 8 – OrgPad umožňuje vytvářet výukové materiály s kontextově propojeným výkladem. Např. při výkladu patofyziologie poruch vnitřního prostředí tj. poruch objemu, osmolarity, koncentrace elektrolytů, acidobazické rovnováhy, glukózy, transportu kyslíku a CO<sub>2</sub> a poruch respirace, cirkulace, hemopoezy, ledvin, gastrointestinálního traktu, energetického metabolismu můžeme podrobnější výklad vložit do jednotlivých propojených buněk OrgStránky.



Z hlediska perspektiv se jeví zajímavé propojení OrgPadu s webovými simulátory vytvořenými pomocí naší technologie Bodylight [22–24]. Naše technologie umožňuje vytvořit simulátor uložený jako webovou stránku spustitelnou v internetovém prohlížeči na libovolném zařízení (počítači, tabletu nebo smartphonu). Jednou nahraná webová stránka pak již nevyžaduje připojení k internetu. Embedováním interaktivního webového simulátoru do některé z buněk se tak z kontextové mapy v OrgPadu může stát zcela nový druh digitální učebnice.

#### 4 Další rozvoj OrgPadu z hlediska tvůrce (Vít Kalisz)

V budoucnu se budeme snažit zlepšit a rozšířit možnosti využití OrgPadu na mobilech a tabletech, pracujeme na novém editoru a snažíme se také zefektivnit program tak, aby bylo možné OrgPad využívat i na slabších zařízeních.

Velkou výzvou pro budoucí vývoj OrgPadu je umožnění pracovat s OrgStránkou i bez připojení k Internetu. Není to jednoduchý úkol, protože OrgPad je nástroj pro kolaborativní práci. Bude proto třeba řešit sofistikovanou správu verzí a předejít tak problémům v situacích, kdy dva lidé spolupracují, jeden však pracuje offline a jejich verze se začnou lišit.

V budoucnu bychom se s OrgPadem chtěli dostat prakticky do všech škol a rozšířit jej více i do oblastí mimo školství. Chtěli bychom s ním také expandovat do zahraničí – máme sice již zahraniční uživatele, česká komunita je ale zatím s odstupem největší.

#### 5 Závěr – OrgPad z pohledu vnějšího uživatele (Jiří Kofránek)

Za čtyři roky vývoje OrgPadu se podařilo vybudovat poměrně širokou komunitu platících uživatelů, kteří umožňují jeho další rozvoj [25]. OrgPad je příkladem, že i v naší české kotlině může malý tým, financovaný z vlastních zdrojů, vytvořit špičkový produkt a rozšiřující se komunitu uživatelů.

Zkušenosti s vývojem jiných softwarových produktů ukazují, že náklady na vývoj tvoří zpočátku převážnou část nákladů, postupně však náklady na údržbu produktu, marketing, podporu prodeje a služby uživatelům rostou a tvoří nakonec podstatnou část nákladů. Zpočátku, pokud program uspokojuje požadavky potenciálních uživatelů, může hodně pomoci komunita a sociální síť. Ale pro expanzi na další trhy a podporu široké sítě uživatelů bude zapotřebí stále více prostředků.

Je zřejmé, že do budoucna prodeje převážně v České republice a jen ojediněle do zahraničí nemůžou dostatečně financovat dlouhodobý vývoj a podporu takto komplexního produktu. Rozšíření prodeje tohoto českého softwaru do celého světa je proto nezbytnou podmínkou jeho dalšího rozvoje.

Díky tomu, že OrgPad má v porovnání s obdobnými zahraničními produkty celou řadu unikátních vlastností, zde šance na jeho rozšíření do celého globálně propojeného světa podle mého názoru je.

#### Literatura

- [1.] OrgPad. In: OrgPad [Internet]. [cited 24 Dec 2022]. Available: [https://orgpad.com/o/BuQ0AQ2QdHV65srHrB6WPj?token=AURhaGPrNCU-Yckik6yO\\_L](https://orgpad.com/o/BuQ0AQ2QdHV65srHrB6WPj?token=AURhaGPrNCU-Yckik6yO_L)
- [2.] Buzan T. *Mind maps for kids: The shortcut to success at school*. HarperCollins UK; 2003.
- [3.] Buzan T. *Mind Mapping*. Pearson Education; 2006.
- [4.] Buzan T, Buzan B, Harrison J. *The mind map book: Unlock your creativity, boost your memory, change your life*. Pearson BBC Active; 2010.
- [5.] Buzan T, Griffiths C. *Mind Maps for Business 2nd edn: Using the ultimate thinking tool to revolutionise how you work*. Pearson UK; 2013.

- [6.] Buzan T. *Mind Map Mastery: The Complete Guide to Learning and Using the Most Powerful Thinking Tool in the Universe*. Watkins Media Limited; 2018.
- [7.] Buzan B, Buzan T. *Myšlenkové mapy*. Albatros Media a.s.; 2014.
- [8.] Buzan T. *Myšlenkové mapy pro děti*. BizBooks, Albatros Media a.s.; 2017.
- [9.] Lima M. *The book of trees: visualizing branches of knowledge*. Princeton Architectural Press New York; 2014.
- [10.] LKCollab LLC. *Bubbl.us*. [cited 24 Dec 2022]. Available: <https://bubbl.us/>
- [11.] Freeman J. *Free Mind Map Software - EdrawMind*. In: Edrawsoft [Internet]. [cited 24 Dec 2022]. Available: <https://www.edrawsoft.com/freemind.html>
- [12.] *GitMind - Online Mind Mapping Software - On Any Device*. [cited 24 Dec 2022]. Available: <https://gitmind.com/>
- [13.] *FreeMind*. [cited 24 Dec 2022]. Available: [https://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php/Main\\_Page](https://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page)
- [14.] *Freeplane*. [cited 24 Dec 2022]. Available: <https://docs.freeplane.org/>
- [15.] Tůma O. *Mind Map Architect*. [cited 24 Dec 2022]. Available: <https://mmarchitect.zeropage.cz/>
- [16.] *Visual Understanding Environment*. [cited 24 Dec 2022]. Available: <https://vue.tufts.edu/>
- [17.] *Lucidchart*. In: *Lucidchart* [Internet]. [cited 24 Dec 2022]. Available: <https://www.lucidchart.com/pages/>
- [18.] Jeřábková B. *OrgPad ve výuce na ZŠ: praktické příklady představuje Barbora Jeřábková*. Youtube; 1 Apr 2021 [cited 25 Dec 2022]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=BwDRi1O3TQ>
- [19.] Jeřábková B, Barbora Jeřábková. *"Jen" aplikace - přednáška na OrgPad konferenci 2022*. Youtube; 2022. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=pVTft1RJdco>
- [20.] *OrgPad - veřejně dostupné stránky*. In: *OrgPad* [Internet]. [cited 26 Dec 2022]. Available: <https://orgpad.com/public>
- [21.] *Presentations and videos with engaging visuals for hybrid teams*. In: *Prezi.com* [Internet]. [cited 24 Dec 2022]. Available: <https://prezi.com/>
- [22.] Kulhánek T, Mládek A, Brož M, Kofránek J. *Bodylight.js web components - webové komponenty pro webové simulátory*. Medsoft. 2021;33: 48–52.
- [23.] Kofránek J, Kulhánek T. *Standardizace – cesta k open source technologiím pro webové simulátory*. Medsoft. 2021;33: 25–34.
- [24.] Šilar J, Polák D, Mládek A, Ježek F, Kurtz TW, DiCarlo SE, et al. *Development of In-Browser Simulators for Medical Education: Introduction of a Novel Software Toolchain*. *J Med Internet Res*. 2019;21: e14160.
- [25.] Kalisz V, Klavík P. *Tvůrci OrgPadu - Minulost, současnost a budoucnost OrgPadu - přednáška na OrgPad konferenci 2022*. Youtube; 2022. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=HogSlmkN-N4M&list=PL4UUekqKKNKu66nmRL1CS\\_zGSQJlIBRx](https://www.youtube.com/watch?v=HogSlmkN-N4M&list=PL4UUekqKKNKu66nmRL1CS_zGSQJlIBRx)
- [26.] Lomnický M. *Metody vizualizace učiva*. Hedrlín Z, editor. Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta. 2014. Available: <https://invenio.nucl.cz/record/486997?ln=en>

#### Kontakt

doc. MUDr. Jiří Kofránek, CSc.

Oddělení biokybernetiky

Ústav patologické fyziologie 1. LF UK

[kofranek@gmail.com](mailto:kofranek@gmail.com)

+420 777 68 68 68

Vít Kalisz

Renoirova 624/1

Hlubočepy

152 00 Praha 5

[kalisz@orgpad.com](mailto:kalisz@orgpad.com)

+420 736 124 126

Jiří Kofránek

JAK PROBUDIT SPÍCÍHO OBRA: ZKUŠENOSTI A PERSPEKTIVY MEZIOBOROVÉ KOOPERATIVNÍ SPOLUPRÁCE

## JAK PROBUDIT SPÍCÍHO OBRA: ZKUŠENOSTI A PERSPEKTIVY MEZIOBOROVÉ KOOPERATIVNÍ SPOLUPRÁCE

Jiří Kofránek

*Motto: „Snili jsme po léta o instituci nezávislých učenců, kteří spolupracují nikoli jako podřízení nějakého velkého vedoucího, ale spojení touhou, ba duchovní potřebou, pochopit tuto oblast jako celek a dávat si navzájem sílu, aby to pochopili.“*

Norbert Wiener

### Abstrakt

Univerzity jsou přirozeným zdrojem mezioborové spolupráce a mezioborová spolupráce je významným zdrojem inovací, jejichž rozvoj potencuje zakládání malých inovačních firem při univerzitách a spolupráce s vývojovými podniky. Mezifakultní a meziuniverzitní spolupráce v České republice je však zatím nedostatečná a neodpovídá potenciálním možnostem, které univerzity mají. Obrazně tak připomínají spícího obra, který čeká na probuzení. Vzbudit ho ale může pouze aktivita zdola. Nikdo jiný, než učitelé a studenti našich Alma Mater to za ně neudělá.

### Klíčová slova

univerzity, mezioborová spolupráce, mezifakultní spolupráce, spin-off firmy, startupy

### 1 Úvod

Význačné inovace vždy přicházely na styku různých oborů. Obrazně řečeno, na nerozoraných mezích, mezi jednotlivými obory se dají snadněji nalézt zlaté valounky. Jen je potřeba je cíleně společně hledat.

Pražské univerzity, zejména UK a ČVUT soustřeďují řadu oborů. Mezifakultní a meziuniverzitní spolupráce je však zatím nedostatečná a neodpovídá potenciálním možnostem, které univerzity mají. Připomínají tak do jisté míry spícího obra, který čeká na probuzení.

Pro inspiraci uvádím pět příběhů, kdy mezioborová spolupráce vedla k velkým inovačním skokům a snažím se z těchto příběhů najít nějaká poučení, která by mohla najít cesty, jak spícího obra probudit.

### 2 Příběh první – samořídící auto jako semestrální projekt

Samořídící robotizovaná auta jsou dnes horkým tématem úvah o budoucnosti dopravy a automobilového průmyslu. Docela nedávno tato problematika patřila spíše do oblasti témat spisovatelů sci-fi románů, nyní je však horkým a reálně hmatatelným výsledkem aplikačního výzkumu v oblasti umělé inteligence. Samořídící auta se již zvolna přesouvají ze zkušebních polygonů i do reálného provozu.

Zdálo by se, že tato problematika má dlouhou historii, první reálné výsledky ale přišly teprve před nemálo lety.

V roce 2004 legendární Agentura amerického ministerstva obrany pro pokročilé výzkumné projekty (DARPA), stojící za zrodem řady nových technologií, které dnes používáme (Internet, GPS aj.), se rozhodla podpořit vývoj samořídících aut bez řidiče pořádným balíkem peněz. Vyhlásila závod aut, které budou řízeny robotem místo řidiče. V Mohavské poušti připravila soutěžní trať v délce 142 mil (cca 250 km) a pro vítěze nachystala kulatou sumu jednoho miliónu dolarů. Přihlásilo se 67 účastníků. Týmy různých nadšenců z univerzit, firem i výzkumných organizací přivezli na start závodu nejrůznější, někdy i bizarně vyhlížející vehikly. Výsledek byl však tristní – trať dlouhou pou-

hých 142 mil nikdo z účastníků nedokončil. Nejdále se dostal automobil „červeného týmu“, který ujel 7.4 mil (11,9 km). Na příští rok DARPA zvýšila cenu pro vítěze na 2 milióny USD.



Obrázek 1 – Prof. Sebastian Thrun



Obrázek 2 – Auto týmu Stanfordské univerzity, řízené robotem Stanley projíždí vítězně cílem.

Neúspěch prvního ročníku robotizovaných aut byl výzvou pro profesora umělé inteligence Stanfordské univerzity Sebastiana Thruna. Sebastian Thrun pochází z Německa, a projekt aut bez řidiče byl jeho životní posedlostí již od mládí, kdy jeho nejlepší kamarád zahynul ve svých devatenácti letech v dopravní nehodě. Příčinou dopravních nehod je nejčastěji selhání lidského faktoru. Robotizovaná auta by ve svém důsledku byla mnohem bezpečnější než klasická auta a mohla by řadě těchto selhání zabránit. Sebastian Thrun dal na Stanfordské univerzitě dohromady tým studentů, sehnal finanční podporu projektu, podporu od amerického zastoupení firmy Volkswagen a pro auto Volkswagen Tuareg R5 TDI začal se svými studenty připravovat robota, nazvaného Stanley, kterého hodlali vyslat do příštího ročníku soutěže.

Problematika robotizovaného řízení auta je komplexní a vyžaduje řešení problémů z řady oblastí: od rozpoznávání obrazů, počítačového učení, strojové percepce, plánování, automatizovaného řízení, přes problematiku senzorů, konstrukci, montáž, oživení a testování elektronických dílů, až po čistou mechaniku a strojařinu. Všem těmto problémům se na Stanfordské univerzitě někdo věnuje, a navíc se našlo hodně pre- i postgraduálních studentů, ochotných věnovat svůj čas a úsilí dosažení společného cíle. Nedalo proto velkou práci sestavit ze studentů odhodlaný a výkonný vývojový tým. Profesor Thrun svůj vývojový tým rozdělil do tří částí – na skupinu softwarovou, testovací a komunikační. Pod vedením Thruna studenti naprojektovali senzorový, percepční, řídicí a uživatelský systém robota, vybavili ho potřebnými radarovými, laserovými a kamerovými senzory, naprogramovali příslušný software, vše postupně sestavili a otestovali a... následující rok, 2005 robot Stanley přivezl auto

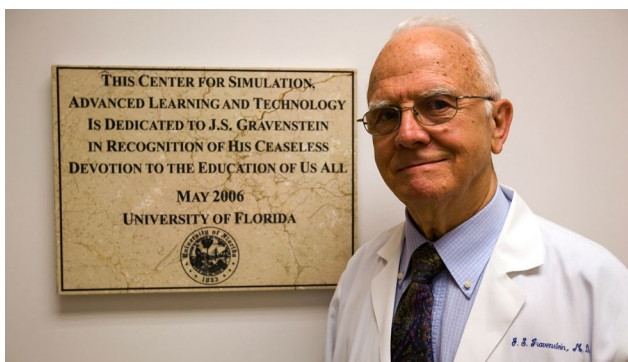


týmu Stanfordské univerzity do cíle jako první, a Stanfordská univerzita závod v Mohavské poušti vyhrála [1].

**Poučení z tohoto příběhu:** Univerzity jsou přirozeným zdrojem mezioborové spolupráce, a mezioborová spolupráce je významným zdrojem inovací.

### 3 Příběh druhý – což takhle trénovat doktory jako piloty (příběh lékařských trenážerů)

V první polovině osmdesátých let na katedře anesteziologie Floridské univerzity (University of Florida) nastoupil do rezidenčního výcviku dr. Joachim Stefan Gravenstein (obr. 3). Práce anesteziologa je zdánlivě velmi poklidná. Spočívá v uvedení pacienta do narkózy a pak jen ve sledování jeho stavu v průběhu operace, kde hlavní tíže spočívá na práci chirurgů. Ten poklid je ale jen zdánlivý. Někdy totiž přicházejí z ničeho nic závažné situace, kdy na rychlém a správném rozhodnutí anesteziologa závisí osud nemocného. Ještě napjatější situace, kdy jen rychlé a správné rozhodnutí může zachránit život pacienta, nastávají na jednotkách intenzivní péče.



Obrázek 3 – Dr. Gravenstein

Dr. Gravenstein přemýšlel o tom, jak co nejlépe naučit lékařský personál tyto krizové situace zvládat a využít při tom obdobné postupy, které se využívají na pilotních trenážerích při výcviku pilotů. Konec sedmdesátých a počátek osmdesátých let byl totiž údobím velkého rozmachu pilotních trenážerů. V sedmdesátých letech, v důsledku naftové krize, začala řada leteckých společností intenzivněji využívat letecké trenážery při výcviku pilotů. Krom toho, pokrok ve výpočetní technice umožnil vytvo-

řit skutečně realistické pilotní trenážery, na nichž bylo možno piloty cvičit jako v reálném provozu, a navíc s nimi procvičovat reakce na závažné situace a poruchy, které bylo nebezpečné procvičovat v reálném provozu. Na trenážer bylo možné pro piloty nasimulovat řadu nebezpečných situací a sledovat, jak se s nimi vypořádají. V následném brífinku bylo možné vrátit čas zpět a podrobně rozebrat rozhodování pilota při řešení akutní situace, kterou bylo možné opět opakovat a zkusit znovu řešit.

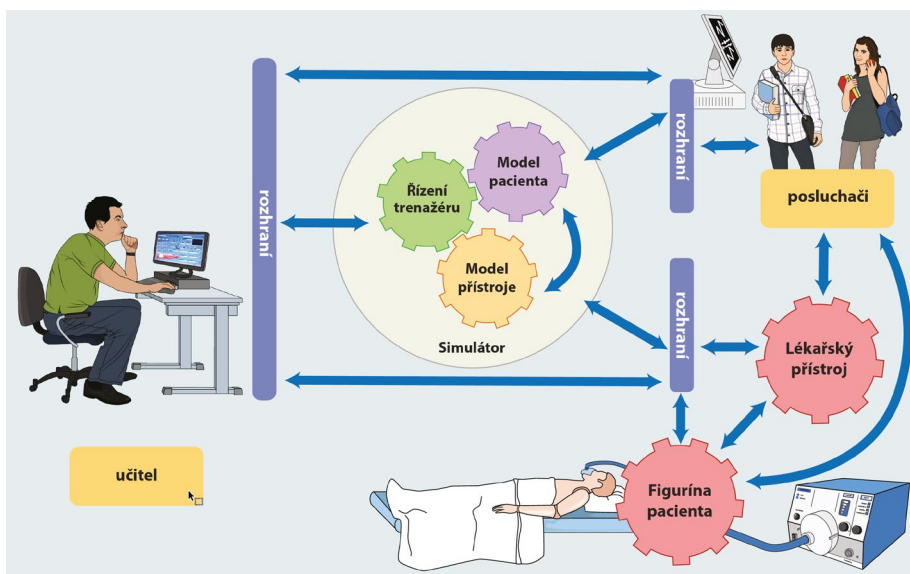
Letecká havárie na pilotním trenážeru je jen virtuální a letadlo je možné zpětně oživit jediným příkazem. Na lékařském trenážeru je poškození nemocného nebo i jeho smrt také jen virtuální. Dr. Gravenstein začal proto vážně uvažovat, jak sestavit lékařský trenážer, na němž by bylo možné procvičovat různé závažné situace, monitorovat rozhodování lékaře a následně zhodnotit jeho správnost a případně to zkusit řešit znovu, jinak a lépe, obdobně jako na pilotním trenážeru. Výhodou bylo, že Dr. Gravenstein byl původním vzděláním počítačový odborník, a tak se při řešení tohoto problému se začal na univerzitě porozhlížet po odbornících z různých (informatických a technických) oborů, kteří by mu s konstrukcí lékařského trenážeru pomohli.

V roce 1986 Gravensteinův tým vytvořil simulátor pacienta, který bylo možné připojovat k základním lékařským přístrojům. Simulátor podle zadaného scénáře a příslušného matematického modelu na pozadí, simuloval různé závažné stavy a adekvátně reagoval na terapii (obr. 4).

V roce 1994 se podařilo dostat trenážer do průmyslové výroby. Simulátor začala pod názvem METI velmi úspěšně prodávat nově založená firma Medical Education Technologies Inc. (Sarasota, Florida). Na přelomu tisíciletí tuto úspěšnou firmu koupil nadnárodní koncern CAE, vyrábějící špičkové simulátory pro různé obory.

Dnes se lékařské trenážery stále více využívají k výchově zdravotníků, při všech špičkových univerzitách vznikají simulační centra vybavené lékařskými trenážery. V České republice jsou např. simulační centra v Praze [2,3], Brně [4], Plzni [5], Hradci Králové [6] a v Olomouci [7].

Trenážer Patient Simulator CAE Healthcare, jehož kolébku bylo oddělení anesteziologie Floridské univerzity dodnes patří mezi nejosofistikovanější lékařské trenážery [8]. Tento simulátor by ale nevznikl, kdyby Gravenstein nedal dohromady tým složený z odborníků i z dalších (nemedicinských) oborů vyučovaných na Floridské univerzitě. Výhodou univerzit je to, že soustřeďují



Obrázek 4 – Dr. Gravenstein a jeho lékařský trenážer z roku 1986; Obrázek 5 – Základní komponenty lékařského trenážeru využívající robotizovanou figurínu pacienta řízenou modelem

různé obory, což dává potenciální možnosti snadného vzniku univerzitních multioborových týmů. Historie vzniku lékařského trenažéru na Floridské univerzitě je názorným využitím těchto možností pro vytvoření zcela nového výrobku s vysokou přídavnou mezioborových znalostí.

### 3.1 Schola ludus pro 21. století

Rychlý rozvoj internetu, mobilních technologií, postupný rozvoj sítí páté generace přináší nové možnosti pro využití internetových technologií ve vzdělávání. Spojení internetu a interaktivního multimediálního prostředí se simulačními modely přináší zcela nové pedagogické možnosti zejména pro vysvětlování složité provázaných vztahů. Simulační hry dosažitelné přes internet (nejlépe přes internetový prohlížeč) pomáhají studentům pochopit, jak pracuje organismus v normě a v patologii. V zapojení multimediálních výukových her do výuky nachází své moderní uplatnění staré krédo Jana Amose Komenského „Schola Ludus“ – tj. „škola hrou“, které tento evropský pedagog razil již v 17. století [9].

Rozvoj internetu a mobilních technologií vytváří předpoklady pro vznik zcela nového tržního segmentu výukových aplikací se simulačními hrami. Využití simulačních her pro edukační účely je efektivní zejména v oblastech, které jsou náročné na porozumění vzájemných souvislostí a které kladou důraz na celoživotní vzdělávání. K těmto oborům patří medicína. Elektronické simulační aplikace otevírají nové možnosti vysvětlení složitých dějů v lidském organismu v normě a při rozvoji nejrůznějších patologických stavů, i mechanismy jejich terapeutického ovlivnění. Příkladem jsou třeba výuková simulační aplikace Just Physiology [10] využívající rozsáhlý model lidské fyziologie HumMod [11] pro vysvětlení mechanismů řady klinických situací prostřednictvím simulačních her, nebo aplikace Harvi (<https://harvi.online>) [12], vysvětlující hemodynamiku oběhového systému prostřednictvím elektronické učebnice propojené se simulátory.

Tvorba výukových simulačních her není jednoduchá.

Již dávno pryč je doba entuziastů, kteří na přelomu osmdesátých let v nadšení nad novými možnostmi osobních počítačů vytvářeli první výukové programy. Počítače jsou dnes mnohem výkonnější, numerické a grafické možnosti jsou dnes, oproti sklonku osmdesátých let, enormní, pavučina vysokorychlostního internetu obepíná prakticky celý svět a přináší velký potenciál možného využití výukových simulačních her dosažitelných přes internet, které pomohou studentům pochopit dynamické souvislosti. Značně pokročily vývojové nástroje i metodiky softwarové tvorby. Zároveň se ale zvýšily nároky a očekávání uživatelů softwarových aplikací.

Vytváření výukových simulátorů a výukových simulačních her je náročnou výzkumnou a vývojovou prací, vyžadující skloubit výsledky práce odborníků, vytvářejících simulační modely, nápady a zkušenosti pedagogů vytvářejících scénář výukového programu, kreativitu výtvarníků vytvářejících interaktivní multimediální komponenty a úsilí programátorů, kteří „sešijí“ výsledné dílo do konečné podoby [13].

Pro řešení těchto problémů je nutný multioborový tým, který si navzájem rozumí a spolupracuje na vývoji konkrétního produktu a je soustředěn na jednom pracovišti.

Multioborový tým ale nevzniká seshora nějakým organizačním nařízením. Ukazuje se, že multioborová inovativní jádra vznikají na jednotlivých pracovištích při řešení konkrétních problémů. Nejpřirozenějším generátorem multioborové spolupráce na univerzitě je zapojení odborníků z různých kateder ústavů a fakult na řešení společného inovativního projektu.

**Zkušenosti z našeho písečku:** S multioborovou spoluprací při tvorbě lékařských simulátorů máme vlastní dlouholeté zkušenosti. Dlouhá léta se výzkumně zabýváme problematikou

modelování fyziologických systémů (viz např. [14–17]) a využitím teoretických výsledků matematického modelování ve výuce.

V naší laboratoři (<http://www.physiome.cz>) pracovali a pracují absolventi lékařské, matematicko-fyzikální fakulty, absolventi FEL ČVUT a také i výtvarníci, jejichž úkolem je vytvářet interaktivní grafiku. Jedním z výsledků naší práce je neustále vyvíjený internetový Atlas fyziologie a patofyziologie [18,19], technologie Bodylight umožňující vytvářet numericky simulační modely spustitelné na jakémkoli zařízení v internetovém prohlížeči [20–24] a nově též sada výukových simulátorů lidské fyziologie eGolem [25].

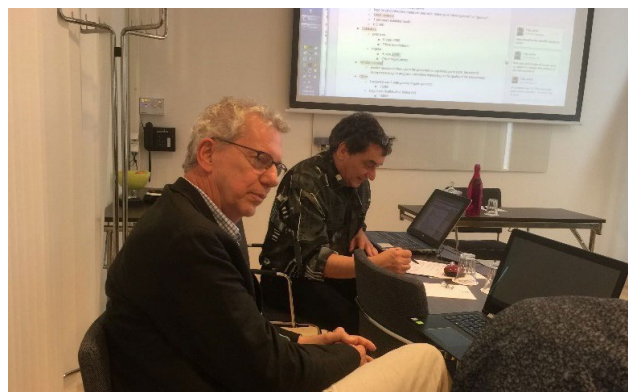
**Poučení z tohoto příběhu:** Multioborová inovativní jádra vznikají na jednotlivých pracovištích při řešení konkrétních problémů. Nejpřirozenějším generátorem multioborové spolupráce na univerzitě je zapojení odborníků z různých pracovišť univerzity (i z různých fakult) na řešení společného inovativního projektu.

### 4 Příběh třetí – dřinu strojům i při programování (příběh vzniku jazyka Modelica)

Počáteční, a nejsložitější, úlohou modelování je vytvoření formalizovaného popisu modelované reality, tj. sestavení rovnic matematického modelu. Řešení rovnic tohoto modelu vyjadřuje dedukce o chování modelované reality. Pokud dedukce děláme pomocí numerického řešení těchto rovnic na počítači – pak hovoříme o počítačové simulaci.

Abychom mohli řešit model na počítači, musíme **odvodit algoritmus**, podle kterého budeme na počítači hodnoty výstupních proměnných základě hodnot vstupů a počátečních hodnot vnitřních, stavových proměnných a vše implementovat do počítače.

V minulosti se simulační modely vytvářely přímo v klasických programovacích jazycích (např. v programovacím jazyku Fortran, C++ či Java). V devadesátých letech se objevila řada specializovaných nástrojů, které ohromně ulehčili implementaci modelu. Objevily se tzv. blokově orientované modelovací jazyky - softwarové nástroje, které umožnily, aby se model se mohl sestavovat pomocí propojování jednotlivých bloků na obrazovce počítače (např. grafický jazyk Simulink od firmy Mathworks).



Obrázek 6 – Hiding Elmquist - „duchovní otec“ jazyka Modelica

Nicméně odvození algoritmu výpočtu zůstávalo stále na bedrech programátorů.

A proto se koncem tisíciletí v akademických kruzích počítačových věd začalo přemýšlet, zda by se algoritmizace výpočtu modelů nedala nějakým způsobem zautomatizovat a odvození postupu výpočtu z rovnic modelu nechat na starost počítači (pod staronovým heslem „dřinu strojům!“).

Začalo se pracovat na vzniku nových programovacích jazyků, určených pro modelování, kde by se model popisoval soustavou algebroidiferenciálních rovnic a úlohou překladače by bylo



zautomatizovat algoritmus jejich řešení – hovořilo se o tzv. „na rovnicích založených jazycích“ (equation-based languages).

Jedním z výzkumníků, věnujících se této problematice, byl Hilding Elmqvist (obr. 6) z univerzity v Lundu v jižním Švédsku.

Jak sám později uvedl, nápad vytvořit na rovnicích založený jazyk, dostal krátce před velikonoce, 15. dubna 1976: „v novém jazyce se místo příkazů programovacího jazyka budou psát přímo rovnice, a nalezení jejich řešení bude úloha pro počítač!“

Měl by to být jazyk pro modelování dynamických systémů – proto ho nazval Dymola (jako akronym Dynamic Modeling Language). Věřil, že tento jazyk bude velmi užitečný zejména pro technické aplikace. Vrhł se do práce a za dva roky vytvořil objektivně orientovaný, na rovnicích založený jazyk Dymola, který implementoval v jazyce Simula 68. Výsledky se staly náplní jeho disertační práce, kterou obhájil v květnu 1978.

Ale již koncem roku 1978 přišlo kruté zklamání. Jeho jazyk zvládal pouze 250 rovnic! Bylo to způsobeno hlavně tím, že narazil na technologickou bariéru. Dymolu implementoval na počítači Unica-c1108, s 128 kB paměti a to bylo pro rozumné aplikace příliš málo. Později svou Dymolu implementoval v jazyce Pascal na počítači VAX, ale pořád výsledky byly příliš chabé na reálné průmyslové aplikace – které musí zvládat tisíce až desetitisíce rovnic.

S růstem výkonnosti počítačů, se ale postupně otevíraly nové možnosti pro uplatnění jeho jazyka v reálných aplikacích. Počátkem devadesátých let Elmqvist Dymolu reimplementoval v jazyce C++, a nejednou již šlo vytvářet rozsáhlé modely potřebným počtem rovnic pro průmyslové aplikace. Podstatný zlom přišel s příchodem verze Microsoft Windows 3.0, která umožnila prolomit bariéru 640 kB operační paměti – a to otevíralo zcela nové možnosti pro realizaci jazyka Dymola na počítačích, které byly průmyslové praxi široce dostupné a výkonné.

V roce 1992 v těsném sousedství Lundské univerzity Hilding Elmqvist zakložil malou vývojovou firmu Dynasim AB, kde se svými studenty a spolupracovníky pokračoval ve vývoji jazyka Dymola s cílem vyvinout snadno dostupný nástroj určený zejména pro tvorbu modelů v průmyslových aplikacích.

Na vývoji Dymoly Elmqvist navázal intenzivní spoluprací s řadou evropských univerzit a institucí - zejména s Martinem Oterem z německého Německého leteckého a kosmického centra - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), a Francoisem Cellierem ze Spolkové vysoké technické školy v Curychu - Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ) – s nimi implementoval do Dymoly možnosti tzv. hybridního modelování, tj. možnost kombinovat práci s proměnnými spojitěho i diskretní času a umožnit vytváření událostí a modelovat reakci modelovaného systému na ně - tedy to s čím je nutné počítat při simulacích průmyslových aplikací.

Jeho modelovací software postupně získával významné komerční zákazníky. V roce 1996 firma Toyota začala používat Dymolu pro vývoj hybridního automobilu Prius.

V roce 1996 Elmqvist přišel s nápadem soustředit úsilí akademických pracovníků z dalších, zejména švédských univerzit a společně se dohodnout na specifikaci nového standardizovaného jazyka nazvaného **Modelica**. Jazyk měl být určen především pro modelování technických systémů, měl umožňovat znovupoužitelnost a výměnu jednotlivých komponent dynamických modelů ve standardizovaném formátu.

Výsledkem této meziuniverzitní akademické spolupráce byla první specifikace jazyka Modelica, zveřejněná v září 1997. Vycházela ze zkušeností nejen s jazykem Dymola, ale i s dalšími modelovacími jazyky jiných autorů - jako např. s jazyky Allan, Omola, Smile, ObjectMath, SIDOPS+ a jazykem NMF. Místo toho, aby akademičtí výzkumníci vytvářeli nástroje pro práci s různými na rovnicích založenými jazyky, začali pracovat na nástrojích dodržujících dohodnutou normu [26].

V roce 2000 bylo založeno nekomerční sdružení **Modelica Association** [27] jehož úkolem je standardizace jazyka Modelica [28] a vývoj standardizované volně dostupné knihovny znovupoužitelných komponent Standard Modelica Library.

Vznik jazyka Modelica je příkladem úspěšné meziuniverzitní spolupráce i užitečnosti zakládání malých inovativních firem personálně propojených s univerzitou. Firma Dynasim, spolupracující s Lundskou univerzitou vytvořila první komerční implementaci jazyka Modelica pod staronovým názvem Dymola (což již nebyl jazyk, ale simulační prostředí pro tvorbu modelů ve standardizovaném jazyce Modelica).

Záhy vznikla další komerční implementace jazyka ve firmě Mathcore která v úzké spolupráci s univerzitou v Linköpingu vyvinula implementaci Modeliky s názvem MathModelica.

Modelica, která původně vznikala jako akademický projekt ve spolupráci s malými vývojovými firmami při univerzitách v Lundu a v Linköpingu, se záhy ukázala jako velmi efektivní nástroj pro modelování složitých modelů uplatnitelných zejména ve strojírenství, automobilovém a leteckém průmyslu.

Vývoj jazyka Modelica proto postupně získal podporu komerčního sektoru. Rozšiřovaly se standardizované knihovny a jazyk se vyvíjel.

Původně malou vývojovou firmu Dynasim, která při univerzitě v Lundu vyvinula první implementaci Modeliky s názvem Dymola dnes vlastní významná společnost Dassault Systemes která Dymolu zainkorporovala do svých komplexních softwarových nástrojů pro inženýrské konstruování [29].

Společnost Wolfram, produkující proslulý nástroj pro vědecké a inženýrské výpočty s názvem Mathematica, koupila inovační firmu Mathcore založenou akademickými pracovníky univerzity v Linköpingu. Její MathModelicu pod novým názvem Wolfram System Modeler zaintegrovala do svého nástroje Mathematica [30].

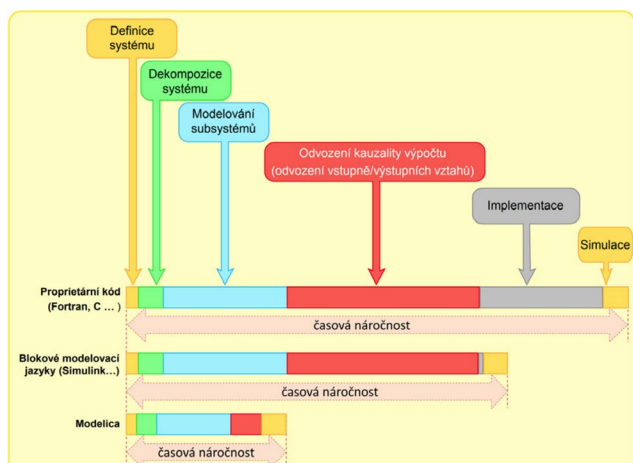
S každou novou verzí se okruh uživatelů Modeliky rozšiřoval a z původně spíše akademického a vědeckého modelovacího prostředí se Modelica stala efektivním průmyslovým nástrojem. Modelica nyní existuje ve standardizované verzi 3.5 [31].

Rychlost, s jakou si nový simulační jazyk Modelica osvojila nejrůznější komerční vývojová prostředí je ohromující. Dnes kromě Dymoly od Dassault Systemes a System Modeler od Wolframu jazyk Modelica např. využívají také simulační prostředí firmy Siemens PLM Software [32], MapleSim od Maplesoftu [33], Mosilab od Frauenhoferovy společnosti [34], SimulationX od společnosti ESI Group [35] a mnohé další komerční i nekomerční vývojové nástroje.

Modelica velmi usnadňuje implementaci složitých modelů na počítači, a proto nachází stále větší uplatnění v průmyslových aplikacích počítačového konstruování (obr. 7). Tento moderní simulační jazyk dnes využívají velké průmyslové korporace, jako Siemens, ABB a EDF. Firmy působící v automobilovém průmyslu, jako (AUDI, MBW, Daimler, Ford, Toyota, VW) používají Modeliku pro návrh energeticky úsporných automobilů a pro návrh klimatizačních jednotek.

Rozvoj vývojových prostředí a technologií využívajících jazyk Modelica i vývoj příslušných aplikačních knihoven je součástí řady celoevropských výzkumných projektů, např. EUROSYSLIB, MODELISAR, OPENPROD, MODRIO aj.

Kromě komerčních nástrojů, pracujících s jazykem Modelica dnes také existují i volně dostupné nekomerční implementace Modeliky. Nejrozšířenější z nich je OpenModelica [36] vyvíjená konsorciem třiceti firem a výzkumných institucí ve spolupráci s pětadvaceti univerzitami [37]. Podniky do konsorcia platí roční členský příspěvek, jehož výše se odvíjí od velikosti podniku. Díky tomu pak mohou využívat OpenModeliku v komerčních produktech. Konsorcium tím dostává prostředky, díky nimž může zajistit stálý vývoj otevřeného prostředí pro používání jazyka Modelica.



Obrázek 7 – Modelica přinesla obrovskou časovou úsporu při implementaci matematických modelů na počítači, protože odvození algoritmu jak ze hodnot zadaných vstupů a parametrů modelu vypočítat hodnoty výstupů přenechala překladači.

Tento obchodní model je výhodný jak pro komerční firmy, které získávají relativně levný nástroj pro simulační aplikace, tak i pro nekomerční sféru, která dostává k dispozici kvalitní vývojové prostředí dnes již srovnatelné s komerčními nástroji, jehož další rozvoj je nezávislý na shánění grantových prostředků.

**Zkušenosti z našeho písečku:** Jednou z 30 firem konsorcia Open Source Modelica je i náš malý vývojový podnik Creative Connections s.r.o [38] působící jako spin-off naší laboratoře biokybernetiky [39], který se v těsné spolupráci s Univerzitou Karlovou účastní na výzkumu a vývoji lékařských trenažerů a uplatnění simulací v medicíně. Spolu s dalšími malými vývojovými podniky, se náš podnik účastnil několika výzkumných projektů s Univerzitou Karlovou a podílel se na spolufinancování společného výzkumu.

Rozšíření jazyka Modelica napomáhá dostupnost knihoven pro různé aplikační oblasti (elektrotechnika, plynárenství, automobilový průmysl, energetika aj.), některé jsou volně dostupné, jiné jsou komerční. Z aplikačních knihoven se pak model sestavuje jako z „legové stavebnice“. Naším příspěvkem k rozvoji jazyka je vytvoření knihoven pro vývoj modelů pro oblast fyziologie, které byly na mezinárodních kongresech Modelica v letech 2014 a 2015 oceněny jako nejlepší aplikační knihovny roku [15–17,40,41]. Pomocí těchto knihoven jsme v jazyce Modelica implementovali rozsáhlé modely integrativní fyziologie [14,16,42–46]. V rámci konsorcia Open Source Modelica nyní např. vyvíjíme rozšíření jazyka Modelica pro implementaci partiálních diferenciálních rovnic a otevřené nástroje pro tvorbu simulátorů ve webových prohlížečích [20,47].

**Poučení z tohoto příběhu:** V akademické sféře mohou vzniknout zcela průlomové inovace. Jejich rozvoj potencuje meziuniverzitní spolupráce a zakládání malých inovačních firem při univerzitách. Když malé inovační podniky, personálně propojené s univerzitou, dotáhnou akademický výzkum do použitelné průmyslové aplikace, přijde i větší podpora od velkých průmyslových či finančních gigantů, která zajistí další rozvoj.

## 5 Příběh čtvrtý - pokroky z garáže

V jednom kalifornském městečku stojí jednopatrový dům, na první pohled stejný jako stovky jiných domů v okolí. Od příjezdové komunikace vede mezi stěnou domu a břechtanem obrostlým plotem úzká cesta k modře natřeným vratům opodál stojící garáže (obr. 8).

Na domku je upevněna vcelku nenápadná pamětní deska s nadpisem, že se jedná o místo zrodu „Křemíkového údolí“



Obrázek 8 – Kolébka Silicon Valley - garáž, kde dva absolventi Stanfordské univerzity, William R. Helwett a David Packard, v roce 1938 usídlili svou malou vývojovou firmu, a vyvinuli zde svůj první výrobek - audiooscilátor.

(BIRTHPLACE OF SILICON VALLEY). Deska upřesňuje, že místem narození je právě zmíněná garáž, kde dva studenti uposlechli výzvy svého profesora ze Stanfordské univerzity, Dr. Fredericka Termana, který studenty nabádal, aby po absolvování zůstali v tehdy ještě ryze zemědělské Kalifornii a nejezdili na druhý konec Spojených Států, kde by se nechávali zaměstnat u velkých korporací na východním pobřeží, shánějících čerstvě promované inženýry. Terman nabádal absolventy, aby zkusili založit vlastní malé firmy a v nich vyvíjet specializované sofistikované elektrotechnické produkty. Dva studenti byli první, kdo ho poslechl, a v roce 1938 garáží s modře natřenými vraty vyvinuli svůj první produkt, který nabídli k prodeji. Byl jím malý kompaktní a levný audiooscilátor. Studenti se jmenovali William R. Helwett a David Packard.

Dnes je Silicon Valley technologickým inovačním centrem Spojených Států, kde sídlí řada významných inováčních firem a technologických gigantů (krom Hewlett-Packard vzpomeňme např. Apple, Google, Facebook, Tesla, Borland...). „Křemíkové údolí“ je ale také domovem spousty malých inovativních firem, i rodištěm nových start-upů přicházejících s neotřelými inovativními nápady.

Nemusíme se ale poohlížet za oceán, inovativní centra kolem zavedených univerzit nalezneme i v Evropě.

Tak například ve Švédsku, v těsném sousedství univerzity v Lundu, jsou budovy technologického parku IDEON hostící spoustu malých začínajících firem i vývojových laboratoří zavedených podniků (obr. 9).

V Lundu jsem byl mnohokrát, a mohu potvrdit, že technologický park IDEON se rok od roku rozrůstá – stále přibývají nové budovy.

A tam mi vždy tane na mysli otázka – **proč to tam funguje, a proč u nás ne?**

Je to v budovách?

Zřejmě ne – postavit budovu vedle univerzity, propojit ji s univerzitní infrastrukturou nestačí. Jako příklad stačí vzpomenout za dotační peníze z EU postavený TechnoPark Pardubice, do něhož se pak obtížně shánějí nájemníci [48]. Přitom v Pardubicích existuje řada inovačních a technologických firem – ty však raději zůstali ve svých budovách (třeba po bývalém výzkumném ústavu v Opočinku), než by se stěhovali do nových prostor (s dražším nájmem).

Je to v penězích?

Částečně – sehnat peníze na vývoj je pro malou začínající firmu v ČR obtížné – banky jí nepůjčí (protože nemá čím ručit za úvěr) a rizikový kapitál se u nás ještě nezabydlel (částečně proto, že chybí příslušná legislativa).



Obrázek 9 – Jedny z budov rozsáhlého vývojového parku Ideon u univerzity v Lundu - sídlo malých vývojových firem i vývojových laboratoří velkých korporací.

Sehnat financování je těžký, ale v podstatě řešitelný problém. Není to ale důvod, proč se kolem zavedených univerzit v našem blízkém i vzdáleném sousedství jako houby po dešti množí startupy a spin-off firmy v technologických centrech.

Hlavním důvodem úspěšnosti těchto „garážových“ firem není dostupnost financí. Hlavní příčinou je řešení závažnějšího problému, než je nedostatek financí. Tím je nedostatek lidských zdrojů. Vždyť i u nás všechny softwarové firmy zoufale shání programátory, technologické firmy konstruktéry apod.

Příčina úspěšného rozvíjení technologických center kolem univerzit jsou „čerstvé lidské zdroje“ – a právě ty se nejlépe shánějí na univerzitách, mezi pregraduálními i postgraduálními studenty. Učitel díky výuce snadno rozpozná talent svých studentů.

Proto učitelé i studenti zakládají malé firmy kolem svých alma mater. Není střetem zájmů, když učitel založí, nebo spoluzaloží nebo podporuje nějaký studentský start-up. Podíl na intelektuálním vlastnictví mezi univerzitou a novou firmou se řeší dohodou. Vhodným uspořádáním vztahů lze dosáhnout synergického efektu.

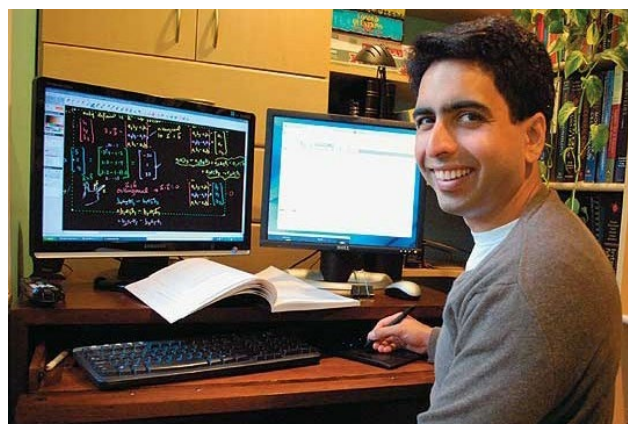
I u nás se pomalu začíná blýskat na lepší časy. Malé firmy, zakladané učiteli a studenty našich univerzit již nejsou těmi podivnými živnostmi podezíranými z tunelování univerzitního majetku a krádeže know-how. Zakládání startupů je obecně podporováno, investoři a velké finanční instituce podporují nejrůznější inovační centra a akcelerátory, kde se zakladatelé nových malých podniků učí orientovat ve světě podnikání. Stále však, v porovnání s našimi severními a západními sousedy, je těch inovačních firem kolem univerzit žalostně málo.

**Poučení z tohoto příběhu:** Startupy a spin-off firmy při univerzitách jsou inovačními semínky, které napomáhají univerzitě

realizovat výsledky výzkumu v praxi. Spolupráce univerzit a inovačních firem má synergický efekt a je strategickým inovativním jádrem rozvoje. Univerzity jsou pro inovační firmy zdrojem kvalifikovaných pracovníků, inovační firmy při univerzitách poskytují smysluplnou práci pre- i postgraduálním studentům.

### 6 Příběh pátý – pomůžeme si sami (příběh vzniku Khan Academy, MOOC kurzů, sítě MEFANET a Wikiskript)

Salman Khan (obr. 10) se narodil a vyrůstal ve skromných poměrech v New Orleansu v americké Louisianě. Po získání magisterských titulů na MIT (z elektrotechniky a informačních technologií) pokračoval na Harvardu, kde získal titul MBA. Koncem roku 2004 začal na dálku doučovat svoji sestřenicí Nadiu matematiku pomocí obrázků Yahoo Doodle. Když ho poprosili o pomoc při doučování další příbuzní a přátelé, rozhodl se, že svoje videolekce umístí na YouTube. Popularita videí a děkované příspěvky studentů Khana přiměly, aby v roce 2009 opustil svou vysoce honorovanou práci finančního analytika a zaměřil se na tvorbu vzdělávacích videolekcí naplno.



Obrázek 10 – Salman Khan – zakladatel Khan Academy

Projekt dostal jméno po svém zakladateli: „Khan Academy“ [49]. Khanova akademie je registrována v USA jako veřejně prospěšná organizace, a je dotována z dotací a dobrovolných příspěvků s významnou podporou Nadace Billa a Melindy Gatesových.

Bill Gates na adresu Salmana Khana poznamenal: „Řekl bych, že jsme přesunuli IQ 160 z oblasti akciových trhů do oblasti výuky mnoha lidí účinným způsobem. Byl to dobrý den, když mu manželka dovolila opustit jeho původní zaměstnání“ [50].

Khan se chtěl vyhnout formátu, který by zahrnoval učitele stojícího u tabule. Přál si místo toho realizovat koncept „promlouvajícího hlasu odnikud z temného vesmíru přímo k něčí mysli“ – jako by učitel seděl vedle a vysvětloval řešení příkladu na listu papíru: „Když někdo počítá příklad a při tom myslí nahlas, myslím, že je to pro něj cennější, a ne tak odstrašující,“ komentoval Khan svůj výukový přístup.

V současné době Khanova akademie obsahuje více než šest tisíc videolekcí z různých vzdělávacích oblastí. Videá jsou veřejně přístupná pod licencí Creative Commons. Khanova akademie dále nabízí automatizované příklady k procvičování s průběžným hodnocením, hlavně v matematice.

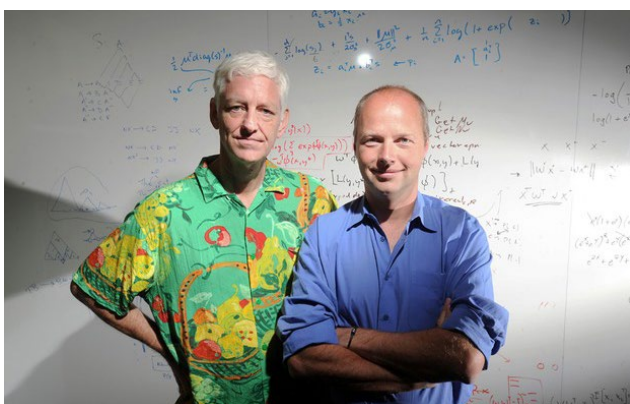
Obsah je zaměřen především na základní a střední školy, případně bakalářský stupeň univerzit. Khanův dlouhodobý cíl je poskytnout desítky tisíc videí v maximu oborů a vytvořit tak první bezplatnou virtuální školu na světové úrovni, kde se kdokoli může naučit cokoli. Obsah je v angličtině, ale po světě je řada neziskových organizací a jednotlivců, kteří obsah překládají do rodného jazyka – u nás se tím například zabývá český neziskový projekt „Khanova škola“ [51].



Pozadu za trendem otevřeného internetového vzdělávání nezůstaly ani univerzity.

V létě 2011 Stanfordská univerzita oznámila že na podzim pro širokou veřejnost na internetu otevírá nový typ univerzitního kurzu věnovaného umělé inteligenci, obsahem odpovídající existujícímu Úvodu do umělé inteligence, jenž je pro prezenční studenty na Stanfordu povinný. Univerzita oznámila, že kurs bude zdarma dostupný na internetu, bude obsahovat 6 hodin přednášek týdně, domácí úlohy a týdenní test, půlsestrální zkouškový test a závěrečný test na konci semestru. Bude nabízet průběžnou možnost konzultací po internetu a veškeré učební materiály budou on-line k dispozici.

Vedení kurzu se ujali dva, ve svém oboru vyhlášení, odborníci (obr 11), již výše zmíněný profesor Sebastian Thrun (vedoucí týmu, který se studenty Stanfordu sestrojil robotický samofidelní automobil) a profesor Peter Norvig (vedoucí výzkumný pracovník společnosti Google, který spolu se Stuartem Russellem napsal proslulou učebnici „Artificial Intelligence, a Modern Approach“, [52]).



Obrázek 11 – Sebastian Thrun a Peter Norvig - tvůrci prvního MOOC kurzu

Podarilo vyvolat nečekaný zájem médií o tento připravovaný kurz, a tak se informace o něm rozšířila opravdu do celého světa. Nakonec se do kurzu zapsalo více než 160 tisíc zájemců ze 190 zemí [53].

Přednášky byly rozčleněny na krátké, zhruba pětiminutové videosekvence, prokládané interaktivními automaticky vyhodnocovanými testy, ověřující pochopení vykládané látky, jejichž správné zodpovězení bylo k dalšímu postupu nezbytné. Na konci týdenního cyklu byly vždy zadány domácí úkoly a test, s nutností odeslat do konce dalšího týdne. Vše bylo navíc spojeno s dobře propracovaným systémem on-line konzultací k vykládané látce.

Ze 160 tisíc účastníků kurz úspěšně dokončilo neuvěřitelných 23 tisíc, mezi nimi já a moji tři doktorandi. Z vlastní zkušenosti proto můžeme konstatovat, že kurs byl opravdu časově náročný, zabral týdně zhruba 8 hodin, ale tento čas bylo možné podle potřeby rozčlenit na libovolně dlouhé časové úseky, kdy vykládané látce bylo možné plně věnovat pozornost. To je velká výhoda oproti klasickým univerzitním kurzům, která umožňuje začlenit vzdělávací aktivity do časového rozvrhu i pracovních vytížených posluchačů, bez nutnosti někde být fyzicky přítomen. Stačí připojení k internetu.

Stanfordský kurz základů umělé inteligence v roce 2011 byl první, opravdu masový, otevřený, on-line kurz, který dokázal podchytit statisíce účastníků po celém světě a ukázal principiálně nové možnosti internetu rozšiřující možnosti vzdělávání.

Pro samotné lekory byl obrovský zájem účastníků překvapením. Sebastian Thrun k tomu, o rok později, na konferenci Digital Life Design v lednu 2012 mimo jiné řekl: „Mělo to na mě opravdu velký vliv. Nikdy by mě nenapadlo, že by se něco takového

mohlo stát. Vždy jsem si myslel, jak je to skvělé, že učím na nejlepší univerzitě na světě a jsem dobrým učitelem. Jenže po této zkušenosti nemohu na Stanfordu zůstat. To je nemožné. Je to, jako kdyby existovaly 2 pilulky. Jedna je modrá, a kdybych si ji vzal, vrátil bych se do své třídy s 20 studenty. Jenže já si vzal tu červenou a díky ní jsem zažil zázrak. Mám dojem, že jsme změnili svět vzdělávání. Dokázali jsme ho otevřít celému světu. Jsme schopni pomáhat lidem v rozvojových zemích – v Africe, v Indii, v Číně – stát se mnohem schopnějšími a silnějšími. Jsem přesvědčen, že jsme položili základ nové společnosti. Naplňuje mě to nadšením.“

Sebastian Thrun poté opouští Stanford a spolu s několika dalšími učiteli vysokých škol zakládá novou online univerzitu **Udacity** [54] která dnes statisícům zájemců nabízí řadu on-line kurzů zejména z oblasti umělé inteligence a počítačových věd.

Hned po Thrunovi oznámili v roce 2012 založení free on-line univerzity další dva stanfordští profesori, Draphne Kollerová a Andrew Ng. Nazvali ji **Coursera** [55] a záhy podepsali kontrakt s 16 prestižními univerzitami o přípravě kurzů – dnes je na této platformě nabízí kurzy více než stovka univerzit z celého světa. Brzy po založení Udacity a Coursera se dohodl MIT a Harvard na vytvoření platformy **edX**, [56] která dnes nabízí více než tři tisíce kurzů, vytvářených více než třemi stovkami univerzit, které současně studuje cca 481 tisíc účastníků

Masivní on-line otevřené kurzy (**MOOC** - Massive, Open, On-Line, Course) jsou dnes celosvětovým trendem. Tyto kurzy dnes nabízí řada špičkových univerzit prostřednictvím nejruznějších platform (v Udacity, Coursera, či edX jsem ale žádné kurzy našich Alma Mater zatím nenašel).

Zavádění počítačem podporované výuky do všech typů škol patří mezi strategické směry rozvoje školství i v ČR. Zejména z Evropských fondů se nakoupilo spousta elektronických tabulí, počítačů a elektronických výukových materiálů.

Je však třeba poznamenat, že masivní zavádění elektroniky do výuky bez podpory rozvoje výukového obsahu je velkou chybou.

Domněnka, že stačí soustředit síly na to, aby se učitelé naučili vyhledávat výukový obsah na internetu, je veskrze mylná.

Na internetu je k dispozici spousta výukového obsahu, avšak nikoli v českém jazyce a zdaleka ne vždy zdarma. Bylo by proto vhodné soustředit úsilí, zejména českých vysokých škol, na tvorbu elektronického výukového obsahu. Bohužel centrální podpora tvorby výukového obsahu je roztržštěná, nekoordinovaná a z hlediska objemu finančních prostředků zcela nedostatečná. Paradoxem je, že se nedařilo čerpat prostředky z Evropských fondů určené právě na podporu vzdělávání (a to nemluvíme o nechvalně známém projektu „Internet do škol“, kde se promrhaly miliardy).

S podporou Evropských fondů se vytvořila i řada výukových softwarových aplikací v českém jazyce, pro jednotlivé školy či univerzity. To ale nestačí – pro kvalitu vytvářeného výukového materiálu je důležitá zpětná vazba od co největšího počtu uživatelů. A internet umožňuje okruh uživatelů snadno rozšířit – obdobně jako Khanova škola nebo MOOC kurzy.

V České republice existuje 10 lékařských fakult, na Slovensku jsou 3 lékařské fakulty. Studium medicíny je náročné, a sdílení elektronických výukových materiálů v českém a slovenském jazyce mezi těmito 13 lékařskými fakultami by nabídku dostupných elektronických výukových materiálů na jednotlivých fakultách rozšířilo a zároveň přineslo i poměrně širokou skupinu uživatelů.

To byly úvahy, které vedly k založení mezifakultní sítě lékařských fakult **MEFANET** (MEdicinal FACulties NETwork) umožňující studentům a pedagogům efektivně sdílet elektronické výukové materiály (<http://www.mefanet.cz>) [57].

Začalo to tím, že v létě 2006 se pražská 1. lékařská fakulta UK, vedená tehdy děkanem Tomášem Zimou, dohodla s brněnskou



Lékařskou fakultou Masarykovy univerzity o sdílení elektronických výukových materiálů. Záhy se k této iniciativě přidala Lékařská fakulta Univerzity Palackého v Olomouci. V létě následujícího roku se k projektu přidaly všechny další lékařské fakulty v České a Slovenské republice a tím vznikla síť horizontálně spolupracujících fakult sdílejících elektronické výukové materiály. Vzdělávací síť MEFANET spojila všechny lékařské fakulty napříč Českou republikou a Slovenskem. Je řízena Koordinační radou MEFANET, složenou ze zástupců všech zapojených členů. Od roku 2012 vstoupily do sítě také fakulty zaměřené na oblast ne-lékařských zdravotnických věd i některá akademická pracoviště.

Elektronické materiály publikované v síti MEFANET, které příslušná fakulta vystaví ke společnému sdílení nejdříve procházejí standardním recenzním řízením (obdobně jako klasická výuková skripta). Kromě toho široká komunita tvořená studenty a pedagogy všech lékařských fakult v obou republikách svými poznámkami směřovaným autorům přispívá k stálému zdokonalování sdílených výukových materiálů. Financování provozu této sítě je zajišťováno lokálně každou zúčastněnou fakultou, případně časově omezenými rozvojovými programy. Centrální financování projektu neexistovalo (a dosud neexistuje), přesto se však projekt již deset let úspěšně rozvíjí.

V roce 2008 jako součást sítě MEFANET vznikla platforma WikiSkripta jako prostor pro kooperativní tvorbu a ukládání medicínských výukových materiálů [58].

WikiSkripta (<https://www.wikiskripta.eu>) [59] byla vytvořena pro studenty a učitele všech lékařských fakult v ČR a SR. Jsou určena převážně pro pregraduální výuku. O podporu autorů a dodržování úrovně a pravidel se stará hierarchicky organizovaná studentská redakce s několika učiteli. Na rozdíl od Wikipedie a Wikipedii a mnoha dalších wiki projektů, WikiSkripta nejsou encyklopedií. Články připomínají texty ve skriptech a mohou být spojeny do větších kapitol jako v tradičních učebnicích. Text není určen pro širokou veřejnost a předpokládá znalost lékařské terminologie. Na rozdíl od Wikipedie mají WikiSkripta jasně definovanou cílovou skupinu: studenty lékařských fakult.

Původ WikiSkript sahá až do roku 2007, kdy bylo na 1. LF UK hledáno vhodné úložiště pro opakovaně použitelné výukové objekty. Jako výhodný nástroj pro sdílení výukových materiálů byla zvolena platforma wiki. Ve wiki platformě se výukové objekty (texty, obrázky aj.) snadno tvoří a editují. Původní předsta-



Obrázek 12 – Centrální brána sítě Mefanet propojující lékařské a zdravotnické fakulty v ČR a SR. V síti Mefanet možné studenti i učitelé mohou vyhledávat a procházet edukační sdílené zdroje rozříděné podle lékařských disciplín, autorů, fakult, a dalších kritérií.

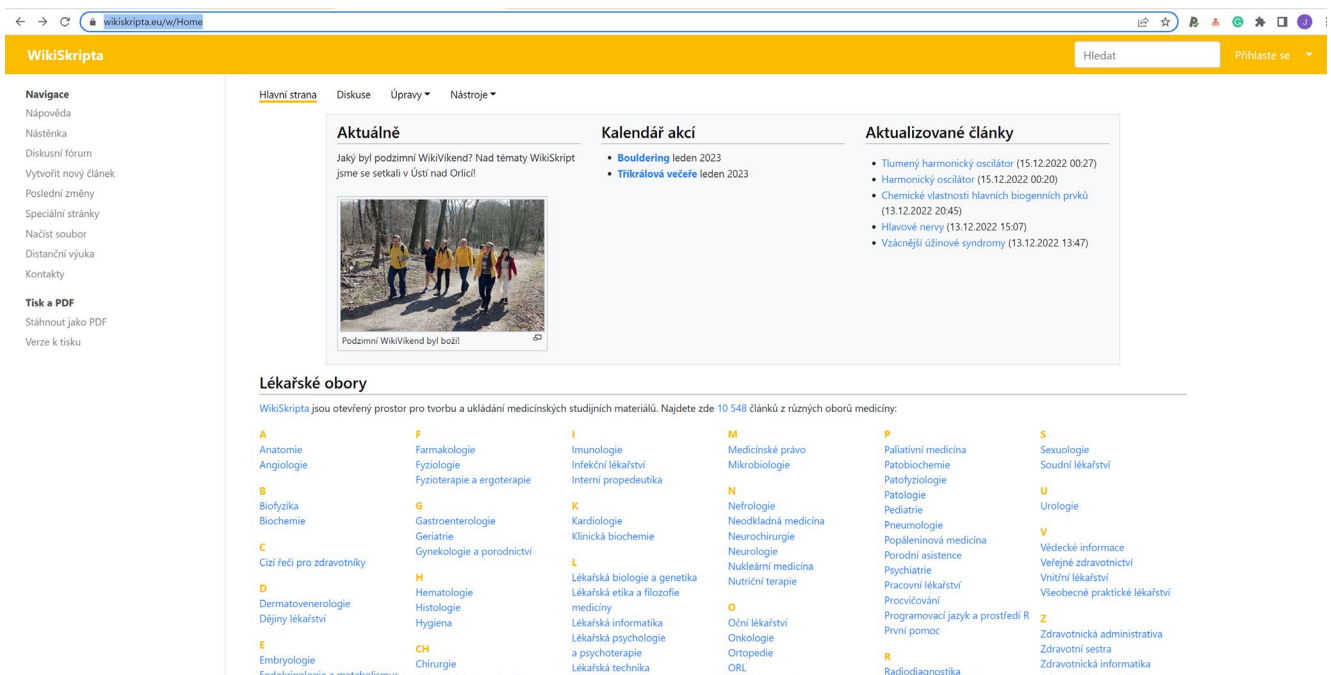
va, že každý vytvořený výukový blok bude doprovázen metadaty, podle kterých pak bude možno výukové objekty vyhledávat, se ukázala jako nereálná. Učitelé, a na lékařských fakultách zejména, jsou nesmírně zaneprázdnění a představa, že každý odstavec textu budou doplňovat metadaty, byla mimo realitu.

Z této slepé uličky vyvedlo projekt Wikiskript až pochopení, že koncept metadat lze nahradit konceptem fulltextového vyhledávání. Pak už nic nebránilo použít pro „repozitář“ platformu wiki a technologie pro budoucí úspěch byla připravena.

První fakultní wiki pro výukové materiály byla nainstalována a nabídnuta učitelům i s rozsáhlou nabídkou podpory počátkem roku 2008, ale efekt zpočátku neodpovídal vloženému úsilí. Materiály (např. postgraduální skripta Neurowiki) vznikaly velmi pomalu, protože učitelé byli příliš zaneprázdnění a technologický práh byl pro ně příliš vysoký.

Na konci roku 2008 byli proto do projektu přibráni studenti, aby podpořili vytížené učitele.

To, co se stalo, bylo fascinující: pár studentů přineslo do projektu tolik aktivity a nadšení, že se WikiSkripta začala nejen velmi rychle rozvíjet technicky, ale velmi rychle rostl také po-



Obrázek 13 – Úvodní stránka wikiskripta

čet článků. Studenti zde našli nástroj, kterým své (do té doby rozptýlené) poznámky z přednášek a přípravy na zkoušky mohli dovést na vyšší úroveň, efektivně sdílet a verifikovat vystavením materiálu očím odborné veřejnosti. Články na Wikiskriptech jsou pravidelně kontrolovány odborníky – pedagogy lékařských fakult (každý článek má příznak, zda již byl zkontrolován učitelem). Tak lze zajistit vysokou úroveň článků a jen tak se mohou studenti spolehnout na správnost zde uvedených informací.

Výhodou pro tvorbu nových a inovací stávajících výukových materiálů je to, že učitelé nemusí vytvářet články od začátku, mohou editovat a doplňovat materiály vytvořené komunitou (nebo vytvářet články nové).

Před zapojením studentů obsahovala WikiSkripta asi 100 článků. Za tři měsíce vzrostl tento počet na 500, a za šest měsíců pak na impozantních 1000 článků. Dnes mají WikiSkripta více než deset tisíc článků z různých oborů medicíny a stále rostou (obr 13).

WikiSkripta a Mefanet jsou dnes v České republice nejnavštěvovanějším portálem pro studium medicíny (desítky tisíc zobrazených stránek denně), spontánně se rozvíjejí a integrují do sebe další projekty. Soustřeďují sdílený digitální výukový obsah lékařských fakult v České a Slovenské republice a dnes patří mezi největší evropské databáze výukového obsahu z oblasti medicíny.

**Poučení z tohoto příběhu:** Nečekejme, že mezioborovou spolupráci někdo zorganizuje ze shora, podstatná je iniciativa zdola. Příběh vzniku Khan Academy, vytvoření prvních MOOC kurzů, zrod sítě MEFANET a WikiScript je dokladem toho, že to jde.

## 7 Závěr – probudíme spícího obra?

Shrňme si poučení z pěti příběhů:

- Univerzity jsou přirozeným zdrojem mezioborové spolupráce,** a mezioborová spolupráce je významným zdrojem inovací. Bez těsné spolupráce specialistů z mnoha oborů vyučovaných na Stanfordově univerzitě by nebylo možné vytvořit první prakticky použitelné samořídící auto.
- Multioborová inovativní jádra** vznikají na jednotlivých pracovištích **při řešení konkrétních problémů.** Nejpřirozenějším generátorem multioborové spolupráce na univerzitě je zapojení odborníků z různých pracovišť univerzity (i z různých fakult) na řešení společného inovativního projektu. Příkladem je vytvoření prvního lékařského trenažéru s robotizovanou figurinou pacienta, řízenou matematickým modelem.
- V akademické sféře** mohou vzniknout **zcela průlomové inovace,** jejich rozvoj potencuje **meziuniverzitní spolupráce a zakládání malých inovačních firem** při univerzitách. Průlomovou inovací byl i jazyk Modelica, který umožnil psát program jako soustavu rovnic a hledání algoritmu jejich řešení přenechat počítači. Tento jazyk, dnes široce využívaný v programech pro počítačové konstruování, vznikl ve spolupráci švédských i dalších evropských univerzit a spolupracujících inovačních firem.
- Startupy a spin-off firmy jsou inovačními semínky,** které napomáhají univerzitě realizovat výsledky výzkumu v praxi. Spolupráce univerzit a inovačních firem má synergický efekt a je strategickým inovativním jádrem rozvoje. Vznik Silicon Valley v USA či IDEONu kolem univerzity v Lundu jsou toho příkladem.
- Nečekejme, až mezioborovou a meziuniverzitní spolupráci někdo zorganizuje shora, **podstatná je iniciativa zdola.** To, že to jde i u nás, ukazuje např. vznik sítě MEFA-NET a Wikiskript.

V České republice univerzity bohužel dosud fungují spíše jako konfederace často málo spolupracujících fakult, a inovační potenciál multioborové spolupráce není dosud dostatečně využíván. Podpora spin-off firem a startupů je přes veškeré úsilí v posledních letech nedostatečná.

Pro inovativní rozvoj má velký význam spolupráce technických a klasicky univerzitních oborů. Přední světové univerzity si to již dávno uvědomili – existuje např. široká spolupráce mezi MIT a Harvardovou univerzitou. Některé přední světové univerzity (např. Stanfordská univerzita nebo univerzita v Lundu) mají ve svém vzdělávacím portfoliu jak klasické univerzitní obory tak i technické fakulty.

V Praze je pro budoucnost klíčová meziuniverzitní spolupráce mezi Univerzitou Karlovou a ČVUT (a také s vysokými školami, které český lev ve znaku ČVUT v průběhu času poztrácel – resp. z původních fakult ČVUT vznikly samostatné vysoké školy – je to VŠCHT, VŠE a Zemědělská univerzita).

Mezioborová spolupráce napříč obory a podpora spolupráce s vývojovými podniky přitom skýtá velký inovační a rozvojový potenciál a může nejen odhalit nové možnosti univerzit, ale i významně ovlivnit i hospodářský rozvoj.

**Pražské univerzity tak obrazně připomínají spícího obra, který čeká na probuzení.**

Nečekejme, že obra vzbudí nějaký kouzelný šém seshora – vzbudit ho může pouze aktivita zdola. zdola. Nikdo jiný, než učitelé a studenti našich Alma Mater, to za ně neudělá.

## Literatura

- [1.] Thrun S, Montemerlo M, Dahlkamp H, Stavens D, Aron A, Diebel J, et al. Stanley: The Robot That Won the DARPA Grand Challenge. In: Buehler M, Iagnemma K, Singh S, editors. *The 2005 DARPA Grand Challenge: The Great Robot Race*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2007. pp. 1–43. doi:10.1007/978-3-540-73429-1\_1
- [2.] Simulační centrum KARIM 1. LF UK a ÚVN Praha. In: *Ústřední vojenská nemocnice Praha (ÚVN) [Internet]*. 2022 [cited 14 Dec 2022]. Available: <https://www.uvn.cz/cs/simulacni-centrum-karim>
- [3.] Centrum medicínských simulací - 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy. 2022 [cited 14 Dec 2022]. Available: <https://www.lf1.cuni.cz/centrum-lekarskych-simulaci>
- [4.] Simulační centrum Masarykovy univerzity. 2022 [cited 14 Dec 2022]. Available: <https://www.med.muni.cz/simu>
- [5.] Simulační centrum Západočeské univerzity. 2022 [cited 14 Dec 2022]. Available: [https://www.fzs.zcu.cz/cs/Research/Simulation\\_center](https://www.fzs.zcu.cz/cs/Research/Simulation_center)
- [6.] Simulační centrum Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Hradci králové. [cited 14 Dec 2022]. Available: <https://www.lfhk.cuni.cz/simcen/>
- [7.] Olomouc FN. Simulační medicínské centrum (SIMECE). [cited 14 Dec 2022]. Available: <https://www.fnol.cz/kliniky-ustavy-oddeleni/simulacni-medicinske-centrum-simece>
- [8.] Thoman WJ, Gravenstein D, van der Aa J, Lampotang S. Auto-regulation in a Simulator-Based Educational Model of Intracranial Physiology. *J Clin Monit Comput*. 1999;15: 481–491. doi:10.1023/A:1009998606087
- [9.] Comenius JA. *Schola ludus seu Encyclopaedia Viva*. Sarospartak; 1656.
- [10.] *Just physiology | human model charting: Pages*. [cited 15 Dec 2022]. Available: <http://justphysiology.com>
- [11.] HumMod. [cited 15 Dec 2022]. Available: <http://hummod.org>
- [12.] PVLoops LLC. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://harvi.online/site/welcome/>
- [13.] Kofránek J, Mateják M, Privitzer P. *Web simulator creation technology*. MEFANET report. 2010;3: 32–97. Available: <http://www.physiome.cz/references/mefanetreport3.pdf>

- [14.] Physiomodel - Model of physiology in Modelica based on HumMod and Physiobrary. 2015 [cited 12 Oct 2022]. Available: <https://www.physiomodel.org/>
- [15.] Physiobrary. [cited 1 Mar 2019]. Available: <http://www.physiolibrary.org/>
- [16.] Mateják M, Kofránek J. Physiomodel - an integrative physiology in Modelica. 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2015. pp. 1464–1467. doi:10.1109/EMBC.2015.7318646
- [17.] Mateják M, Kulhánek T, Šilar J, Privitzer P, Ježek F, Kofránek J. Physiobrary-Modelica library for physiology. Proceedings of the 10th International Modelica Conference; March 10-12; 2014; Lund; Sweden. Linköping University Electronic Press; 2014. pp. 499–505. Available: <http://www.ep.liu.se/ecp/article.asp?issue=096&volume=&article=052>
- [18.] Kofranek J, Matousek S, Rusz J, Stodulka P, Privitzer P, Matejak M, et al. The Atlas of Physiology and Pathophysiology: Web-based multimedia enabled interactive simulations. *Comput Methods Programs Biomed.* 2011;104: 143–153. doi:10.1016/j.cmpb.2010.12.007
- [19.] Atlas fyziologie a patofyziologie. [cited 1 Mar 2019]. Available: [http://www.physiome.cz/atlas/index\\_cz.html](http://www.physiome.cz/atlas/index_cz.html)
- [20.] Šilar J, Polák D, Mládek A, Ježek F, Kurtz TW, DiCarlo SE, et al. Development of In-Browser Simulators for Medical Education: Introduction of a Novel Software Toolchain. *J Med Internet Res.* 2019;21: e14160. Available: <https://www.jmir.org/2019/7/e14160/>
- [21.] Šilar J, Ježek F, Mládek A, Polák D, Kofránek J. Model visualization for e-learning, Kidney simulator for medical students. Proceedings of the 13th International Modelica Conference, Regensburg, Germany, March 4–6, 2019. Linköping University Electronic Press; 2019. pp. 393–402. Available: <http://www.ep.liu.se/ecp/157/040/ecp19157040.pdf>
- [22.] Kofránek J, Ježek F, Šilar J, Mládek A, Mateják M, Kulhánek T. Nová generace elektronických učebnic se simulačním jádrem. *Medsoft.* 2020;32: 63–72. doi:10.35191/medsoft\_2020\_1\_32\_63\_72
- [23.] Kofránek J, Kulhánek T. Standardizace – cesta k open source technologiím pro webové simulátory. *Medsoft.* 2021;33: 25–34. doi:10.35191/medsoft\_2021\_1\_33\_25\_34
- [24.] Kulhánek T, Mládek A, Brož M, Kofránek J. Bodylight.js web components - webové komponenty pro webové simulátory. *Medsoft.* 2021;33: 48–52. doi:10.35191/medsoft\_2021\_1\_33\_48\_52
- [25.] egolem.online. 2022 [cited 12 Oct 2022]. Available: <https://egolem.online/>
- [26.] Elmqvist H. Modelica evolution - from my perspective. Proceedings of the 10th International Modelica Conference, March 10-12, 2014, Lund, Sweden. Linköping University Electronic Press; 2014. doi:10.3384/ecp1409617
- [27.] The Modelica Association. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://modelica.org/>
- [28.] Modelica Language. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://modelica.org/modelicalanguage>
- [29.] Heinke S, Pereira C, Leonhardt S, Walter M. Modeling a healthy and a person with heart failure conditions using the object-oriented modeling environment Dymola. *Med Biol Eng Comput.* 2015;53: 1049–1068. doi:10.1007/s11517-015-1384-6
- [30.] Wolfram System Modeler: Modeling, Simulation & Analysis. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://www.wolfram.com/system-modeler/>
- [31.] Modelica Language Specification, version 3.5. Available: <https://modelica.org/documents/MLS.pdf>
- [32.] Simcenter Amesim. In: Siemens Digital Industries Software [Internet]. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/simcenter-amesim.html>
- [33.] MapleSoft - Software for Mathematics, Online Learning, Engineering. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://www.maplesoft.com/>
- [34.] Bastian J, Enge-Rosenblatt O, Schneider P. MOSILAB—a Modelica solver for multiphysics problems with structural variability. Conference on Multiphysics Simulation-Advanced Methods for Industrial Engineering. *academia.edu*; 2010. Available: [https://www.academia.edu/download/43553633/MOSILAB\\_-\\_a\\_Modelica\\_solver\\_for\\_multiphysics20160309-6617-1fmc0zp.pdf](https://www.academia.edu/download/43553633/MOSILAB_-_a_Modelica_solver_for_multiphysics20160309-6617-1fmc0zp.pdf)
- [35.] ESI Group. SimulationX - System Simulation Software. In: ESI Group [Internet]. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://www.esi-group.com/products/system-simulation>
- [36.] OpenModelica. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://www.openmodelica.org/>
- [37.] Open Source Modelica Consortium. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://openmodelica.org/home/consortium>
- [38.] Creative connections. [cited 23 Mar 2018]. Available: <http://www.creativeconnections.cz/>
- [39.] Laboratoř biokybernetiky a počítačové podpory výuky. In: Laboratoř biokybernetiky a počítačové podpory výuky [Internet]. [cited 15 Dec 2022]. Available: <http://www.physiome.cz/cs/>
- [40.] Mateják M, Ježek F, Tribula M, Kofránek J. Physiobrary 2.3-An Intuitive Tool for Integrative Physiology. *IFAC-PapersOnLine.* 2015;48: 699–700. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Marek-Matejak/publication/281527992\\_Physiobrary\\_23\\_-\\_An\\_Intuitive\\_Tool\\_for\\_Integrative\\_Physiology/links/55f29ed608ae0af8ee1f906d.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marek-Matejak/publication/281527992_Physiobrary_23_-_An_Intuitive_Tool_for_Integrative_Physiology/links/55f29ed608ae0af8ee1f906d.pdf)
- [41.] Matejak M, Tribula M, Ježek F, Kofranek J. Free Modelica Library for Chemical and Electrochemical Processes. Proceedings of the 11th International Modelica Conference, Versailles, France, September 21-23, 2015. Linköping University Electronic Press; 2015. pp. 359–366. Available: <http://www.ep.liu.se/ecp/article.asp?issue=118&volume=&article=38>
- [42.] Physiomodel. [cited 14 Feb 2019]. Available: <http://www.physiomodel.org/>
- [43.] Ježek F, Tribula M, Kulhánek T, Mateják M, Privitzer P, Šilar J, et al. Surviving sepsis - a 3D integrative educational simulator. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2015;2015: 3679–3682. doi:10.1109/EMBC.2015.7319191
- [44.] Mateják M. Formalization of Integrative Physiology. Charles University in Prague. Ph.D. dissertation. Kofránek J, advisor. Charles University. 2015. Available: <https://github.com/MarekMatejak/dissertation/blob/master/thesis.pdf>
- [45.] Ježek F. Model of circulatory, blood gases transport and acid-base for medical simulators and intensive care clinical aid system. Ph.D. dissertation. Lhotská L, Kofránek J, advisors. Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering. Available: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/81484/F3-D-2019-Jezek-Filip-DctoralThesis-FilipJezek-MainText.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [46.] Šilar J. Modelica in physiological modelling. Ph.D. dissertation. Kofránek J, advisor. Charles University. 2019. Available: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/108819/140078513.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [47.] Hubený J. Zkrachovalý Technopark Pardubice chce jeho nový majitel rozšířovat. In: *iDNES.cz* [Internet]. 1 Dec 2016 [cited 15 Dec 2022]. Available: [https://www.idnes.cz/pardubice/zpravy/technopark-pardubice.A161201\\_2289683\\_pardubice-zpravy\\_jah](https://www.idnes.cz/pardubice/zpravy/technopark-pardubice.A161201_2289683_pardubice-zpravy_jah)
- [48.] Khan Academy. In: Khan Academy [Internet]. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://www.khanacademy.org/>
- [49.] Bill Gates' favorite teacher. 23 Aug 2010 [cited 15 Dec 2022]. Available: [https://archive.fortune.com/2010/08/23/technology/sal\\_khan\\_academy.fortune/index.htm](https://archive.fortune.com/2010/08/23/technology/sal_khan_academy.fortune/index.htm)
- [50.] Khanova škola. In: Khanova škola [Internet]. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://khanovaskola.cz/>
- [51.] Russell PN. Artificial Intelligence: A Modern Approach by Stuart Russell and Peter Norvig contributing writers, Ernest Davis [et al]. 2010. Available: <https://www.academia.edu/download/61853459/Artificial-Intelligence-A-Modern-Approach-3rd-Edition-by-Stuart-Russell-Peter-Norvig20200121-107745-13gd7bj.pdf>
- [52.] Abu AB. Learning Artificial Intelligence clip by clip: Post class reflections on the first online Norvig-Thrun-Stanford-Know Labs Artificial Intelligence course. *Frontiers in Education Conference (FIE), 2012. IEEE;* 2012. pp. 1–7. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6462298/>

*Jiří Kofránek*

- [53.] Udacity. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://www.udacity.com/>
- [54.] Coursera. In: Coursera [Internet]. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://www.coursera.org/>
- [55.] edX. In: edX [Internet]. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://www.edx.org/>
- [56.] Mefanet. [cited 15 Dec 2022]. Available: <https://www.mefanet.cz/>
- [57.] Štuka Č, Vejražka M, Kajzar P, Kofránek J. Wikiskripta. Medsoft. 2016;28: 169–178. Available: <http://www.creativeconnections.cz/medsoft/2016.html>
- [58.] Wikiskripta. [cited 12 Dec 2022]. Available: <https://www.wikiskripta.eu/w/Home>

**Kontakt**

**doc. MUDr. Jiří Kofránek, CSc.**  
Oddělení biokybernetiky  
Ústav patologické fyziologie 1. LF UK  
[kofranek@gmail.com](mailto:kofranek@gmail.com)  
+420 777 68 68 68



## HEALTHWARDEN – SMART POST-TREATMENT REMOTE MONITORING TOOL

Tomáš Kouřim, Marek Polák, Jan Skála, Anastasia Surikova, Lukáš Forst, Alžběta Kouřimová, Nikola Zadorozhny

### Abstract

Rising population, its aging and in the same time increasing live standards all around the world put extreme demands on the entire healthcare system. At the same time, advancing digitalization opens new opportunities also for the healthcare system with telemedicine and remote healthcare on the rise.

One of the areas that can be handled by digital medicine is post-treatment care. It is usually well-defined with standardized guidelines and well-described best practices. HealthWarden is a modern post-treatment remote monitoring tool that allows for early discharge from the hospital, lower readmission rates, and helps patients achieve the best clinical results. The key benefits and features of HealthWarden are introduced in this paper, as well as its technical solution, integrability, deployment, and other technical and medical aspects.

### Keywords

healthcare, remote monitoring, application, mobile, communication, hospital, FHIR, telemedicine, remote healthcare, telemedicine

### 1 Introduction

Rising population, that has recently reached 8 billion people<sup>1</sup>, and its rising age (in the year 2022 10% of people is over the age of 65, this number is predicted to reach 16% by the year 2050<sup>2</sup>) lead to increased demands for medicine. This is further amplified by the increasing expectations of the ever more informed patients expecting a smoother experience in all medical encounters, be it a physician's checkup, stay at the hospital, or aftercare treatment. This all puts extreme pressure on the entire healthcare system.

On the other hand, digital technology advancement creates more opportunities for digital healthcare, yet those opportunities remain mostly unused. The digitalization of healthcare thus stays as one of the greatest challenges of our era.

One of the areas where a digital solution could bring a significant advantage is post-treatment care and patient monitoring. During this time the patient often has a clear and straightforward care plan set out by the treatment itself, the patient's condition and comorbidities, and also by the needs of the healthcare institution providing the treatment to the patient. There are also usually well-described potential complications connected with the treatment itself or with the medications the patient is supposed to take. Adherence to the care plan leads to clinically optimal results, with low readmission rates, low complications occurrence, and generally best results for the patients. However, in standard conditions, this adherence is only ensured by the compliance of the patient and only checked during regular but not so frequent checkups with the physician.

The compliance of the patients is generally low. This can be often caused simply by the fact that the patient does not remember the care plan exactly, studies<sup>34</sup> show that the patient only remembers a fraction of what the doctor says. The effectiveness of regular checkups is again affected by the patient's compliance and memory. Non-compliant patients do not tell the doctor the (entire) truth (or even skip the checkups entirely), all patients are then affected by the so-called recall bias when asked about adherence to the care plan, symptoms,

complications, etc. This can lead to severe complications or even death of the patient if the problems are not reported and treated fast enough.

One solution to these problems is increasing the frequency of checkups and the time doctors spend with the patients explaining the care plan and possible complications. This is, however, not feasible, especially from an economical point of view. Another option is the digitalization of post-treatment care.

The paper is structured as follows. Section 2 describes the HealthWarden tool, focusing on its technical details, integrability, security, and extensibility. Section 3 presents possible further development of HealthWarden, and the last section concludes this paper.

## 2 HealthWarden

### 2.1 Description

HealthWarden is a mobile and web application that guides patients through their post-treatment<sup>5</sup> care. The mobile application is designated for patients while the web-based part is operated by doctors or other healthcare professionals. The application is given to the patient similarly as medications are given and contains a specific care plan, which depends on the treatment, providing institution/doctor, and the patient himself. HealthWarden then precisely exercises the care plan, collects relevant data, and checks it for potential problems. The care plan consists of two major components. Continuous vitality monitoring and virtual ward rounds. A simple diagram of the tool is depicted in Figure 1.

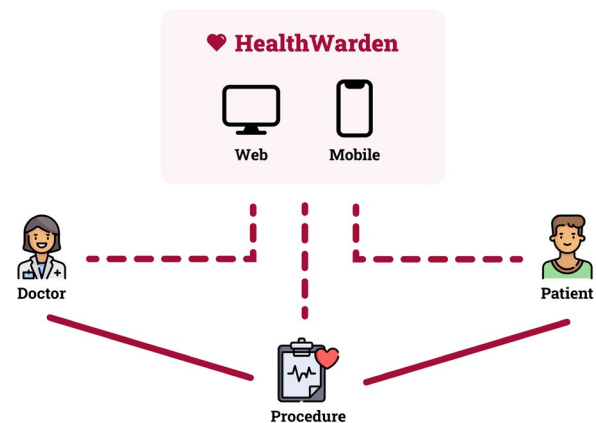


Figure 1 – HealthWarden diagram

#### 2.1.1 Vitality Monitoring

The application can monitor several vitality indicators. By default, 5 indicators are monitored (steps, hydration, sleep, heartbeat, and blood pressure) while others (oxygen saturation, glycemia, calorie intake, weight, stool, etc.) can be added on demand. The indicators can be collected automatically from wearable devices (smart watch, heart rate monitor, ...) or other smart devices (bluetooth enabled blood pressure monitor, smart scales, ...) or collected manually by the patient.

The care plan contains the required frequency of data collection. If the data is not collected automatically and the patient does not input it on time, the application prompts the patient to fill in the required information. The care plan also contains desired ranges of the controlled indicators, which are shown to the patient for motivational reasons, and alert rules with different severity that can be triggered if the patient does not stick to the care plan. For example, if the patient does not fill in hydration for 3 consecutive days, it can trigger a low-severity alert.

If the heart rate obtained from a smartwatch is over 180 bpm for more than 10 minutes, it can trigger a high-severity alert. The doctor can, based on the clinical conditions, specify what each alert means. It can be an in-app notification, an email sent to designated addressees, or an SMS sent to the treating doctor.

### 2.1.2 Virtual Ward Rounds

The application introduces a concept called virtual ward round. Similarly to a regular ward round, it contains a set of checks, questions for the patient, and actions to be taken. Virtual ward rounds can be assigned to patients. There are two types of virtual ward rounds, one-time and regular. As the name suggests, a one-time ward round has only one occurrence, while a regular ward round can repeat multiple times. Virtual ward rounds offer an ideal tool for healthcare professionals to prepare and schedule predefined examinations which the patients can perform simply by using their mobile phone.

When a virtual ward round is due, the application notifies the patient to start the virtual ward round. The virtual ward round can contain an arbitrary number of checks, questions, and actions.

The checks consist of vitality checks performed additionally on top of the regular vitality monitoring. An example of such a check can be an extra blood pressure measurement or a heart rate measurement in a specific position (lying down, standing), etc.

Questions are grouped into questionnaires. The goal of the questionnaire is to perform a basic interview with the patient and find possible changes in the patient's condition. A questionnaire is defined by a set of questions. The healthcare professional managing HealthWarden can choose one question as a starting point. Each question can contain one or more answers. A transition can be defined between an answer and another question from the same questionnaire. This manages the way the patients navigate through the questionnaire when answering it.

Actions are a special type of user interaction. With actions, patients can track medication intake, be prompted to exercise or take a photo of an injury for further inspection by the doctor.

Similarly as in vitality monitoring, virtual ward rounds can also contain a set of rules to trigger alerts with different severity. These rules can be linked to the checks (for example specific check results can trigger specific alerts), questionnaires (for example certain answers to certain questions can trigger an alert), and actions (for example failure to fulfill an action can trigger an alert). Again, the managing healthcare professional has to specify what follow-up actions are connected with each alert based on the clinical conditions, as well as whether the doctor or the patient is alerted.

### 2.1.3 Web Application

The web application is designed to be used by doctors and other healthcare professionals. Its main purpose is to administer the care plan of each individual patient and check their progress. The main page contains a list of patients ordered by the severity of the alert triggered (the ordering can be changed), i.e., patients needing attention are listed first.

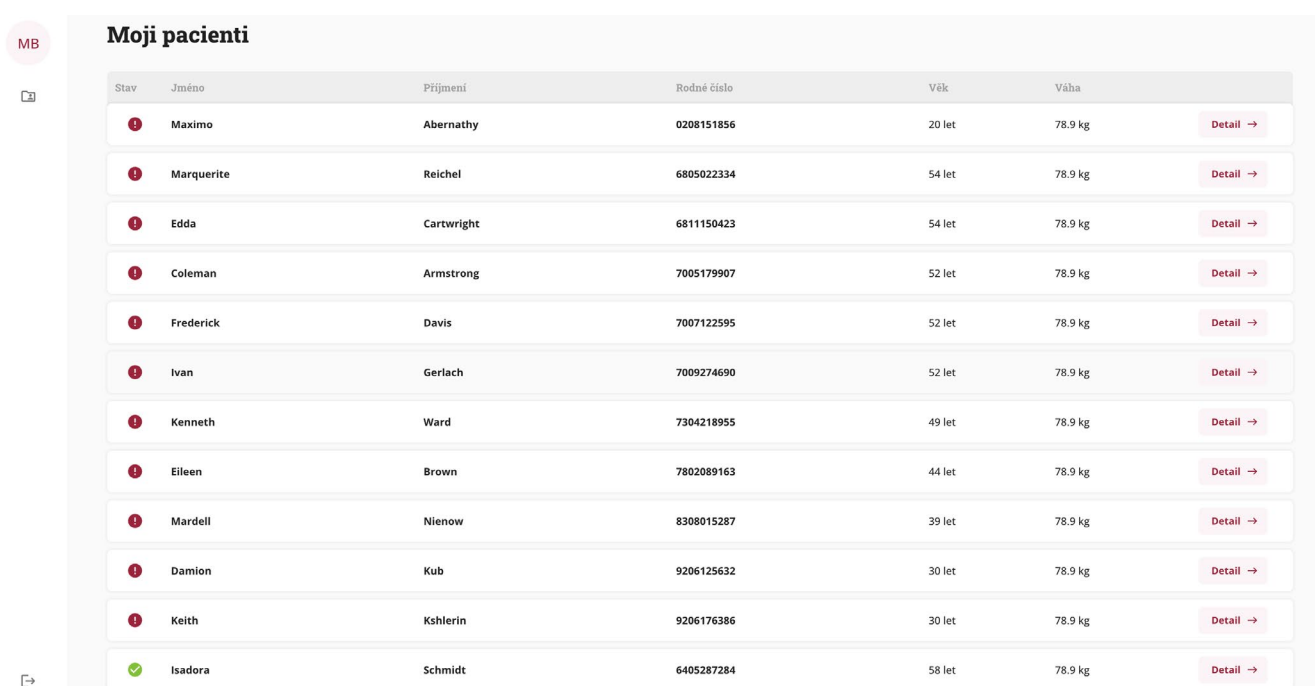
Doctors can then navigate to the patient detail page where they can see more information about the patient, results of vitality monitoring and virtual ward rounds. This view also serves as the general setting point for each individual patient. Tracked vitality indicators as well as their target values can be set and altered here, virtual ward rounds can be created, added, or edited from this patient detail page either using a ward round wizard or selecting from templates.

The last part of the web application is a side panel containing a patient's care overview. Here the patient's progress in an organized summary can be observed. It starts with the daily vitality, which shows whether the patient met the required goal or not, followed by events that are ordered chronologically. The events contain information about which questionnaires have been answered by the patient or which actions have been taken.

Screenshots from the web application can be seen in Images 1 and 2.

### 2.1.4 Mobile Application

The mobile application is the only part of HealthWarden that interacts with patients. We designed it with the often elderly and



Stav	Jméno	Příjmení	Rodné číslo	Věk	Váha	
🔴	Maximo	Abernathy	0208151856	20 let	78.9 kg	Detail →
🔴	Marquerite	Reichel	6805022334	54 let	78.9 kg	Detail →
🔴	Edda	Cartwright	6811150423	54 let	78.9 kg	Detail →
🔴	Coleman	Armstrong	7005179907	52 let	78.9 kg	Detail →
🔴	Frederick	Davis	7007122595	52 let	78.9 kg	Detail →
🔴	Ivan	Gerlach	7009274690	52 let	78.9 kg	Detail →
🔴	Kenneth	Ward	7304218955	49 let	78.9 kg	Detail →
🔴	Eileen	Brown	7802089163	44 let	78.9 kg	Detail →
🔴	Mardell	Nienow	8308015287	39 let	78.9 kg	Detail →
🔴	Damion	Kub	9206125632	30 let	78.9 kg	Detail →
🔴	Keith	Kshlerin	9206176386	30 let	78.9 kg	Detail →
🟢	Isadora	Schmidt	6405287284	58 let	78.9 kg	Detail →

Image 1 – Web application homepage with a list of patients

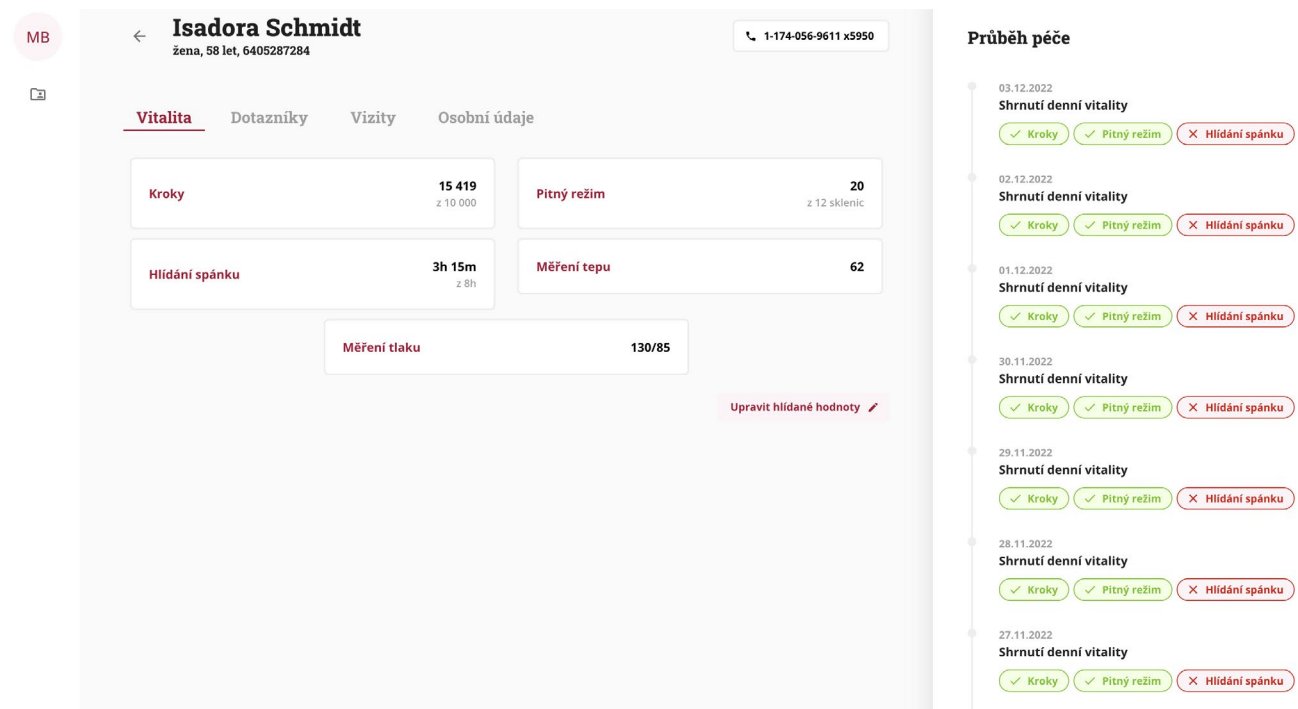


Image 2 – Detail of a patient

less digitally literate users in mind and it thus contains only the core functionality for achieving the required results.

After logging in, patients can see the daily vitality monitoring overview. The charts inform them about how much is left to meet their targets. Automatically collected as well as manually inputted data are shown here.

The top section of the homepage is dedicated to notifications. Users are reminded about pending virtual ward rounds that need attention. Patients who decide to undergo a ward round are navigated to a ward round wizard. After that, they are guided through all questionnaires that were selected for the ward round and requested to perform the required actions and checks.

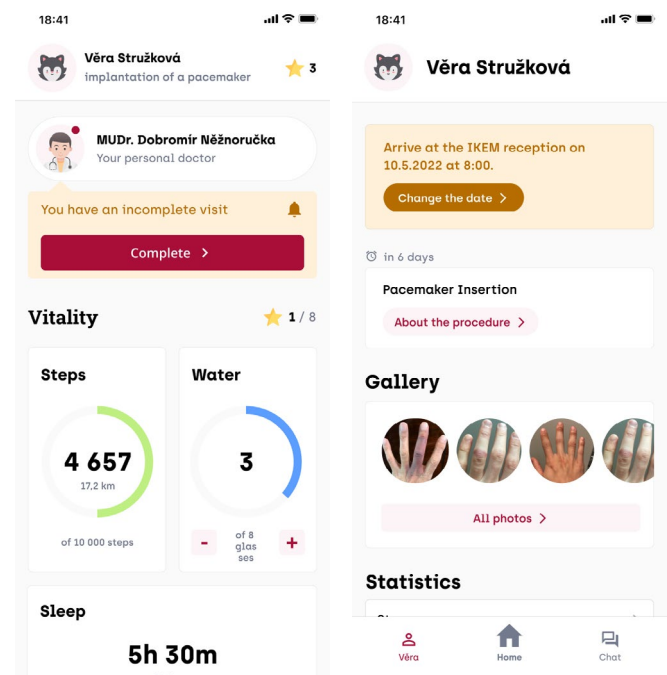
On the profile page of the application, the patients can also view the statistics about their vitality monitoring progress, past virtual ward rounds, their answers to questions, or actions taken. An informational/educational section is also available in the application, where users can find useful information about their care plan, the treatment they have undergone, or general information from healthcare professionals.

Images 3, 4, 5, and 6 show screenshots of the application.

## 2.2 Key Benefits

HealthWarden is a tool that helps doctors to apply the best care for their patients by guiding the patient through that care step by step. It also controls patients' progress in the post-treatment phase and helps identify those who might develop complications. This allows the doctors to discharge their patients from the hospital earlier and on the other hand lowers the readmission rate. This then lowers the costs of the hospital and the healthcare system in general. HealthWarden also helps to ease the administrative load connected with post-treatment care, further reducing hospital expenditures.

The key benefit for the patient is the improved and optimized care delivered to the patient. By lowering the time spent in hospital and the readmission rates, HealthWarden increases the capacity of hospitals, which then again benefit the patients as the care becomes more accessible

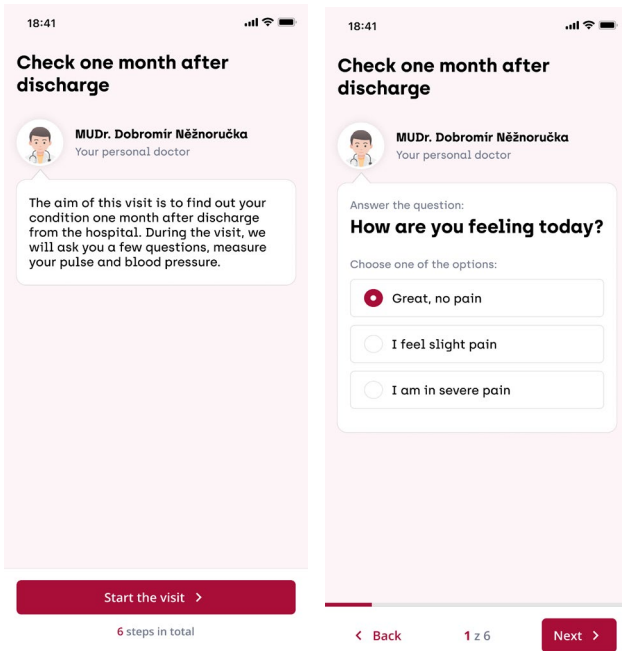


Images 3, 4 – Mobile application homepage and patient detail

## 2.3 Architecture

Application architecture follows common standards and best practices widely used in modern application design. We designed the solution as a client-server model, where the server is a REST-based web service for processing requests from the clients. The first client is a web application that is used by doctors while the second one is a mobile application that is intended for patients. The interface of the server is well documented and other clients can thus be added with ease. It also allows hospital systems to directly and easily communicate and integrate with the server.





Images 5, 6 – Virtual ward round

The design also respects principles of dependency inversion, which means that no external dependency is referenced directly, but abstraction is used instead. This makes all dependencies interchangeable if the need arises.

The architecture schema of the application can be seen in Figure 2.

## 2.4 Technical Solution

### 2.4.1 Backend

The application backend is written in Kotlin<sup>6</sup> using Spring framework<sup>7</sup> with PostgreSQL<sup>8</sup> as a database. It follows the principles of n-tier architecture. The code base is divided into three layers: data access layer, business layer, and presentation layer. Every layer communicates with the adjacent one only.

The data access layer contains database entities and repositories, together with a set of predefined queries. The communication between the database and the application is realized through Java Persistence API<sup>9</sup> and Hibernate<sup>10</sup>.

The business layer contains a set of services that handle most of the application logic. All service methods are executed within a single database transaction and thus enforce atomicity and consistency<sup>11</sup> for each performed operation. Communication between the data access layer and presentation layer is achieved using data transfer objects (DTOs), plain objects without any inner functionality, that only carry data.

The presentation layer is a Web API with a set of controllers and endpoints following the principles of REST<sup>12</sup>. Every endpoint is documented with a summary, the expected format of a request, and the expected format of a response. The application also provides OpenAPI Specification<sup>13</sup> that documents the application interface. The documentation is also machine-readable and client code can be easily generated.

The codebase is also covered with automatic tests written in JUnit<sup>14</sup> and AssertJ<sup>15</sup>. The dominant part of testing are so-called integration tests. During these tests, the application is started together with a database. Tests contain three parts: arrange, act

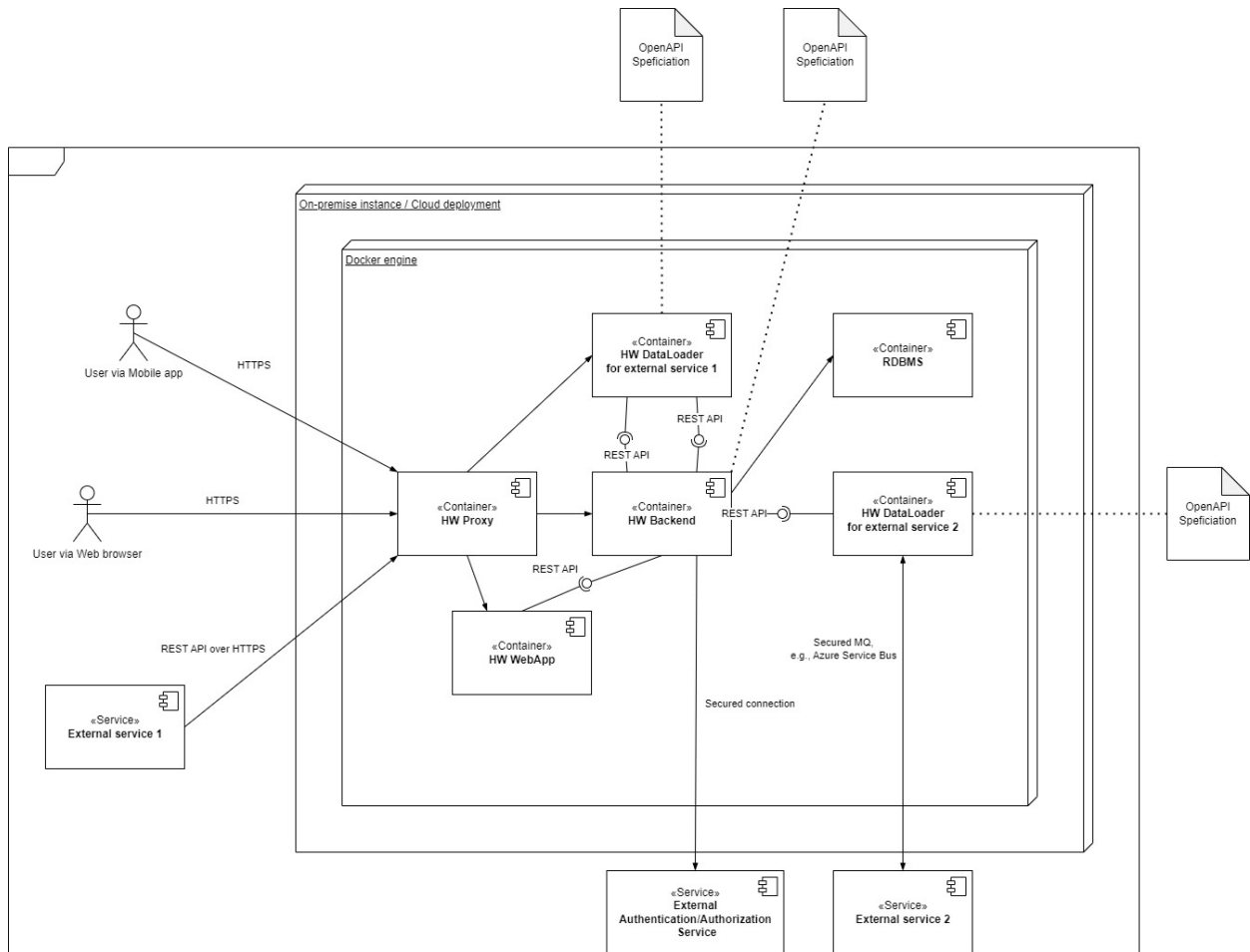


Figure 2 – HealthWarden architecture

and assert. During the arrange part, the system is prepared for testing by seeding the database with initial data. In the act part, the functionality being tested is executed. Finally, during the assert part, it is verified that the system ended up in the desired state. Tests are executed during every pull request. A branch cannot be merged unless all tests pass and at least one reviewer approves it.

#### 2.4.2 Web Application

The web application is written using the React<sup>16</sup> framework. It communicates with the mentioned application backend through HTTPS protocol. The application is optimized to run on Chrome, Firefox, Microsoft Edge, and Safari in their last major versions, however, it should run without problems in any browser with a market share of over 0.2%, excluding Opera Mini and deprecated browsers.

#### 2.4.3 Mobile Application

A hybrid development approach was chosen, which allows to build a multiplatform mobile application using a single codebase. The application is thus available for both Android and iOS devices. The application is built upon React Native CLI<sup>17</sup> for easier integration with the smartphone's native features. HealthWarden application can read data from the health data providers like Apple HealthKit<sup>18</sup>, Google Fit<sup>19</sup>, Garmin Connect<sup>20</sup>, and Samsung Health<sup>21</sup>. This integration is crucial for automated vitality monitoring.

### 2.5 Security

Security attacks are on the rise and personal data is one of the most valuable targets. HealthWarden was designed from the ground up with security and privacy in mind. Industry-standard authentication mechanisms were employed for authentication and authorization, especially keeping OWASP Top Ten<sup>22</sup> in mind.

The basic version of the application, without any integration, offers user authentication against the internal database. User passwords are never stored in plaintext, but rather hashed using a state-of-the-art bcrypt<sup>23</sup> algorithm that prevents password leakage even in an unlikely event of a database compromise. Optionally it is possible to enable multi-factor authentication using email, SMS, or using any application that is able to generate time-based codes. MFA codes are then generated by the standard TOTP algorithm (RFC 6238)<sup>24</sup>.

After successful authentication, the server issues a signed JWT (RFC 7519)<sup>25</sup>, that allows a specific user to access the application data.

On the implementation layer, the server utilizes best practices by using industry-standard libraries such as Spring Security framework<sup>26</sup>. This ensures the correctness of all cryptography and security-sensitive operations.

The HealthWarden architecture was designed with interoperability in mind, allowing it to employ a wide range of authentication and authorization techniques and to seamlessly integrate into any authentication system that is used by the end client (typically a hospital). Moreover, the design allows for adding additional security measures when needed.

#### 2.6 Integrability

As mentioned above in the Architecture section, thanks to the initial application design, it is possible to integrate the entire solution into various types of environments, such as internal hospital networks, publicly available web servers, or cloud providers.

Each service of the application is distributed as a standalone Docker<sup>27</sup> container and/or library or OpenAPI specification. This solution introduces the possibility to implement clients that communicate with applications in various technologies and programming languages.

The common problem for almost every application is the integration with other applications, such as hospital information systems. When two systems model the same concept, they often achieve so with a different set of entities or a different set of attributes. This introduces incompatibility between these two systems. One of these systems then has to introduce an integration code that overcomes this incompatibility.

The integration mechanism used in HealthWarden is called Data Loader. It is a standalone web service separated from the main application code. It has a defined interface that adds a level of indirection between HealthWarden and abstracts away the particularity of the integrated information system (typically an electronic healthcare record system). This approach allows multiple data loaders at the same time without the need to change the main application code when deploying to the new environment.

The solution is well integrated with a healthcare data format called HL7 FHIR<sup>28</sup>. Application data are synchronized incrementally in frequent intervals from the application database into FHIR resources on the FHIR server. This allows seamless integration between HealthWarden and any institution that uses FHIR already. Resources that are transferred during the synchronization are Patient, Questionnaire, and Questionnaire Response. Every Questionnaire Response is then interlinked with the Patient and parent Questionnaire. The mapping of resources is strictly limited to built-in attributes introduced in the mentioned data standard. Data provided by HealthWarden are identified by the presence of HealthWarden system identifier<sup>29</sup> in mentioned resources, which is a common practice for third-party solution providers.

Additional FHIR resources, namely Encounter<sup>30</sup>, Observation<sup>31</sup>, and CarePlan<sup>32</sup>, will be added as well. Encounter is an equivalent of HealthWarden ward round occurrence. It can be linked to multiple FHIR Questionnaires signaling that they were answered within a single ward round occurrence. HealthWarden ward round, on the other hand, can be perceived as CarePlan. This is suitable for plans following specific practice guidelines. Last but not least is the Observation. This resource is suitable for storing measured data from wearables, which makes it ideal for storing vital monitoring data of a patient. After implementing all three mentioned resources, all data produced by HealthWarden will be available on the integrated FHIR server.

The architecture design allows adding custom integrations easily. For example, a Czech hospital currently using HealthWarden required following custom integrations. The hospital's employees are using a custom authentication system and thus their private data, including password hashes, are not stored on the HealthWarden's database server, but rather HealthWarden passes authentication requests to the hospital's internal authentication system through a message queue. This way, hospital employees do not need additional accounts and can use the same usernames and passwords as in their other systems.

The second integration used in the hospital is SeaCat<sup>33</sup>. HealthWarden uses SeaCat technology that employs mutual TLS authentication<sup>34</sup> between the application and the on-premise servers through the hospital's proxy. This allows administrators to have a better outlook on which devices are connecting to the servers and be able to restrict or allow access when needed.

These are just two examples of many integrations that can be developed and distributed on a case-by-case basis.

## 2.7 Deployment and Scalability

The application can be deployed both on-premise and in the cloud. There are no system/architecture limitations as the application can be easily containerized and deployed on any containerization platform, such as Docker.

As of now, the server is distributed as multiple Docker images allowing maximal flexibility. Moreover, using Docker images guarantees that the application behaves the same during each deployment in any environment. However, when there's more flexibility needed, HealthWarden can be deployed directly as a set of WAR deployments<sup>35</sup> to existing compatible servers.

Moreover, thanks to HealthWarden's architecture, the server is stateless and all data and state are persisted in the database. This allows the horizontal replication of the server instances in order to ensure high availability across many servers in any situation.

The usage of Docker containers and Traefik reverse proxy for TLS termination<sup>36</sup> and load balancing is recommended.

## 2.8 Extensibility

The basic focus of HealthWarden is on cardiovascular procedures, especially TAVI<sup>37</sup>, electrical cardioversion<sup>38</sup>, catheter ablation<sup>39</sup>, or even as a follow-up for patients who encountered a myocardial infarction<sup>40</sup>. It has built-in protocol templates and care plans for the post-treatment of these procedures. However, the application is fully modular and customizable, and adding new protocols and care plans is easy and straightforward. It is also possible to extend the number of monitored vitality indicators. The application can read any available data from native smartphone health providers. Thus HealthWarden can be extended for a large number of procedures and treatments and can serve a large number of patients.

Additional parts of the application can be added in the future. Educational materials, community support, or even a social-networking between patients with the same diagnoses can be integrated within the HealthWarden application.

HealthWarden is also extendable in a sense of its seamless integration into hospitals' information systems. Thanks to the modularity of the backend part, it is no problem to add another module that will connect to a hospital's database or other services.

## 2.9 Direct and Indirect Costs

The direct costs connected with HealthWarden are the cost of the infrastructure, support, and license fee. The infrastructure costs depend on the size of the hospital and the number of patients actively using HealthWarden simultaneously, which then yields the hardware requirements. Deployment type (on-premise or in the cloud) is also crucial when estimating the costs. However, the hardware requirements of HealthWarden are low in general.

Support can be provided on different levels and availability, including a 24/7 L3 support<sup>41</sup>. The cost of the support depends on the specific conditions of the partner institution, with the same holding also for the license fee.

One of the possible drawbacks of tools like HealthWarden are the indirect costs connected with such tools. Those costs consist mainly of the increased demands put on doctors, nurses, and other healthcare professionals and hospital staff in general. This is not the case with HealthWarden.

One of the key features of HealthWarden is giving the doctor full control over the tool when needed while being able to function independently requiring zero or just absolutely minimal intervention from the doctor. Of course, there is some initial setup and fine-tuning of all care plans, alerts, templates,

etc., but once everything is set up, HealthWarden can run on its own without putting any extra demands on the doctor. It is recommended that a nurse or an administrative worker actively manages HealthWarden, which creates some additional administrative work, but at the same time, HealthWarden releases much of the administrative workload currently put on nurses and administrative workers, so the net asset on administrative work is positive. Altogether, HealthWarden has minimal indirect costs which are more than balanced by the significant direct benefits of HealthWarden.

## 3 Current State and Further Development

At the moment, HealthWarden is in a beta testing phase. It is being deployed in one hospital in the Czech Republic for testing and initial fine-tuning of the application, while a clinical study is being prepared. This phase is supposed to take about half a year, after which the first fully working version of HealthWarden should be released.

### 3.1 Further Development

In the current state, HealthWarden is simply a tool helping doctors exercise their standard care more effectively. The entire application behavior depends on doctors' decisions. All virtual ward rounds, vitality monitoring, alerts, and just the entire workflow of the application are based on doctors' decisions and the doctors are responsible for the correct setup of cure plans. This allows for maximal transparency of HealthWarden's behavior, which is crucial from the legal and patient safety point of view. However, the potential of HealthWarden goes far beyond that. With the help of artificial intelligence, HealthWarden can not only ensure the most effective care by the current standards, but it can also improve those standards.

There are three major areas where AI can help significantly improve HealthWarden. The first is the creation of the cure plan itself. When creating it, the doctors use their best knowledge and optimal methods as applied in clinical practice. However, these methods are, by their definition, rather general and non-personalized. Doctors can use guidelines that are recommended for a given age group, sex, comorbidities, etc., but they are, as humans, not able to create personalized cure plans for each patient. On the other hand, a machine is. Based on historical results, an AI-powered tool can create personalized cure plans for each individual patient that can optimize the results for that particular patient, further increasing the beneficial effect of HealthWarden.

This can be further improved by dynamically updating the cure plan during the treatment using the concept of adaptive testing<sup>42</sup>. This concept examines patients' results on the fly and based on those results updates the future cure plan. It can then for example modify the frequency of virtual ward rounds, add some extra questions, or drop those questions that are not necessary anymore. This can help not only to further optimize the care for each patient but also improve the adherence of the patients, as this dynamic optimization will in most cases lead to a simplified cure plan with fewer demands on the patient.

Last but not least, a concept known as anomaly detection<sup>43</sup> can be extremely useful when treating patients, especially when identifying possible complications. In this concept, a large amount of data is examined and searched for those that can be labeled as anomalous. In the case of HealthWarden, patients with such an anomaly can potentially develop complications. Early detection of such patients and their proper examination by a doctor can then prevent such complications to happen.

The development of the above-mentioned advanced features is non-trivial not only from the technical point of view



but also from the medical and ethical point of view. Modern AI methods, such as neural networks, often do not allow for easy and clear interpretation of their results and their recommendations and thus often resemble a black box. It is thus essential to thoroughly test all such methods and perform robust clinical studies to make absolutely sure that no harm to the patients will be caused.

#### 4 Conclusion

In this paper we presented HealthWarden, an innovative solution that helps doctors discharge patients earlier from the hospital, lower the readmission rates, release the administrative load from nurses and non-medical hospital staff, and most importantly, help patients achieve the best possible clinical results.

It focuses on post-treatment care, as this is a well-described and documented part of medicine with clear guidelines and acknowledged best practices. It introduces a concept of a virtual ward round when the patient is guided through simple tasks, checks, and questions similar to a real ward round. This concept helps to increase the adherence to the treatment of the patients while monitoring their progress at the same time.

In the paper, the current state of the application was described and future plans were introduced. The tool has entered into the beta testing phase, which should last about half a year. This time will be used to fine-tune the application and optimize it so that it can bring its full benefits to a number of hospitals not only in the Czech Republic and to improve healthcare in general.

#### References

- [1.] United Nations 2022 Revision of World Population Prospects <https://population.un.org/wpp/>.
- [2.] World Population Prospects 2022: Summary of Results <https://www.un.org/development/desa/pd/content/World-Population-Prospects-2022>.
- [3.] Sinbukhova, Elena & Shimanskiy, V. & Tanyashin, S. & Shevchenko, K. & Poshataev, Vladimir & Abdurakhimov, F. & Lubnin, A.. (2022). Remembering what the doctor said: how much of medical information will the patient remember?. *Russian journal of neurosurgery*. 23. 50-60. 10.17650/1683-3295-2021-23-4-50-60.
- [4.] Kessels RP. Patients' memory for medical information. *J R Soc Med*. 2003 May;96(5):219-22. doi: 10.1177/014107680309600504. PMID: 12724430; PMCID: PMC539473.
- [5.] In some cases, HealthWarden can be employed even before the treatment to help the patients prepare for it correctly, thus the label "post-treatment" can be a bit confusing.
- [6.] Kotlin - programming language <https://kotlinlang.org/>
- [7.] Spring framework <https://spring.io/projects/spring-framework>
- [8.] PostgreSQL <https://www.postgresql.org>
- [9.] Java Persistence API <https://www.oracle.com/java/technologies/persistence-jsp.html>
- [10.] Hibernate <https://hibernate.org/>
- [11.] Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management by Thomas Connolly and Carolyn Begg - [https://www.researchgate.net/publication/228831514\\_Database\\_systems\\_A\\_practical\\_approach\\_to\\_design\\_implementation\\_and\\_management](https://www.researchgate.net/publication/228831514_Database_systems_A_practical_approach_to_design_implementation_and_management)
- [12.] REST - REpresentational State Transfer - <https://restfulapi.net/>
- [13.] OpenAPI Specification - <https://swagger.io/specification/>
- [14.] JUnit - <https://junit.org/junit5>
- [15.] AssertJ - <https://joel-costigliola.github.io/assertj>
- [16.] React <https://reactjs.org/>
- [17.] React Native <https://reactnative.dev/>
- [18.] Apple HealthKit <https://developer.apple.com/documentation/healthkit>
- [19.] GoogleFit <https://www.google.com/fit/>
- [20.] GarminConnect <https://www.garmin.com/en-US/p/125677>
- [21.] Samsung Health <https://www.samsung.com/cz/apps/samsung-health/>
- [22.] OWASP Top Ten <https://owasp.org/www-project-top-ten/>
- [23.] bCrypt - [https://www.usenix.org/legacy/events/usenix99/provos/provos\\_html/node1.html](https://www.usenix.org/legacy/events/usenix99/provos/provos_html/node1.html)
- [24.] TOTP: Time-Based One-Time Password Algorithm - <https://www.ietf.org/rfc/rfc6238.txt>
- [25.] JSON Web Tokens (JWT) - <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7519>
- [26.] Spring Security - <https://spring.io/projects/spring-security>
- [27.] Docker - <https://www.docker.com>
- [28.] Fast Healthcare Interoperability Resources <https://hl7.org/fhir/>
- [29.] FHIR identifier <https://www.hl7.org/fhir/datatypes.html#Identifier>
- [30.] FHIR Encounter - <https://build.fhir.org/encounter.html>
- [31.] FHIR Observation - <https://build.fhir.org/observation.html>
- [32.] FHIR CarePlan - <https://build.fhir.org/careplan.html>
- [33.] SeaCat, Cyber-security and data privacy platform for mobile and IoT applications - <https://teskalabs.com/products/seacat>
- [34.] Siriwardena, P. (2014). Mutual Authentication with TLS. In: *Advanced API Security*. Apress, Berkeley, CA. - [https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6817-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6817-8_4)
- [35.] JavaTM Servlet 2.4 Specification - <https://jcp.org/en/jsr/detail?id=154>
- [36.] Traefik, The Cloud Native Application Proxy - <https://traefik.io/traefik/>
- [37.] Transcatheter aortic valve implantation: current and future approaches - <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2011.164>
- [38.] Electrical cardioversion - <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/electrical-cardioversion>
- [39.] Barranco, C. High cure rate for permanent atrial fibrillation with catheter ablation. *Nat Rev Cardiol* 2, 554 (2005). <https://doi.org/10.1038/ncpcardio0340>
- [40.] Myocardial infarction - <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537076/>
- [41.] <https://www.teceze.com/difference-between-I12-and-I3-technical-support>
- [42.] WEISS, D.J. and KINGSBURY, G.G. (1984), APPLICATION OF COMPUTERIZED ADAPTIVE TESTING TO EDUCATIONAL PROBLEMS. *Journal of Educational Measurement*, 21: 361-375. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.1984.tb01040.x>
- [43.] Hawkins, Douglas M. Identification of outliers. Vol. 11. London: Chapman and Hall, 1980

## Contact

**Ing. Tomáš Kouřim**

Faculty of Nuclear Sciences  
and Physical Engineering  
Czech Technical University in Prague  
Mild Blue s.r.o.

[tomas.kourim@mild.blue](mailto:tomas.kourim@mild.blue)

corresponding author

**Mgr. Marek Polák, Ph.D.**

Mild Blue s.r.o.

[marek.polak@mild.blue](mailto:marek.polak@mild.blue)

**Ing. Jan Skála**

Mild Blue s.r.o.

[jan.skala@mild.blue](mailto:jan.skala@mild.blue)

**Ing. Anastasia Surikova**

Mild Blue s.r.o.

[anastasia.surikova@mild.blue](mailto:anastasia.surikova@mild.blue)

**Ing. Lukáš Forst**

Faculty of Electrical Engineering  
Czech Technical University in Prague  
Mild Blue s.r.o.

[lukas.forst@mild.blue](mailto:lukas.forst@mild.blue)

**MUDr. Alžběta Kouřimová**

General University Hospital in Prague  
Mild Blue s.r.o.

[alzbeta.kourimova@mild.blue](mailto:alzbeta.kourimova@mild.blue)

**Nikola Zadorozhny**

Faculty of Information Technology,  
Czech Technical University in Prague  
Faculty of Mathematics and Physics,  
Charles University  
Mild Blue s.r.o.

[nikola.zadorozhny@mild.blue](mailto:nikola.zadorozhny@mild.blue)

## EGOLEM, DIGITÁLNÍ SIMULÁTOR PACIENTA

Tomáš Kulhánek, Jiří Kofránek

### Abstrakt

Vyvinuli jsme simulátor virtuálního pacienta, který se skládá z figuríny pacienta, která dýchá, makety přístroje ECMO, která se chová jako reálný přístroj a webového simulátoru, který jednak ukazuje co se děje uvnitř pacienta, posílá a přijímá údaje z makety přístroje ECMO a posílá a přijímá údaje z figuríny virtuálního pacienta. Matematický model za simulátorem řídí dýchání figuríny. Máme implementovaný model přenosu krevních plynů a webový simulátor ukazuje vliv selhávání plic a srdce na koncentrace rozpuštěných krevních plynů v těle a vliv léčby přístroje ECMO.

### Klíčová slova

ECMO, model, robotizovaná figurína pacienta, simulátor, lékařský trenážér, výuka

### Úvod

V první polovině osmdesátých let na katedře anesteziologie Floridské university (University of Florida) nastoupil do rezidenčního výcviku dr. Joachim Stefan Gravenstein. Práce anesteziologa je zdánlivě velmi poklidná. Spočívá v uvedení pacienta do narkózy a pak jen ve sledování jeho stavu v průběhu operace, kde hlavní tíže spočívá na práci chirurgů. Ten poklid je ale jen zdánlivý. Někdy totiž přicházejí z ničeho nic závažné situace, kdy na rychlém a správném rozhodnutí anesteziologa závisí osud nemocného. Ještě napjatější situace, kdy jen rychlé a správné rozhodnutí může zachránit život pacienta, nastávají na jednotkách intenzivní péče.

Dr. Gravenstein přemýšlel o tom, jak co nejlépe naučit lékařský personál tyto krizové situace zvládat a využít při tom obdobné postupy, které se využívají na pilotních trenážerech při výcviku pilotů. Konec sedmdesátých a počátek osmdesátých let byl totiž údobím velkého rozmachu pilotních trenážerů. V sedmdesátých letech, v důsledku naftové krize, začala řada leteckých společností intenzivněji využívat letecké trenážery při výcviku pilotů. Krom toho, pokrok ve výpočetní technice umožnil vytvořit skutečně realistické pilotní trenážery, na nichž bylo možno piloty cvičit jako v reálném provozu, a navíc s nimi procvičovat reakce na závažné situace a poruchy, které bylo nebezpečné procvičovat v reálném provozu. Na trenážeru bylo možné pro piloty nasimulovat řadu nebezpečných situací a sledovat, jak se s nimi vypořádají. V následném debriefingu bylo možné vrátit čas zpět a podrobně rozebrat rozhodování pilota při řešení akutní situace, kterou bylo možné opět opakovat a zkusit znovu řešit.

Letecká havárie na pilotním trenážeru je jen virtuální a letadlo je možné zpětně oživit jediným příkazem. Na lékařském trenážeru je poškození nemocného nebo i jeho smrt také jen virtuální. Dr. Gravenstein začal proto vážně uvažovat, jak sestavit lékařský trenážér, na němž by bylo možné procvičovat různé závažné situace, monitorovat rozhodování lékaře a následně zhodnotit jeho správnost a případně to zkusit řešit znovu, jinak a lépe, obdobně jako na pilotním trenážeru.

Výhodou bylo, že Dr. Gravenstein byl původním vzděláním počítačový odborník, a tak se při řešení tohoto problému začal na univerzitě porozhlížet po odbornících z různých (informatických a technických) oborů, kteří by mu s konstrukcí lékařského trenážeru pomohli.

V roce 1986 Gravensteinův tým vytvořil simulátor pacienta, který bylo možné připojovat k základním lékařským přístrojům [1]. Simulátor podle zadaného scénáře a příslušného matema-

tického modelu na pozadí, simuloval různé závažné stavy a adekvátně reagoval na terapii.

V roce 1994 se podařilo dostat trenážér do průmyslové výroby. Simulátor začala pod názvem METI velmi úspěšně prodávat nově založená firma Medical Education Technologies Inc. (Sarasota, Florida).



Obrázek 1 – Dr. Gravenstein a jeho lékařský trenážér (foto: Sarah Kiewel[1])

Na přelomu tisíciletí tuto úspěšnou firmu koupil nadnárodní koncern CAE, vyrábějící špičkové simulátory pro nejrůznější oblasti.

Trenážér Patient Simulator CAE Healthcare, jehož kolébkou bylo oddělení anesteziologie Floridské univerzity dodnes patří mezi nejsostifikovanější lékařské trenážery (<https://caehealthcare.com>). Tento simulátor by ale nevznikl, kdyby Gravenstein nedal dohromady tým složený z odborníků i z dalších (nemedicinských) oborů vyučovaných na Floridské univerzitě.

Výhodou univerzit je to, že soustřeďují různé obory, což dává potenciální možnosti snadného vzniku univerzitních multioborových týmů. Historie vzniku lékařského trenážeru na Floridské univerzitě je názorným příkladem využití těchto možností pro vytvoření zcela nového výrobku s vysokou přidanou mezioborových znalostí.

Multioborový řešitelský tým 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a čtyř malých vývojových firem se sešel při řešení rozvojových projektů Ministerstva průmyslu a obchodu (č. FV20628 a FV30195). Jedním z výsledků těchto projektů je originální technologie tvorby webových simulátorů [2–6] a jejich propojení na hardwarovou figurínu virtuálního pacienta.

V našem projektu eGolem nyní testujeme využití simulátorů při výuce, která nemusí nutně probíhat jen v simulačních centrech. Cílem je nabídnout využití simulátorů v teoretické výuce na seminářích, přednáškách a doplnit statické prezentace a obrázky pacientů z učebnic a článků o interaktivní simulační modely. Figurína pacienta je obohacena o simulátor, který běží v prohlížeči a ukazuje stav pacienta.

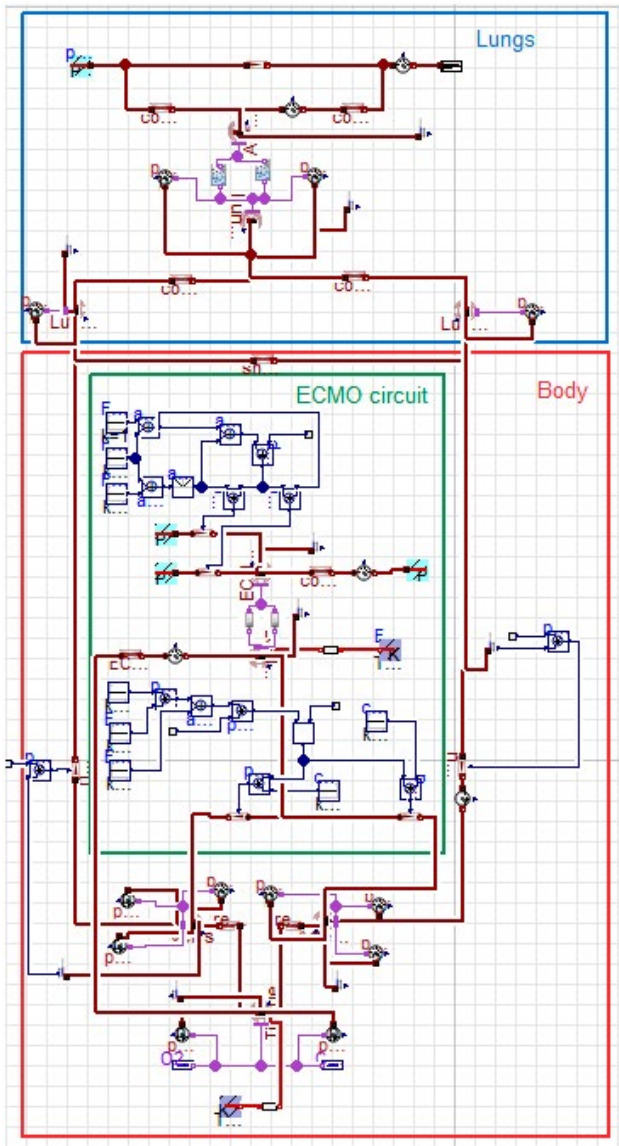
### Metody

Matematický model vychází z modelu publikovaného v diplomové práci J. Ferkla [7] na obr. 2.

Firmou INOMECH s.r.o. bylo vyrobeno hardwarové zařízení: byl vytištěn skeleton žeber z pružného materiálu a ve spojení s kontrolními motorky simuluje dýchací pohyby a výdech v hlavové části upravené figuríny původně určené pro nácvik kardiopulmonární resuscitace (obr. 3).

Pro tvorbu softwarového simulátoru, kompilaci matematického modelu do interaktivní animace, propojení animačních elementů s proměnnými modelu a interakcí s uživatelem jsme použili webové komponenty `Bodylight.js` [6]. Simulátor tak propojuje model, a zároveň komunikuje přes REST API s HW





Obrázek 2 – Model dýchání, přenosu krevních plynů a zapojení přístroje ECMO v jazyce Modelica v nástroji Dymola a knihovnou PhysiLibrary v 3.0



Obrázek 3 – HW torzo figuríny, žebek a mechanismu pro dýchání virtuálního pacienta



Obrázek 4 – Virtuální pacient a maketa přístroje ECMO



Obrázek 5 – Simulátor ukazující vnitřní stav pacienta, pH krve, saturace kyslíku a koncentrace oxidu uhličitého a koncentrace iontů bikarbonátu (hydrogenuhlíčitanu)

simulátorem a kontroluje dýchání a získává nastavení tlačítek, přepínačů a senzorů z makety přístroje.

### Výsledky

Prototyp robotizované figuríny virtuálního pacienta a makety reálného přístroje pro extrakorporální membránovou oxygenaci ECMO (obr. 4.) je propojena se softwarovým simulátorem, který běží ve webovém prohlížeči.

Stav modelu je vizualizován v několika grafech a připravené ovládací prvky v softwarovém simulátoru mohou pacienta uvést do stavů, které se předvádějí a diskutují při semináři nebo výuce (obr. 5.).

Oproti konkurenčním robotizovaným figurínám ukazujeme, co se děje uvnitř pacienta z fyziologického pohledu a tudíž je možné figurínu použít nejen ve specializované simulační výuce pro nácvik dovedností v různých klinických situacích, ale i v teoretičtějších předmětech pro ozřejnění teoretických pojmů a propojení znalostí s klinickou praxí. Doprovodné výukové materiály vytvořené jako webové aplikace umožňují pomocí simulačních her vysvětlit patofyziologickou podstatu pozorovaných klinických dat virtuálního pacienta.

Využíváme přitom propojení figuríny na webové simulátory, vytvořené pomocí naší vyvinuté technologie Bodylight. Pomo-

cí této technologie vygenerujeme simulátor jako webovou aplikaci sestávající z HTML5 a zdrojových kódů v jazyce javascript a WebAssembly. Tuto aplikaci pak mohou přehrávat všechny moderní webové prohlížeče. Grafika i simulační výpočty probíhají uvnitř internetového prohlížeče (proto hovoříme o in-browser simulačních výpočtech). Výsledná aplikace je spustitelná v internetovém prohlížeči na jakýchkoli zařízeních a operačních systémech a nevyžaduje trvalé připojení k Internetu. Technologie Bodylight.js a know-how nám popsaným způsobem umožňuje vytvářet nový typ elektronických učebnic, spustitelných na jakémkoliv zařízení s internetovým prohlížečem, propojujících hypertext, multimedia, simulační modely a interaktivní grafiku řízenou modelem na pozadí [2,5,6].

## Diskuse

Úlohou výuky na lékařských fakultách je naučit budoucí lékaře nejen teoretické znalosti ale i řadu praktických dovedností a zejména schopnost tyto znalosti uplatňovat při diagnostickém a terapeutickém rozhodování. Absolvováním šestiletého studia na lékařské fakultě výuka lékařů nekončí – schopnost pracovat samostatně získává lékař teprve po absolvování popromočního vzdělávání zakončeného atestační zkouškou. Ve Spojených státech se žertem říká, že rezidentura (jak je nazýváno tříleté popromoční vzdělávání amerických lékařů) je posledním požadkem otroctví.

Náročnost výuky medicíny u řady studentů působí jako stresový faktor. Podle studie týmu autorů zveřejněného na portálu "Po Medině" je stres hlavní faktor nepohody při studiu medicíny. Hlavní příčinou jsou uvedeny obavy ze zkoušek, časová náročnost a na některých fakultách i náročným individuálním přístupem konkrétních učitelů [8].

Jedním z důsledků je, že zhruba 10% studentů medicíny opouští studium ve vyšších ročnících i když prokazatelně by studium zvládli, neboť prošli sítí přijímacích zkoušek a prvního ročníku. Dokonce kolem 1% absolventů medicíny nakonec pokračuje svoji profesní kariéru v nemedicínském oboru. Obdobné počty je možné vyvodit i z hrubých dat publikovaných ve výročních zprávách fakult [9]. Další studie z portálu "Mladí lékaři" uvádí, že po ukončení studia 79% absolventů se necítí připraveni dostatečně na klinickou praxi [10] a jedním z důvodů uvádějí nedostatek praktických předmětů na klinice nebo v simulační výuce.

„Co slyším, to zapomenu. Co vidím, si pamatuji. Co si vyzkouším, tomu rozumím.“ – napsal již před více než dva a půl tisíce lety Konfucius. Tato stará zkušenost ze staré Číny je potvrzována moderními metodami aktivní výuky, kde se široce uplatňují simulační hry a simulátory, které podporují rychlejší pochopení vzájemných souvislostí a hlubší porozumění vykládané látce.

Do kurikula lékařské výuky se proto čím dál tím více včleňuje simulační výuka a většina univerzit a lékařských fakult investuje prostředky do tzv. simulačních center, případně simulačních oddělení, které v bezpečném prostředí dovolí studentům a lékařům získat nezbytné znalosti, dovednosti a kompetence, vyzkoušet si a zažít všechny lékařské postupy na vlastní kůži, aniž by ohrozili reálného pacienta.

Výstupem lékařských simulátorů nemusí být jen obrazovka počítače nebo tabletu. Může jím být i figurína pacienta, která slouží jako výstupní a vstupní zařízení trenažéru.

Figurína pacienta, využívaná jako vstupně-výstupní zařízení lékařského trenažéru má při nácviu lékařských dovedností nesporné výhody. Z didaktického hlediska je velký rozdíl, zda podáváme lék či infúzi kliknutím na příslušnou ikonku na počítači, nebo když příslušnou infúzi či lék musíme podat virtuálnímu pacientovi realizovanému jako figurína (například se procvičí i to, že v reálné praxi příslušné léky musíme mít připraveny tak, aby byly po ruce). Je rozdíl, zda kardiopulmonální resuscitaci

provádíme na obrazovce počítače, nebo když srdeční masáž a defibrilátor použijeme v reálné simulační hře s figurínou pacienta. Zejména podstatný rozdíl mezi čistě softwarovou simulací a simulační hrou s virtuálním pacientem realizovaným i fyzicky je v připojování pacienta k lékařským přístrojům. Zatímco pacienta zobrazeného na počítačovém monitoru připojujeme k přístroji umělé plicní ventilace pouze pomocí klávesnice, klikání a pohybu kurzorem myši, v simulační hře s figurínou pacienta musíme fyzicky realizovat připojení k reálnému respirátoru a na jeho ovladači musíme pečlivě nastavit příslušné parametry, což je klinické realitě mnohem blíže. Krom toho, lékařská péče je týmová práce, kdy, zvláště v medicíně akutních stavů, o výsledcích rozhoduje spolupráce a sebranost celého týmu. A spolupráce lékařských profesionálů při péči o akutně nemocného se v čistě softwarových simulacích procvičuje obtížně. Zde pak mají patientské simulátory realizované figurínou pacienta nezastupitelnou roli. Lékařské trenažéry využívají figurínu pacienta jako své výstupní zařízení. Figurína dýchá, má hmatný pulz, umožňuje poslechové vyšetření apod. Na druhé straně je figurína i vstupním zařízením – např. při realizaci kardiopulmonální resuscitace, při podávání farmak nebo při propojení figuríny s nějakým lékařským přístrojem.

Studenti na základě výsledků simulovaných vyšetření, a v sofistikovanějších simulátorech i na základě dat z reálných lékařských monitorů, připojených k figuríně pacienta, rozhodují o terapeutickém postupu, provádějí léčbu (od připojování pacienta na ventilátor umělé plicní ventilace či anesteziologický přístroj, přes kardiopulmonální resuscitaci, až po podávání simulovaných infuzí, a simulaci podávání příslušných léků). Velký význam mají tyto trenažéry zejména pro nácviu správného lékařského rozhodování v medicíně akutních stavů.

Vlastní trenažér je, obdobně jako u leteckých pilotních simulátorů, řízen ze stanoviště operátora, odkud učitel může ovládat simulovaného pacienta a volit mezi nejrůznějšími scénáři simulovaných onemocnění. Ukazuje se, že z pedagogického hlediska je velice efektivní, když veškeré akce studentů jsou monitorovány a simulátor poskytuje podklady pro pozdější rozbor (debriefing) diagnostického a terapeutického postupu studentů u simulovaného onemocnění.

Scénářem řízené (tzv. scenario-driven) trenažéry řídí simulační hru podle scénáře, realizovaného jako větvený algoritmus (přesněji řečeno jako stavový automat), který podle zadávaných vstupů (požadavků na vyšetření, podání příslušných léků apod.) realizuje výstupy (dává výsledky vyšetření na obrazovku, či ovládá parametry figuríny zjistitelné vizuálně nebo fyzikálním vyšetřením apod.). Tyto trenažéry jsou velmi náročné na tvorbu scénáře, protože umožňují naprogramovat v podstatě libovolnou kombinaci výstupů na dané vstupy.

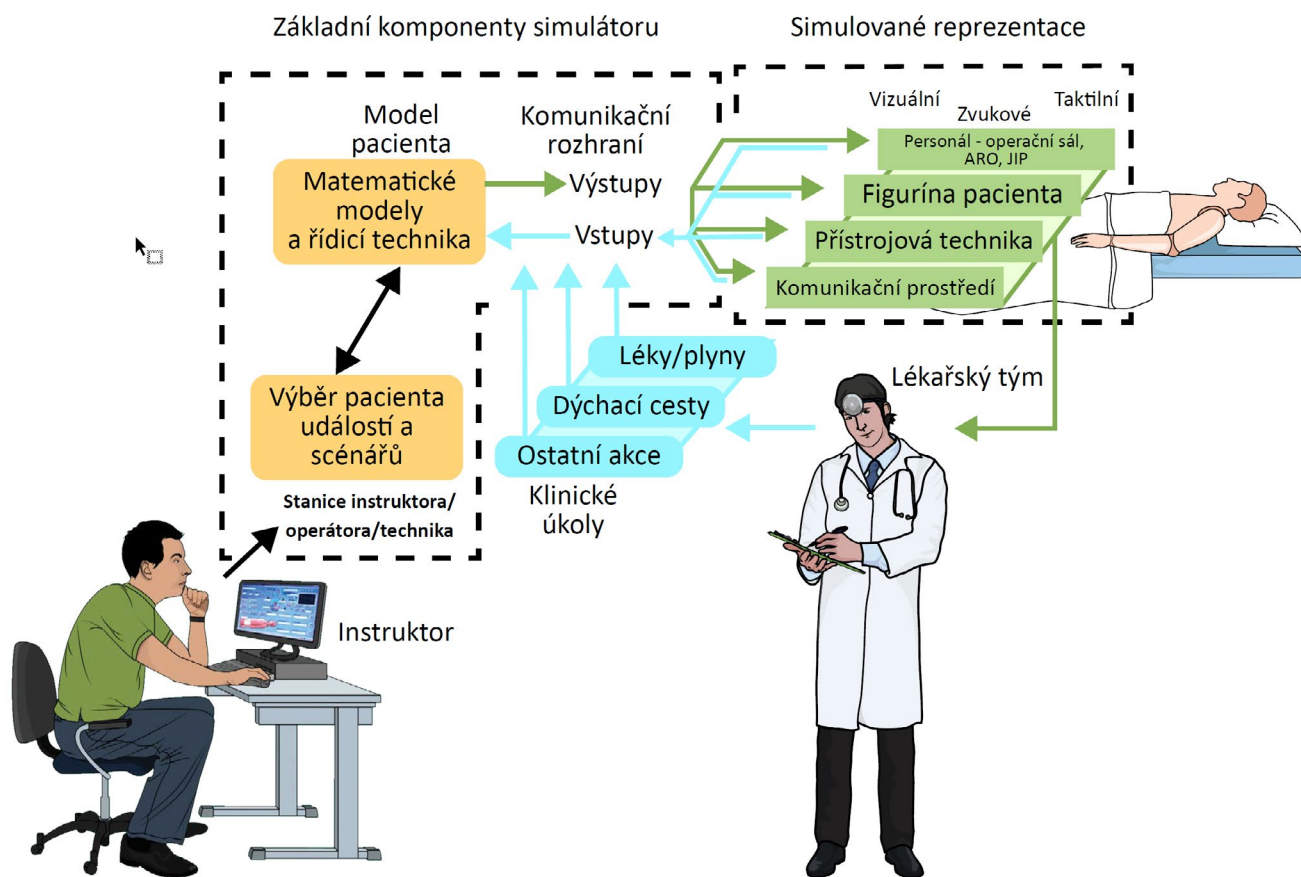
Mnohem složitější, a ve výuce efektivnější, jsou ale modelem řízené (model-driven) trenažéry využívající matematické (a u figurín pacientů i kombinované mechanicko-matematické) modely.

Obdobně, jako jádrem leteckých simulátorů matematický model letadla, tak i v pozadí sofistikovaných lékařských simulátorů je matematický model pacienta (obr. 6).

Výuka se simulátorem klade citelně vyšší nároky na vyučujícího, než klasická výuka. Při správném využití simulátoru je však pedagogický efekt velmi výrazný [11,12].

## Závěr

Tuto úvahu nyní rozvíjíme jako startup, který jsme pojmenovali eGolem jehož ambicí je vylepšit simulační výuku a dostat simulační prvky výuky i do jiných oblastí a předmětů a nabídnout chytré výukové materiály pro fyziologii a patologickou fyziologii, které by zlepšily i domácí výuku a přispěly k eliminaci obav ze zkoušek a z nedostatku času.



Obrázek 6 – Základní struktura modelem řízeného lékařského trenážeru s figurínou pacienta

Pro tyto aktivity jsme v roce 2022 využili inkubátor Caelestinus, kterou pořádala letos poprvé agentura Insane Business Ideas s.r.o. s hlavním sponzorem Intersystems, dodavatelem digitálního řešení pro podniky i ve zdravotnictví, nemocnicí IKEM a fakultou biomedicínského inženýrství ČVUT [12]. Dále se v českém prostředí pořádají i další národní i mezinárodní aktivity a události pro podporu začínajících podniků. Během inkubace jsme se seznámili s jinými startupy v různých stádiích vývoje jejich podnikatelského záměru a procházeli definicí business plánu, strategie, ujasnění si právních a dalších náležitostí. Důležitou součástí práce je najít odvahu a jít za potenciálními zákazníky a uživateli a konzultovat a validovat použití produktu a služby, neboť ne všechna rozhodnutí a návrhy lze provádět čistě od stolu.

### Poděkování

Výsledky této práce byly ještě z velké části podpořeny veřejnými granty MPO FV30195 a MPO FV20628. Dále inkubátorem Caelestinus [13], programy “New Generation of Founders” [14], “Google Startup Academy” [15] a aplikace propojující online a offline nástroje s chytrým tzv. deníkem nápadu Startupbox [16]. Doufáme, že budoucí vývoj a jeho správnost a vhodnost ocení zákazníci tak, že si produkt a službu eGolem zakoupí a budou mít jako první zákazníci možnost výrazného vlivu na konečnou funkcionalitu [17].

### Literatura

- [1.] Remembering Dr. Joachim Gravenstein. 2009 [cited 12 Oct 2020] Available: <https://news.drgator.ufl.edu/2009/01/30/remembering-dr-joachim-stefan-gravenstein/>
- [2.] Šilar J, Polák D, Mládek A, Ježek F, Kurtz TW, DiCarlo SE, et al. Development of In-Browser Simulators for Medical Education: Introduction of a Novel Software Toolchain. *J Med Internet Res*. 2019;21: e14160.
- [3.] Polák D, Ježek F, Šilar J, Kofránek J. Technologie tvorby webových simulátorů. *Medsoft*. 2019;31: 122–139.
- [4.] Kofránek J, Ježek F, Šilar J, Mládek A, Mateják M, Kulhánek T. Nová generace elektronických učebnic se simulačním jádrem. *Medsoft*. 2020;32: 63–72.
- [5.] Kofránek J, Kulhánek T. Standardizace – cesta k open source technologiím pro webové simulátory. *Medsoft*. 2021;33: 25–34.
- [6.] Kulhánek T, Mládek A, Brož M, Kofránek J. Bodylight.js web components - webové komponenty pro webové simulátory. *Medsoft*. 2021;33: 48–52.
- [7.] Ferkl J. Simulační model extrakorporální oxygenace (ECMO). Diplomová práce, FEL ČVUT. 2021. Available: <http://hdl.handle.net/10467/96661>
- [8.] Palička M, Mechurová B, Rybář M, Sobelová T, Paličková N, Pokorná K. Čeští medici v nepohodě 2021. In: Po medině [Internet]. 2022 [cited 12 Oct 2022]. Available: <https://www.pomedine.cz/vysledky-pruzkumu/>
- [9.] Výroční zpráva 1.LFUK 2021. 2021. Available: <https://www.lf1.cuni.cz/aktualni-vyrocní-zprava>
- [10.] Šlegerová L, Michenka P, Kočí M. MEDICI 2020 Kompetence a preference. Powerprint; 2020.
- [11.] Kofránek J, Kulhánek T. Lékařské simulátory. *Medsoft*. 2014;26: 123–147.
- [12.] Kofránek J, Hozman J. Pacientské simulátory. *Creative Connections*; 2013.



- [13.] Caelestinus - a FHIR healthtech incubator. 2022 [cited 11 Dec 2022]. Available: <https://www.caelestinus.tech/>
- [14.] New Generation of Founders, metoda Design Thinking. 2022 [cited 12 Oct 2022]. Available: <https://events.withgoogle.com/new-generation-of-founders/>
- [15.] Google for Startups Academy. 2022 [cited 12 Oct 2022]. Available: <https://gfsa.impacthub.cz/>
- [16.] StartupBox. 2022 [cited 12 Oct 2022]. Available: <https://startupbox.app/>
- [17.] egolem.online. 2022 [cited 12 Oct 2022]. Available: <https://egolem.online/>

**Kontakt****Mgr. Tomáš Kulhánek, Ph.D.**

Oddělení biokybernetiky

U nemocnice 5

128 53 Praha 2

[tmkulhanek@gmail.com](mailto:tmkulhanek@gmail.com)**doc. MUDr. Jiří Kofránek, CSc.**

Oddělení biokybernetiky

Ústav patologické fyziologie 1. LF UK

[kofranek@gmail.com](mailto:kofranek@gmail.com)

+420 777 68 68 68

## FULLY INTEGRATED DECISION-SUPPORT SYSTEM FOR DETECTION AND SEGMENTATION OF BREAST LESIONS IN DIGITAL MAMMOGRAM

Robert Hrubý, Daniel Kvak, Anna Chromcová, Marek Biroš

### Abstract

Breast cancer is one of the most prevalent forms of cancer affecting women. Detection of suspicious lesions on mammographic images is considered a challenging task due to the variability of lesion sizes and shapes, the problematic margins of the findings, and some extremely small lesions that are difficult to localize. With the increasing availability of digitized clinical archives and the development of complex deep learning (DL) methods, we are witnessing a trend towards the integration of robust computer-aided detection (CAD) systems to assist in the automatic segmentation of lesions on mammograms to aid in the diagnosis of breast cancer. This study presents deep learning-based automatic detection algorithm (DLAD), directly implemented in picture archiving and communication system (PACS) to aid in improving the radiologist's workflow. The proposed DLAD is evaluated on INbreast dataset with a sample size of  $n=138$  (71 [51.45%] BI-RADS 4/5/6 images, 67 [48.55%] BI-RADS 1 images). Preliminary results show a sensitivity of 0.9296 [95% CI 0.8701-0.9891], specificity of 0.7273 [0.6207-0.8339] and IoU of 0.5661, indicating a low false negative rate while maintaining a reasonable false positive rate.

### Keywords

Breast Cancer, Breast Lesion Detection, Computer-Aided Detection, Deep Learning, Image Segmentation, Mammogram, Picture Archiving and Communicating System

### 1 Introduction

Breast cancer is the leading cause of cancer deaths in women worldwide [15]. Nearly 2.3 million new cases were diagnosed and 685,000 deaths were attributed to breast cancer in 2020 [36]. Early detection of suspicious lesions is therefore crucial for successful treatment and reduction of mortality. [5, 24, 28] have highlighted that frequent mammography screening can reduce mortality through early detection before it spreads to other healthy organs and tissues [8]. Regular mammography screening has been successful in reducing breast cancer mortality [30], and adherence to it is high [38]. However, mammograms must be manually analyzed by radiologists determine shapes and types (Figure 1) of any suspicious area in the breast and localize potentially malignant lesions. While this process is considered crucial, it is time-consuming [37] and of strong subjectivity among the evaluating radiologists [17].

<sup>4</sup><http://www.eng.usf.edu/cvprg/mammography/database.html>

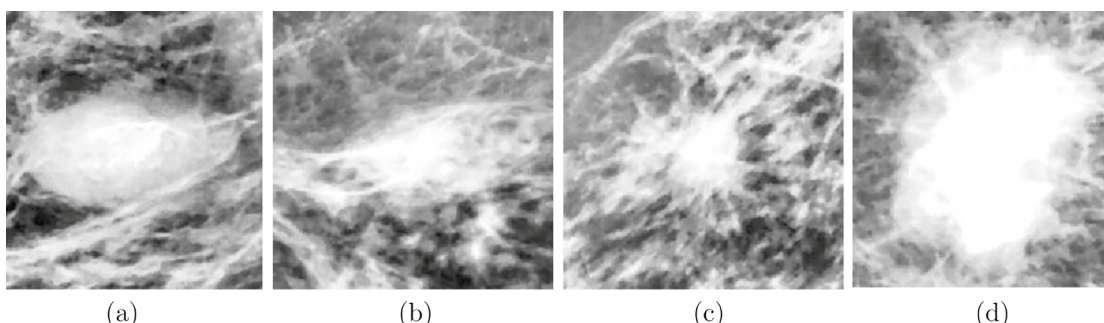


Figure 1 – Examples of various benign (a, b) and malignant (c, d) lesions from digital mammogram.

## 2 Background

The problem of missed or overlooked lesions still persists, despite modern fullfield digital mammography. [9] reports that the sensitivity and specificity of screening mammography is around 80% and 90%, respectively. [4, 6, 14] observe that double reading improves the performance of mammographic evaluation, showing that there is considerable space for improvement.

### 2.1 Related Works

The earliest concepts for detecting abnormalities on mammographic images were introduced in the 1960s [3]. Initially, the research and development focused on reducing errors caused by human fatigue or subjectivity. Today, CAD systems can serve two different roles: as a collaborative assistant that directs the radiologist's attention to suspicious areas in the mammogram, or as an independent "reader" that performs an overall assessment of the entire examination without any radiologist intervention.

Deep neural networks, popular paradigms for automated medical image diagnosis, represent the state-of-the-art in computer vision. Models based on deep neural networks have demonstrated robust results in segmentation problems for mammographic images [1, 25, 29], given the large datasets that have become available, such as DDSM [18] or INbreast [26]. Multiple studies, including [2, 7, 11, 19, 23, 27, 33], also addressed the evaluation (mostly retrospective) of existing commercial solutions.

## 3 Methodology

The aim of this study is to evaluate the performance of DLAD system (Carebot AI MMG v1.0) for breast lesion segmentation when used as decision-support system, compared to the original radiologist decision. As presented on Figure 2, the software is integrated into the standard reading environment (PACS), including a breast density assessment module, but this functionality is not investigated in this study. Proposed DLAD is not a certified medical device.

### 3.1 Datasets

Mammograms with pixel-level annotations were needed to train the model for lesion segmentation. We utilized the Digital Database for Screening Mammography<sup>4</sup> (Table 1), which contains 10,480 digitized screening mammography images in CC and LMO view positions with pixel-level lesion annotations. Malignant lesions have histological evidence. Because our primary objective is the detection of any lesions on digital mammography, the images used for training include both histologically proven cancerous findings and benign lesions that were recalled for further examination but later found to be benign. To increase the amount of used images, all projections were reoriented to the right-sided position for analysis, and all computations were performed with right-side projections. The model was then evaluated on INbreast dataset with sample size of  $n=138$ .

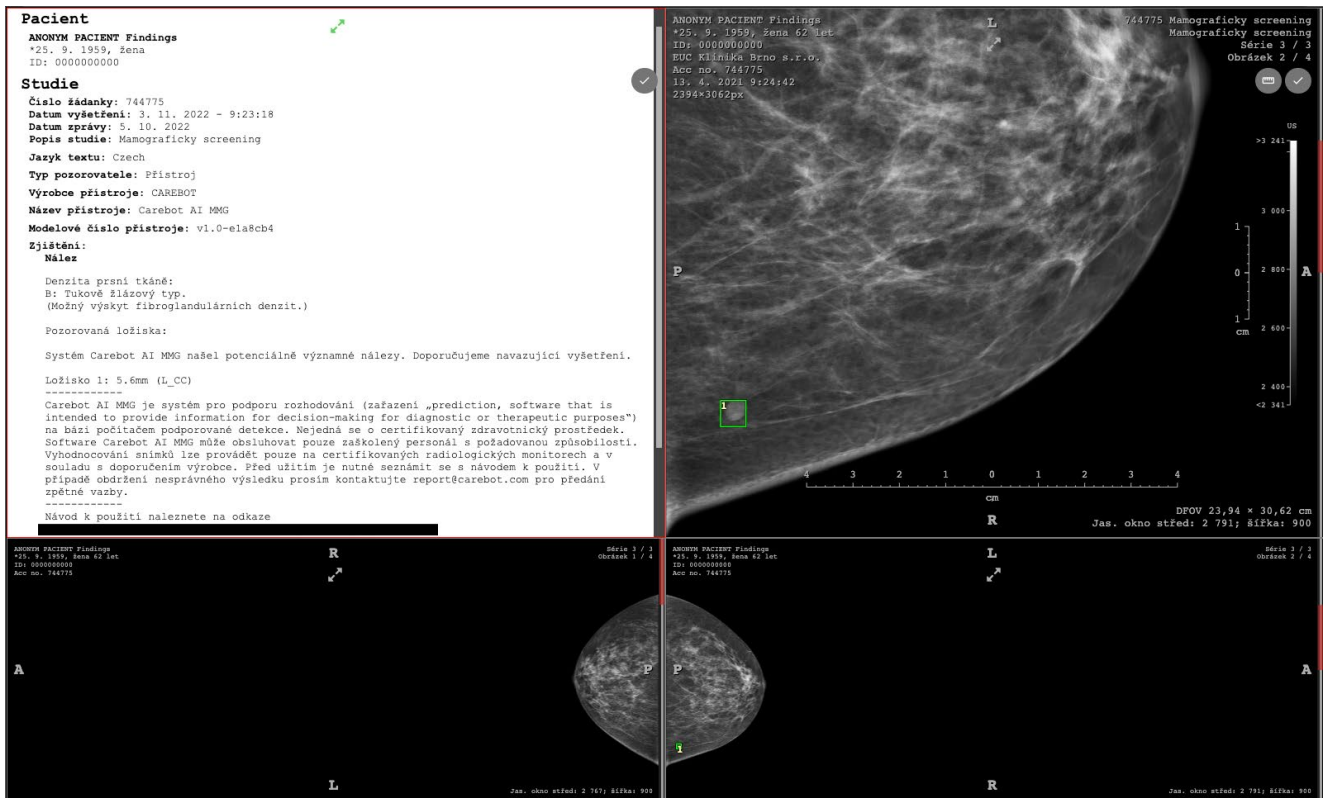


Figure 2 – User interface of DLAD software implemented in PACS (Dicompass Cloud v2.2.8. by Medoro s.r.o.).

Dataset	n	View Position	Format
[18] DDSM	10,480	CC, MLO	DICOM
[26] INbreast	410	CC, MLO	DICOM

Table 1 – Detailed information of the used DDSM and INbreast mammography datasets.

### 3.2 Data Preprocessing

Suspicious lesions can be observed on mammograms as high-density areas. As shown in Figure 3, original (before preprocessing) mammograms indicate poor visualization of the dense mammary gland and breast periphery. Proposed model utilizes contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE); a technique that limits the histogram equalization amplification by clipping the histogram to a user-defined value (clip limit) [32]. Application of CLAHE method and segmentation of the non-relevant metadata areas (after preprocessing) improve image quality with emphasis on the nipple, areola, skin, subcutaneous fat and some peripheral Cooper’s ligaments [10].

### 3.3 Model Architecture

Since Ronneberger et al. initially proposed the U-Net architecture in [31], it has become the state-of-the-art technique for biomedical applications, being utilized in semantic segmentation, object detection, and more. The basic building blocks consist of a downsampling and an upsampling path. These two branches form a U-shape, as shown in Figure 4. The proposed architecture introduced the skip connections which added a significant advantage compared to the predecessors. Specifically, it helps to recover spatial information that is lost during the downsampling steps due to the pooling operations.

The encoder block (also known as *backbone*) is usually a sequence of convolutional neural networks (CNN) used for classification tasks, but missing the final dense layers [35]. These

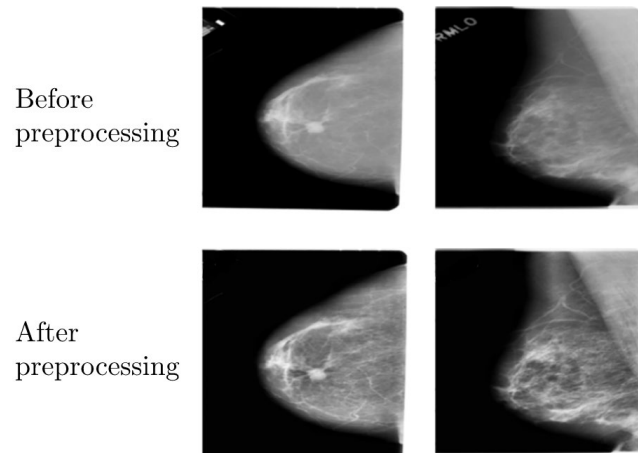


Figure 3 – Mammographic images before and after preprocessing

types of networks are called Fully Convolutional Network (FCN). In this study, VGG-16 pre-trained on the ImageNet dataset [13] was used as a backbone model.

### 3.4 Implementation

The DLAD software leverages the DICOMweb™ protocol to communicate with a connected PACS. DICOMweb™ is a DICOM communication standard for webbased medical imaging that allows web application developers to transfer medical data between AEs using proprietary tools. It is a set of services using the MIME type *multipart/related* (HTTP) Internet protocol in a RESTful interface [12]. The basic services implemented by the DICOMweb™ standard can be defined as commands to store and query medical images and related information. The standard is formally defined in the DICOM PS3.18 *Web Services* document [16].



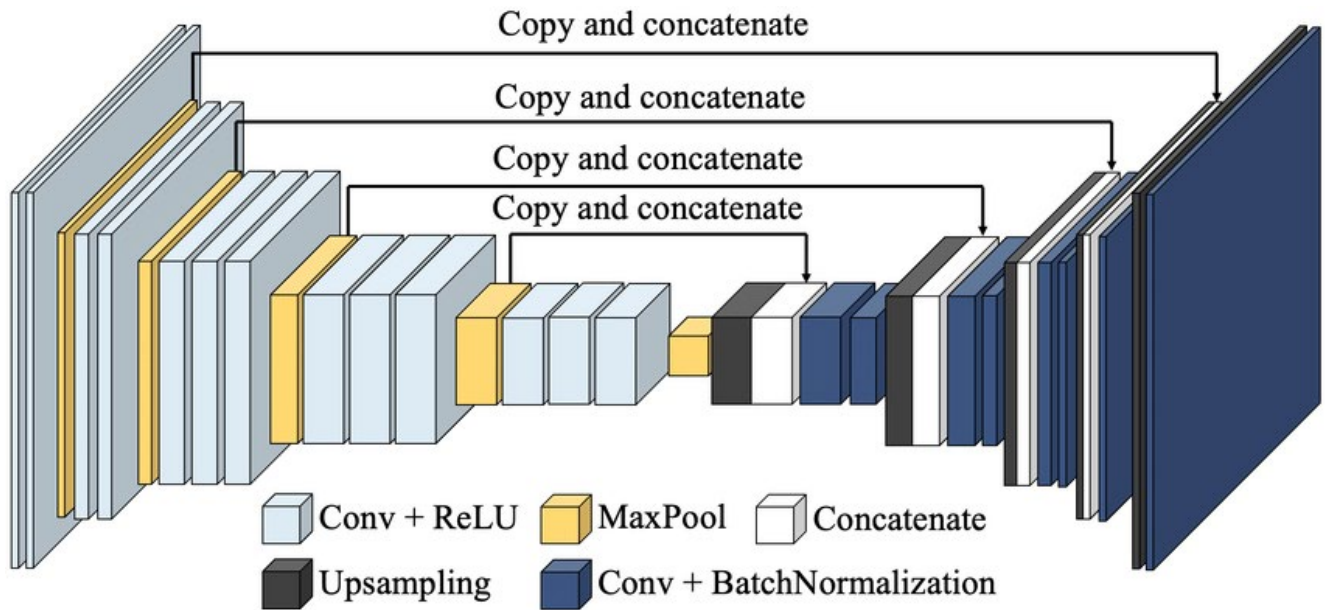


Figure 3 – VGG U-Net model architecture [34]

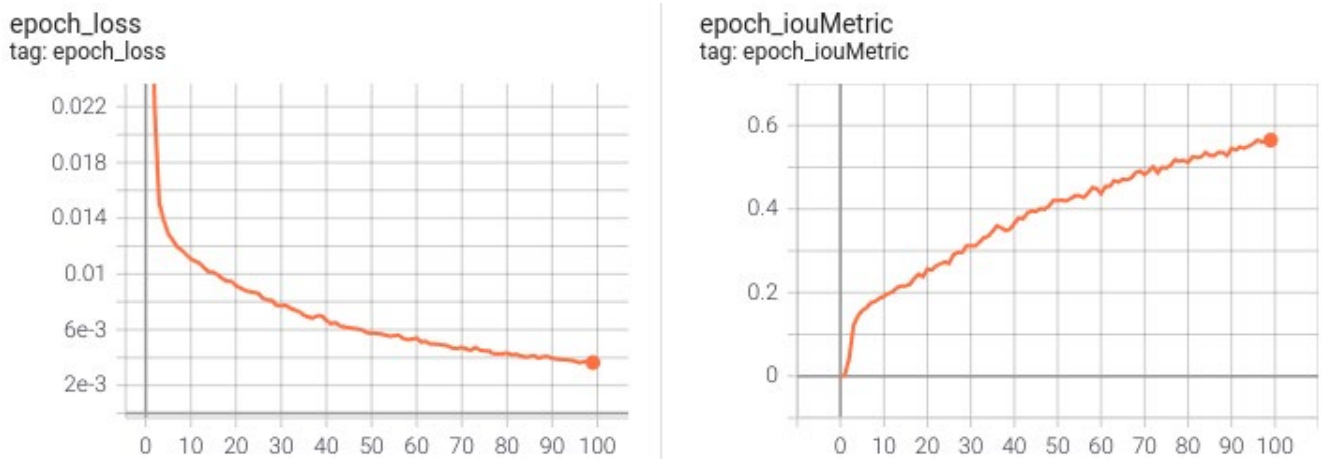


Figure 5 – TensorBoard visualization of loss and IoU metric during DLAD model training

**3.5 Statistical Analysis**

Performance of the proposed system was quantified by means of accuracy (*Acc*), sensitivity (*Se*), specificity (*Sp*), positive (*PPV*) and negative predictive value (*NPV*) and Intersection over Union (*IoU*). Formulas can be found in Table 2. All confidence intervals (*CI*) were constructed at a two-tailed 95% confidence level.

<b>Acc</b>	0.8321 [0.7697-0.8945]	$Acc = (TP + TN) / (P + N)$
<b>Se</b>	0.9296 [0.8701-0.9891]	$Se = TP / (TP + FN)$
<b>Sp</b>	0.7273 [0.6207-0.8339]	$Sp = TN / (FP + TN)$
<b>PPV</b>	0.7857 [0.6903-0.8811]	$PPV = TP / (TP + FP)$
<b>NPV</b>	0.9057 [0.8357-0.9757]	$NPV = TN / (TN + FN)$
<b>IoU</b>	0.5661	$IoU = \text{area of overlap} / \text{area of union}$

Table 2 – Performance of the DLAD system on a test sample from the INbreast dataset. The performance was quantified using accuracy, sensitivity, specificity, positive and negative predictive value and intersection over union.

**4 Results**

A total of 138 individual images (71 [51.45%] BI-RADS 4/5/6 images, 67 [48.55%] BI-RADS 1 images) with determined ground truth and pixel-level annotations were analyzed. The proposed DLAD system correctly classified 114 out of 138 test images (*Acc*: 0.8321 [95% CI 0.7697-0.8945]). 18 BI-RADS 1 mammograms were misclassified (FP) as containing a lesion (*Sp*: 0.7273 [0.6207-0.8339]). A higher false positive rate was expected outcome because the DL algorithm was trained to identify even benign findings as abnormal. Additional 5 BI-RADS 4/5/6 images were misclassified (FN) as BI-RADS 1 despite including one or more lesions (*Se*: 0.9296 [0.8701-0.9891]).

The *PPV*, i.e. the probability of a positive finding if an image is labeled as BI-RADS 4/5/6, was 0.7857 [0.6903-0.8811] for DLAD. The *NPV*, i.e. the probability that a patient is without any finding when the image was classified as BI-RADS 1, was 0.9057 [0.8357-0.9757].

**5 Discussion**

Although we were able to achieve promising sensitivity and reasonable specificity on a small sample size, current publications of commercially applicable solutions are working with larger

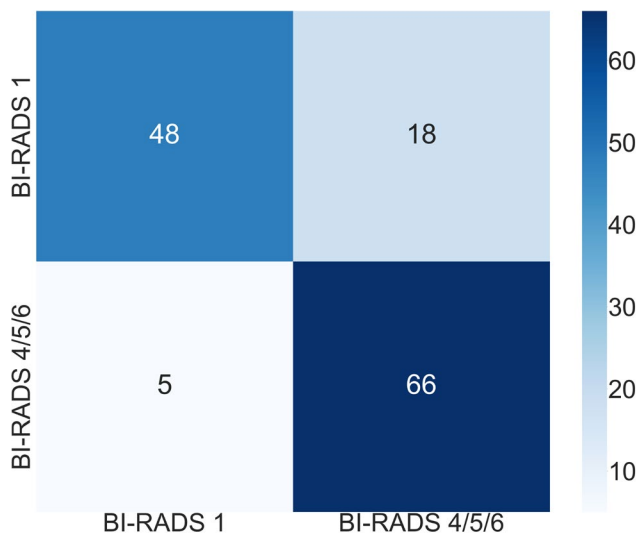


Figure 6 – Confusion matrix demonstrating the results of the DLAD software on test data sampled from INbreast dataset.

volumes of test data. [19] ( $n=1,238$ ) verified own CAD system and achieved Se and Sp of 0.76 and 0.88, respectively. [33] ( $n=8,805$ ) inspected three commercially available solutions and achieved Se of 0.82 for AI-1, 0.67 for AI-2, 0.67 for AI-3 and 0.77 for first-reader radiologist, and 0.80 for second-reader radiologist. [7] ( $n=2,396$ ) used a deep learning-based system on retrospectively assessed data from a mammography screening program in north-western Germany: the inspected algorithm was able to detect and correctly localise 27.5% [95% CI: 23.3–32.3%], and 12.2% [95% CI: 9.5–15.5%] of the FN and MS cases on the prior mammogram, respectively. [27] ( $n=240$ ) analyzed a comparably large test cohort as in our study but instead focused on improved diagnostic performance when using AI: the average AUC across readers was 0.769 [95% CI: 0.724–0.814] without AI and 0.797 [95% CI: 0.754–0.840] with AI. Average sensitivity was increased by 0.033 when using AI support [ $p=0.021$ ].

Some limitations of our test may include the exclusion of BI-RADS 3 category images from the evaluation. [20–22] suggest that this particular class is often problematic to assess, both for reading by the radiologist and for AI assessment. However, the question of the potential added benefits of AI in mammography screening remains mostly unanswered. [23] examines benefits when used either as a standalone system or within a decision-referral approach, compared with the original radiologist decision. The exemplary configuration of the AI system in standalone mode achieved a Se of 0.842 (95% CI 0.824–0.858) and a Sp of 0.895 (0.890–0.899) on internal-test data, and a Se of 0.846 (0.833–0.859) and a Sp of 0.913 (0.911–0.915) on external-test data, but was less accurate than the average unaided radiologist. By contrast, the simulated decision-referral approach significantly improved upon radiologist Se by 2.6% and Sp by 1%, corresponding to a triaging performance at 0.63 on the external dataset; the AUROC was 0.982 (95% CI 0.978–0.986) on the subset of studies assessed by AI, surpassing radiologist performance. Automatic triage using commercially available software was also addressed in [11] ( $n=7,364$ ) When including 60%, 70%, or 80% of women with the lowest AI scores in the no radiologist stream, the proportion of screendetected cancers that would have been missed were 0%, 0.3% (95% CI 0.0–4.3), or 2.6% (1.1–5.4), respectively.

## 6 Conclusion

In recent years, a continuous increase in mammography examinations has been observed globally. Along with the increasing amount, there is also increasing demand on the assessed radiologists to streamline the detection and localization of potentially suspicious areas. The SoTA technological level allows the introduction of AI CAD solutions in the analysis process. This can significantly help medical staff both in time savings and indicating unclear or difficult-to-recognise cases, thereby improving the accuracy of diagnosis and the efficiency of examinations.

The aim of this study was the introduction, implementation and initial evaluation of DLAD software, which utilizes DL algorithms to analyse mammograms and automatically detect suspicious lesions. In the context of a clinical practice, the software should aim to provide an additional expert reading capability to alert the physician to areas that he might overlooked or with which the doctor is unsure.

We trained the DL algorithm on a publicly available DDSM dataset with pixel-level annotations and implemented it in PACS using DICOMweb™ services. The software was subsequently evaluated on INbreast dataset with a sample size of  $n=138$ , achieving a sensitivity of 0.9296 [95% CI 0.8701–0.9891], specificity of 0.7273 [0.6207–0.8339] and IoU of 0.5661, indicating a low false negative rate while maintaining a reasonable false positive rate.

## References

- [1] Abdelhafiz, D., Bi, J., Ammar, R., Yang, C. & Nabavi, S. Convolutional neural network for automated mass segmentation in mammography. *BMC Bioinformatics*. **21**, 1–19 (2020)
- [2] Abdelrahman, L., Al Ghamdi, M., Collado-Mesa, F. & Abdel-Mottaleb, M. Convolutional neural networks for breast cancer detection in mammography: A survey. *Computers In Biology And Medicine*. **131** pp. 104248 (2021)
- [3] Anaya-Isaza, A., Mera-Jiménez, L., Cabrera-Chavarro, J., Guachi-Guachi, L., Peluffo-Ordóñez, D. & Rios-Patiño, J. Comparison of Current Deep Convolutional Neural Networks for the Segmentation of Breast Masses in Mammograms. *IEEE Access*. **9** pp. 152206–152225 (2021)
- [4] Anderson, E., Muir, B., Walsh, J. & Kirkpatrick, A. The efficacy of double reading mammograms in breast screening. *Clinical Radiology*. **49**, 248–251 (1994)
- [5] Broeders, M., Moss, S., Nyström, L., Njor, S., Jonsson, H., Paap, E., Massat, N., Duffy, S., Lynge, E. & Paci, E. The impact of mammographic screening on breast cancer mortality in Europe: a review of observational studies. *Journal Of Medical Screening*. **19**, 14–25 (2012)
- [6] Brown, J., Bryan, S. & Warren, R. Mammography screening: an incremental cost effectiveness analysis of double versus single reading of mammograms. *BMJ*. **312**, 809–812 (1996)
- [7] Byng, D., Strauch, B., Gnas, L., Leibig, C., Stephan, O., Bunk, S. & Hecht, G. AI-based prevention of interval cancers in a national mammography screening program. *European Journal Of Radiology*. **152** pp. 110321 (2022)
- [8] Coleman, C. Early detection and screening for breast cancer. *Seminars In Oncology Nursing*. **33**, 141–155 (2017)
- [9] D’Orsi, C., Bassett, L., Feig, S. & Others Breast imaging reporting and data system (BI-RADS). *Breast Imaging Atlas, 4th Edn. American College Of Radiology, Reston.* (2018)
- [10] Dabass, J., Arora, S., Vig, R. & Hanmandlu, M. Mammogram image enhancement using entropy and CLAHE based intuitionistic fuzzy method. 2019 6th International Conference On Signal Processing And Integrated Networks (SPIN). pp. 24–29 (2019)

- [11.] Dembrower, K., Waahlin, E., Liu, Y., Salim, M., Smith, K., Lindholm, P., Eklund, M. & Strand, F. Effect of artificial intelligence-based triaging of breast cancer screening mammograms on cancer detection and radiologist workload: a retrospective simulation study. *The Lancet Digital Health*. **2**, e468-e474 (2020)
- [12.] Demirer, M., Candemir, S., Bigelow, M., Yu, S., Gupta, V., Prevedello, L., White, R., Yu, J., Grimmer, R., Wels, M. & Others A user interface for optimizing radiologist engagement in image data curation for artificial intelligence. *Radiology. Artificial Intelligence*. **1** (2019)
- [13.] Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L., Li, K. & Fei-Fei, L. Imagenet: A large scale hierarchical image database. 2009 IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition. pp. 248-255 (2009)
- [14.] Dinnes, J., Moss, S., Melia, J., Blanks, R., Song, F. & Kleijnen, J. Effectiveness and cost-effectiveness of double reading of mammograms in breast cancer screening: findings of a systematic review. *The Breast*. **10**, 455-463 (2001)
- [15.] Ferlay, J., H'ery, C., Autier, P. & Sankaranarayanan, R. Global burden of breast cancer. *Breast Cancer Epidemiology*. pp. 1-19 (2010)
- [16.] Genereaux, B., Dennison, D., Ho, K., Horn, R., Silver, E., O'Donnell, K. & Kahn, C. DICOMweb™: Background and application of the web standard for medical imaging. *Journal Of Digital Imaging*. **31**, 321-326 (2018)
- [17.] Giess, C., Wang, A., Ip, I., Lacson, R., Pourjabbar, S. & Khorasani, R. Patient, radiologist, and examination characteristics affecting screening mammography recall rates in a large academic practice. *Journal Of The American College Of Radiology*. **16**, 411-418 (2019)
- [18.] Heath, M., Bowyer, K., Kopans, D., Kegelmeyer, P., Moore, R., Chang, K. & Munishkumaran, S. Current status of the digital database for screening mammography. *Digital Mammography*. pp. 457-460 (1998)
- [19.] Kim, E., Kim, H., Han, K., Kang, B., Sohn, Y., Woo, O. & Lee, C. Applying data-driven imaging biomarker in mammography for breast cancer screening: preliminary study. *Scientific Reports*. **8**, 1-8 (2018)
- [20.] Lacson, R., Wang, A., Cochon, L., Giess, C., Desai, S., Eappen, S. & Khorasani, R. Factors associated with optimal follow-up in women with BI-RADS 3 breast findings. *Journal Of The American College Of Radiology*. **17**, 469-474 (2020)
- [21.] Lee, K., Talati, N., Oudsema, R., Steinberger, S. & Margolies, L. BI-RADS 3: current and future use of probably benign. *Current Radiology Reports*. **6**, 1-15 (2018)
- [22.] Lee, C., Berg, J. & Berg, W. Cancer yield exceeds 2% for BI-RADS 3 probably benign findings in women older than 60 years in the National Mammography Database. *Radiology*. **299**, 550-558 (2021)
- [23.] Leibig, C., Brehmer, M., Bunk, S., Byng, D., Pinker, K. & Umutlu, L. Combining the strengths of radiologists and AI for breast cancer screening: a retrospective analysis. *The Lancet Digital Health*. **4**, e507-e519 (2022)
- [24.] Meisel, S., Pashayan, N., Rahman, B., Side, L., Fraser, L., Gessler, S., Lanceley, A. & Wardle, J. Adjusting the frequency of mammography screening on the basis of genetic risk: attitudes among women in the UK. *The Breast*. **24**, 237-241 (2015)
- [25.] Mordang, J., Janssen, T., Bria, A., Kooi, T., Gubern-M'erida, A. & Karssemeijer, N. Automatic microcalcification detection in multi-vendor mammography using convolutional neural networks. *International Workshop On Breast Imaging*. pp. 35-42 (2016)
- [26.] Moreira, I., Amaral, I., Domingues, I., Cardoso, A., Cardoso, M. & Cardoso, J. Inbreast: toward a full-field digital mammographic database. *Academic Radiology*. **19**, 236-248 (2012)
- [27.] Pacil'e, S., Lopez, J., Chone, P., Bertinotti, T., Grouin, J. & Fillard, P. Improving breast cancer detection accuracy of mammography with the concurrent use of an artificial intelligence tool. *Radiology: Artificial Intelligence*. **2** (2020)
- [28.] Ponti, A., Anttila, A., Ronco, G., Senore, C. & Others Cancer screening in the European Union (2017). Report on the implementation of the council recommendation on cancer screening.. *Cancer Screening In The European Union (2017). Report On The Implementation Of The Council Recommendation On Cancer Screening.*(2017)
- [29.] Ribli, D., Horv'ath, A., Unger, Z., Pollner, P. & Csabai, I. Detecting and classifying lesions in mammograms with deep learning. *Scientific Reports*. **8**, 1-7 (2018)
- [30.] Roder, D., Houssami, N., Farshid, G., Gill, G., Luke, C., Downey, P., Beckmann, K., Iosifidis, P., Grieve, L. & Williamson, L. Population screening and intensity of screening are associated with reduced breast cancer mortality: evidence of efficacy of mammography screening in Australia. *Breast Cancer Research And Treatment*. **108**, 409-416 (2008)
- [31.] Ronneberger, O., Fischer, P. & Brox, T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *International Conference On Medical Image Computing And Computer-assisted Intervention*. pp. 234-241 (2015)
- [32.] Sajeev, S., Bajger, M. & Lee, G. Segmentation of breast masses in local dense background using adaptive clip limit-CLAHE. 2015 International Conference On Digital Image Computing: Techniques And Applications (DICTA). pp. 1-8 (2015)
- [33.] Salim, M., Waahlin, E., Dembrower, K., Azavedo, E., Foukakis, T., Liu, Y., Smith, K., Eklund, M. & Strand, F. External evaluation of 3 commercial artificial intelligence algorithms for independent assessment of screening mammograms. *JAMA Oncology*. **6**, 1581-1588 (2020)
- [34.] Shi, J., Dang, J., Cui, M., Zuo, R., Shimizu, K., Tsunoda, A. & Suzuki, Y. Improvement of damage segmentation based on pixel-level data balance using vgg-unet. *Applied Sciences*. **11**, 518 (2021)
- [35.] Simonyan, K. & Zisserman, A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *ArXiv Preprint ArXiv:1409.1556*. (2014)
- [36.] 36. Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A. & Bray, F. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal For Clinicians*. **71**, 209-249 (2021)
- [37.] Wang, L. Early diagnosis of breast cancer. *Sensors*. **17**, 1572 (2017)
- [38.] Weiss, N. Breast cancer mortality in relation to clinical breast examination and breast self-examination. *The Breast Journal*. **9** pp. S86-S89 (2003)

## Contact

### Robert Hrubý, BSc.

Carebot s.r.o.  
Vyšehradská 430/41  
128 00 Praha 2  
[robert.hruby@carebot.com](mailto:robert.hruby@carebot.com)

### Mgr. Daniel Kvak

Carebot s.r.o.  
Vyšehradská 430/41  
128 00 Praha 2  
[daniel.kvak@carebot.com](mailto:daniel.kvak@carebot.com)

### MUDr. Anna Chromcová

Carebot s.r.o.  
Vyšehradská 430/41  
128 00 Praha 2  
[anna.chromcova@carebot.com](mailto:anna.chromcova@carebot.com)

### Mgr. Marek Biroš

Carebot s.r.o.  
Vyšehradská 430/41  
128 00 Praha 2  
[marek.biros@carebot.com](mailto:marek.biros@carebot.com)



## E-LEARNING VE VÝUCE VOLITELNÉHO PŘEDMĚTU ZKUŠENOSTI Z AKADEMICKÝCH LET PANDEMIE COVID - 19 (MEFANET)

Pavel Měříčka, Jiří Gregor, Miroslava Jandová,  
Pavel Navrátil, Daniel Brandejs

### Abstrakt

Autoři srovnávají způsob využití e-learningu před pandemií COVID 19 a v průběhu pandemie při výuce volitelného předmětu na Lékařské fakultě UK v Hradci Králové. Dostupnost e-learningového kursu přispěla ke zvýšení zájmu studentů o volitelný předmět. E-learningovou výuku studenti hodnotili kladně, nepovažovali však za možné, aby zcela nahradila klasickou výuku.

### Klíčová slova

e-learning, pandemie COVID 19, zkušenosti

### 1 Úvod

V tomto příspěvku uvádíme vlastní zkušenosti se způsobem použití e-learningu ve výuce volitelného předmětu „Základy odběru a konzervace tkání pro transplantace“ v období před začátkem pandemie COVID 19 a během 3 akademických let, kdy byla výuka výrazně ovlivněna touto pandemií. Dále rozvádíme náměty ke zlepšení dosavadních nástrojů, které vyplynuly z období pandemie a stav jejich realizace.

### 2 Metodika

#### 2.1 Způsob použití e-learningu v období před pandemií

Volitelný předmět Základy odběru a konzervace tkání pro transplantace byl zařazen do studijního programu všeobecná medicína Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Hradci Králové v akademickém roce 20001/2002 v české i anglické verzi. Předmět je registrován ve studijním informačním systému v české verzi pod kódem FV50012 a v anglické pod kódem FG500 03. Předmět sestává ze 3 dvouhodinových přednášek, dvou praktických cvičení a závěrečného semináře a je standardně vyučován na začátku letního semestru. Možnost zápisu do předmětu je omezena, maximální počet studentů je 20.

E-learningový kurs na podporu výuky v českém jazyce je k dispozici studentům od akademického roku 2013/2014 na adrese: <http://moodle.lfhk.cuni.cz/moodle2/course/view.php?id=798>. Kurs na podporu výuky v anglickém jazyce je k dispozici na stejné adrese od akademického roku 2014/2015.

Oba kursy využívají Moodle v lokální aplikaci Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Hradci Králové. Kursy byly v době před pandemií používány výhradně pro tzv. blended výuku, kdy studenti navštěvovali přednášky a praktika a paralelně studovali příslušná témata pomocí studijních materiálů kursu. Přednášky probíhaly ve Výukovém centru Lékařské fakulty v areálu Fakultní nemocnice Hradec Králové (Obr. 1), praktická cvičení v prostorách Tkáňové ústředny, samostatného oddělení Fakultní nemocnice, v témže areálu (Obr.2). Podmínkou udělení zápočtu bylo, kromě účasti na výuce, též zvládnutí testu znalostí a zpracování seminární práce formou krátké přednášky přednesené na závěrečném semináři. V dalším textu se zabýváme pouze výukou v českém jazyce, neboť během pandemie se žádní studenti do anglické verze předmětu nepřihlásili.



Obrázek 1 – Výukové centrum Lékařské fakulty



Obrázek 2 – Kryokonzervační sklad Tkáňové ústředny

#### 2.1.1 Základní charakteristiky E-learningového kursu

V klasické výuce se předmět zabývá třemi hlavními tématy:

1. Dárčovství buněk, tkání a orgánů
2. Principy nízkoteplotní konzervace buněk, tkání a orgánů
3. Principy jištění jakosti v tkáňových a odběrových zařízeních

Studenti mají možnost vybrat si téma seminární práce na jedno z předložených 5 až 6 témat.

V E-learningové verzi je přidáno 4. téma „Základní procesy v tkáňových zařízeních a principy jejich validace“. Páté téma-seminární práce, představuje databáze pro jejich archivaci. Krátké testy o 5 otázkách byly zařazeny za témata 1, 2 a 3. Pokud student uspěl, mohl postoupit k dalšímu tématu, pokud ne, musel materiály prostudovat znovu a pokusit se znovu zvládnout test.

#### 2.1.2 Cíl kursu a jeho kvantifikace

Cílem kursu bylo umožnit studentům:

1. Naučit se individuálním tempem teoretické základy předmětu.
2. Získat zkušenost s přípravou seminární práce, jejím přednesením a obhajobou v diskuzi.

Nástroje pro dosažení těchto cílů představovaly povinné a doporučené studijní materiály, banka úloh o více než 100 otázkách a možnosti komunikace s učitelem a mezi studenty dostupné v Moodle.

V krátkých testech zařazených za jednotlivá témata musel student odpovědět správně alespoň 3 otázkami náhodně vybrané

z otázek k danému tématu. V závěrečném testu musel odpovědět správně alespoň 10 z 15 náhodně vybraných z otázek ke všem tématům. Všechny otázky byly založeny na výběru jedné správné odpovědi ze 4 možností, pokud nebylo v otázce výslovně uvedeno jinak, např. „vyberte 2 správné odpovědi“. Design a první praktické zkušenosti s použitím kursu byly publikovány v časopise Mefanet Journal (Měříčka et al.2013).

### 2.1.3 Verifikace kursu

Kurs byl verifikován na skupině 32 studentů studujících v českém jazyce. V testu znalostí všichni studenti uspěli a kurs dokončili. Značný počet studentů, přibližně 1/5, však musela opakovat některý z testů. Jako nejtěžší se ze tří témat jevila nízkoteplotní konzervace. Dále byly zjišťovány postoje studentů k E-learningové výuce, a to pomocí dotazníku o 12 otázkách, které byly vyhodnoceny podle Likertovy škály souhlasu. Studenti hodnotili kurs kladně, nepovažovali však za možné, aby zcela nahradil klasickou výuku volitelného předmětu. Výsledky verifikace kursu byly prezentovány na konferenci Mefanet v Brně, konferenci Society for Cryobiology v Ostravě (Měříčka et al.2015) a virtuálně na 10. mezinárodní konferenci o výuce, praktické výuce a informatice v Orlando, Florida (Měříčka et al 2019).

## 3 Způsob použití kursu během pandemie a jeho výsledky

### 3.1 Akademický rok 2019/2020 - první vlna pandemie

V březnu 2020 byla v České republice zavedena přísná protiepidemická opatření. Výuka volitelných předmětů na Univerzitě Karlově byla oficiálně zrušena. V té době bylo do volitelného předmětu přihlášeno 7 studentů. Jeden ze zapsaných studentů poslal garantovi předmětu dotaz, zda by bylo možné udělit zápočet pouze na základě absolvování E-learningového kursu. Po akceptování této možnosti proděkanou pro výuku byli všichni zapsaní studenti vyzváni k zápisu do E-learningového kursu. Tuto možnost využilo 6 studentů, 3 muži, 3 ženy; 4 z nich byli národnosti české, 1 slovenské, 1 studentka byla z Moldávie. Výuka proběhla zcela virtuálně s použitím výše popsaných nástrojů, které byly v té době k dispozici. Učitel sledoval aktivitu studentů prostřednictvím Moodlu, zasílal jim motivační mailové zprávy a odpovídal na dotazy. Všichni studenti tímto způsobem prošli kursem a zvládli závěrečný test. Doba, kterou ke zvládnutí potřebovali, byla velmi individuální a pohybovala se od 7 do 41 dnů. Na zvládnutí závěrečného testu navazovala příprava seminární práce, což studentům zabralo dalších, až 30 dnů. Seminární práce byly po kontrole učitelem a případných opravách vloženy do databáze v Moodle.

### 3.2 Akademický rok 2020/2021 – třetí vlna pandemie

Před zahájením výuky v březnu 2021 bylo do předmětu zapsáno 11 studentů, 6 mužů, 5 žen. Všichni se současně zapsali do kursu, 9 studentů bylo české národnosti, 1 slovenské, 1 vietnamské. Vzhledem k zahájení vakcinace koncem roku 2020 byla na jaře 2021 protiepidemická opatření částečně redukována. Výukové centrum Lékařské fakulty však bylo stále uzavřeno, přednášky proto proběhly opět virtuálně, učitel sledoval aktivitu studentů stejným způsobem, jako v předchozím roce. Praktická cvičení a závěrečný seminář proběhly standardně v prostorách Tkáňové ústředny. 10 studentů kurs úspěšně dokončilo, jeden student se sice zapsal, ale neprokázal žádnou aktivitu.

### 3.3 Akademický rok 2021/2022 zrušení většiny protiepidemických opatření

Před zahájením výuky v březnu 2022 bylo do předmětu zapsáno 18 studentů, 4 muži, 14 žen a všichni se též zapsali do kursu; 13 bylo národnosti české, 4 slovenské, 1 ukrajinské. Krátce před zahájením výuky byla protiepidemická opatření prakticky zrušena a způsob výuky se vrátil ke klasickému modelu blended-learning. Všichni studenti předmět úspěšně zvládli. Neobvyklé bylo, že jedna studentka opakovala jeden z krátkých testů 3x, což vyžadovalo udělení výjimky administrátorem kursu. Jeden z učitelů předmětu a autorů tohoto sdělení, PharmDr. J. Gregor, Ph.D., pořídil během celé teoretické i praktické části výuky kompletní videozáznamy.

### 3.4 Celkové výsledky

Kurs během akademických let ovlivněných pandemií absolvovalo celkem 34 studentů ze 4 zemí. Počet studentů se rok od roku zvyšoval, jak je patrné z tabulky 1.

Rok	Celkový počet studentů	Muži	Ženy	Země EU	Třetí země
2019/20	6	3	3	5	1
2020/21	10	6	4	10	0
2021/22	18	4	14	17	1
Celkem	34	13	21	32	2

Tabulka 1 – Počet studentů, kteří úspěšně absolvovali volitelný předmět

### 3.5 Náměty na zlepšení a stav jejich realizace

E-learningový kurs byl původně zamýšlen jako podpora teoretických aspektů volitelného předmětu. Již před pandemií jsme si však uvědomovali že je zapotřebí mít v kursu k dispozici více materiálů pro praktickou výuku, což bylo částečně realizováno v kursu Donation and Harvest of Cells and Tissues publikovaném na portálu Mefanet (Měříčka et al. 2016) a v novém kursu Low Temperature Preservation of Cells, Tissues and Organs, dokončeném v roce 2021. Oba tyto kursy však slouží pro podporu výuky v anglickém jazyce. Významným přínosem ke zkvalitnění české verze kursu bylo pořízení videozáznamů z přednášek i praktických cvičení. Záznamy byly po sestříhání a technické kontrole vloženy do databáze Medical Media a jsou studentům k dispozici jako doporučené studijní materiály.

## 4 Diskuse

Zkušenosti s použitím kursu během pandemie hodnotíme pozitivně. Ukázalo se, že existence verifikovaného E-learningového kursu, používaného ve výuce po dobu 6 akademických let před pandemií, dávala studentům jistotu, že výuka proběhne, o čemž svědčí postupně se zvyšující počet zapsaných studentů (Tabulka 1). To byla jistě výhoda proti volitelným předmětům závislým na možnosti přístupu studentů ke klinické praxi. V posledním akademickém roce 2021/22 byl počet zapsaných studentů dokonce nejvyšší v celé historii volitelného předmětu a přiblížil se maximu. Příčinu vidíme především v motivaci studentů i učitelů zvládnout výuku za mimořádné situace a v dlouhodobé podpoře moderních metody výuky ze strany vedení fakulty. Plně se podařilo využít výhody individuálního přístupu ke studentům, což bylo nejdůležitější především v prvním roce pandemie, na druhé straně se ovšem ukázala velká časová náročnost takového přístupu pro učitele. Obohacení studijních materiálů o videozáznamy

přednášek dostupných v databázi Medical Media bylo v souladu s celkovým trendem reorganizace výuky během pandemie.

## 5 Závěr

Dostupnost E-learningového kursu přispěla ke zvýšení zájmu studentů o volitelný předmět Základy odběru a konzervace tkání pro transplantace. Významným přínosem ke zkvalitnění výuky bylo zpřístupnění kompletních videozáznamů přednášek a praktických cvičení

## 6 Poděkování

Autoři děkují za finanční podporu projektem IT Medik: CZ1.07/2.2.00/15.0164 a projektem CZ.02.269/0.0/16-015 a Fakultní nemocnici Hradec Králové (UHHK 00179906). Dále děkují recenzentům MUDr. Jaroslavu Špatenkovi CSc. Z II. Lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice v Motole a Doc. MUDr. Leo Kleinovi, CSc z Fakulty vojenského zdravotnictví University obrany v Hradci Králové. Dále děkují pracovníkům Centra podpory moderních výukových metod Lékařské fakulty University Karlovy v Hradci Králové.

## E-LEARNING IN TEACHING AN ELECTIVE SUBJECT – EXPERIENCE FROM THE COVID - 19 PANDEMIC ACADEMIC YEARS (MEFANET)

### Abstract

**Background:** The authors have been using E-learning course „Basis of Harvest and Preservation of Tissues“ as a support of the elective subject established at the Charles University, Faculty of Medicine in Hradec Králové (subject code FV50012) since the academic year 2013/2014. Standard elective subject schedule consisted of 6 hours of lectures, 6 hours of practicals and 3 hours of a final seminar. The experience from the COVID-19 pandemic period in which the standard face-to-face teaching was partially or completely replaced by E-learning, is presented.

**Methods:** The electronic study materials covered three main topics: Cell and Tissue Donation and Harvest; Low Temperature Preservation of Cells and Tissues and Quality and Safety Aspects of Cell and Tissue Banking. The bank of questions, three short and one final tests and a database for uploading seminar theses were included in the course as well. The course was operated by Moodle and was available at the address: <http://moodle.lfhk.cuni.cz/moodle2/course/view.php?id=798>.

**Results:** In the year 2019/2020 when teaching was completely turned to E-learning, 6 students were enrolled. The teacher followed the activity of students exclusively via Moodle and communication with students was limited to e-mail correspondence. In the next academic year 10 students were enrolled, the lectures remained in the E-learning regime, while practicals and seminars were performed in the standard face-to-face manner. In the academic year 2021/22 when E-learning was used again as a support of standard teaching 18 students were enrolled. All students were able to complete the course including presentation of seminar theses. There were however considerable individual differences in time necessary to complete the course, especially in the year 2019/2020.

**Conclusion:** The availability of e-learning as replacement of standard teaching led to increased interest of students in the elective subject „Basis of Harvest and Preservation of Tissues“

### Key words

E-learning, blended learning, COVID-19 pandemic, tissue transplantation

### Financial support

Project ESF:CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_015/0002362, UHHK 00179906

### Literatura

- [1.] Měřička, P., Štěrba, L., Straková, H., Navrátil, P. et al. 2014: E-Learning Course: Basis of Harvest and Preservation of Tissues - Design and Initial Experience. *Mefanet Journal* 1, p.15-19
- [2.] Měřička, P., Štěrba, L., Straková, H., Brandejs, D.: Cryobiology in the E-learning course for medical students: Three-year experience, In : *Cryobiology* 71, 2015, p.565
- [3.] Měřička, P., Navrátil, P., Brandejs, D., Štěrba, L., Straková, H., Honegrová, B.: E-learning course: Donation and Harvest of Cells and Tissues. Multimedia support in the education of clinical and health care disciplines: Portal of Faculty of Medicine in Hradec Králové [online], [cit. 08. 02. 2022]. Available from WWW: <https://mefanet.lfhk.cuni.cz/articles.php?aid=69>. ISSN 1803-280X.
- [4.] Měřička, P., Navrátil, P., Brandejs, D., Štěrba, L., Straková, H., Honegrová, B. (2019) E-Learning Course: Donation and Harvest of Cells and Tissues. In Carrasquero, J. V., Callaos, N. C., Sanchez, B., Welsch, F., Tremante, A., eds. (2019) 10th International Conference on Education, Training and Informatics, International Institute of Informatics, Orlando, FL., p. 42-46

### Kontakt

MUDr. Pavel Měřička, Ph.D.

Tkáňová ústředna  
Fakultní nemocnice Hradec Králové  
500 05 Hradec Králové  
[pavel.mericka@fnhk.cz](mailto:pavel.mericka@fnhk.cz)

Jiří Gregor

Miroslava Jandová

Daniel Brandejs

Tkáňová ústředna  
Fakultní nemocnice Hradec Králové  
500 05 Hradec Králové

Pavel Navrátil

Urologická klinika Lékařské fakulty  
University Karlovy v Hradci Králové  
a Fakultní nemocnice Hradec Králové,  
Česká republika



## DIAGNOSTIKA NORMOTENZNÍHO HYDROCEFALU POMOCÍ STROJOVÉHO UČENÍ

Arnošt Mládek, Václav Gerla, Petr Šeba, Petr Skalický,  
Vladimír Beneš, Ondřej Bradáč

### Abstrakt

Nitrolební tlak (ICP) představuje jeden z nezastupitelných parametrů neurointenzivní péče a jako takový je předmětem intenzivního vědeckého výzkumu. Diagnostický význam ICP je podmíněn dvěma faktory: i) umístěním centrální nervové soustavy v pevné kostěné schránce, kdy lokální expanzivní procesy (nádory, abscesy, krvácení) se, i při relativně malých objemech, mohou projevit nitrolební hypertenzí; ii) specifickou vlastností centrální nervové soustavy reagovat relativně uniformně na různé patologické situace, neboť etiologicky různá difúzní poškození nervové tkáně vedou k rozvoji edému, který je opět příčinou elevace ICP. Komplikací monitorace ICP je nutnost neurochirurgického zavedení tlakového čidla do nitrolebního prostoru, a s tím souvisejících rizik jako krvácení, neuroinfekce a traumatizace tkáně.

Nitrolební tlak je více než číslo na monitoru, přestože je na tuto informaci v klinické praxi často redukován. Podobně, jako jde informační obsah EKG vysoko nad rámec výpočtu tepové frekvence, pochopení dynamiky ICP nám může mnohé napovědět nejen o aktuálním stavu, ale i prognóze pacienta.

Předkládaná studie se týká matematické analýzy ICP signálu z lumbálního infuzního testu (LIT) prováděného v rámci diferenciálně diagnostické baterie pro identifikaci syndromu normotenzního hydrocefalu (NPH). Standardní vyhodnocení LIT stojí na výpočtu jediné hodnoty – výtokového odporu  $R_{out}$ , na základě které je odhadnuta reakce pacienta na trvalou drenáž CSF s přesností ~ 62%. Za použití moderních metod strojového učení jsme sestavili algoritmus, který na základě až 48 příznaků vypočtených z ICP signálu klasifikuje pacienta jako (ne) vhodného kandidáta pro zkratovou operaci, a to s přesností až ~82%. Navržený algoritmus má tak potenciál v budoucnu plně nahradit stávající zlatý diagnostický standard, 5-denní lumbální drenáž (ELD), která je však spojena s rizikem infekce, nitrolební hypotenzní cefaleou a finančními náklady na hospitalizaci.

### Klíčová slova

nitrolební tlak, ICP, lumbální infuzní test, LIT, normotenzní hydrocefalus, NPH, strojové učení

### 1 Úvod

Normotenzní hydrocefalus (NPH) je neurodegenerativní onemocnění seniorů se stále se zvyšující prevalencí (1). NPH je typicky charakterizováno Hakimovou trias zahrnující močovou inkontinenci, demenci a poruchy chůze (2). Klinický obraz je doplněn ventrikulomegalií, avšak bez známek obstrukčního hydrocefalu nebo nitrolební hypertenze. Klinické projevy však nejsou vždy plně vyjádřeny, případně jsou zastíněny jinými komorbiditymi nebo známkami stárnutí.

Zavedení trvalého ventrikulo-peritoneálního zkratu (VP shunt) představuje efektivní chirurgickou léčbu NPH (3), která zpomaluje progresi onemocnění a zvyšuje kvalitu života u 70–90% pacientů (4). Diagnóza NPH stojí na klinickém stavu pacienta, MRI obrazu a vyhodnocení dynamických CSF parametrů získaných z LIT, externí lumbální drenáže (ELD) nebo tap testu (TT). I přes výrazný pokrok v zobrazovacích metodách, diagnóza NPH zůstává netriviálním úkolem. Podle studie (5) až 30% pacientů splňující MRI kritéria pro NPH nevykazuje ani Hakimovu klinickou triadu ani zvýšenou výtokovou rezistenci CSF.

Bylo odhadnuto, že až 80% pacientů s NPH zůstává nerozpoznáno a je léčeno neodpovídajícím způsobem (4). Senzitivita a specifická LIT pro diagnostiku NPH je v rozmezí 56–100%, resp. 50–90% (6, 7). I přes to zůstává LIT přínosným diagnostickým nástrojem k odhalení snížené compliance CSF poukazující na suspektní NPH (8–11). Dočasná ELD aplikovaná typicky na dobu 3–5 dní má v porovnání s LIT obecně vyšší diagnostickou pozitivní predikční hodnotu (80–100%), senzitivitu (50–100%) i specifitu (60–100%) (8). I přes riziko závažné komplikace objevující se až u 3% pacientů, ELD představuje metodu s nejvyšší přesností predikce dopadu VP zkratu a je obecně uznávaná jako zlatý standard v diagnostice NPH (12, 13).

Znalost signaturních příznaků ICP signálu, které by svou (ne)přítomností poukazyvaly na zvýšenou nebo sníženou vnímavost suspektního NPH pacienta k případné implantaci VP zkratu, je v současné době velmi omezená. Přestože nasazení metod strojového učení (machine learning, ML) a umělé inteligence (artificial intelligence, AI) v oblasti neurovědních oborů je obecně na vzrůstu (14–16), jejich aplikace v rámci diagnostiky NPH je v současné době minimální (17, 18).

Primárním cílem studie (19) bylo i) nalezení dostatečně NPH-specifických příznaků ICP signálu a ii) za pomoci moderních metod ML/AI sestavení klasifikačního algoritmu se schopností predikce dopadu drenáže CSF na klinický stav pacienta. Vzhledem k úloze LIT v diagnostické baterii NPH je možné uvedený cíl studie reformulovat jako zpřesnění diagnostické senzitivity a specifity LIT za pomoci ML/AI metod.

## 2 Metody

### 2.1 LIT, ELD a akvizice dat

Cílem LIT je stanovení compliance CSF prostřednictvím infuze fyziologického roztoku do subarachnoidálního prostoru páteřního kanálu. Klasickým parametrem pro identifikaci vhodných kandidátů pro zkratovou operaci je výtokový odpor  $R_{out}$  (mmHg.min.ml<sup>-1</sup>), který je definován jako tlakový gradient mezi výchozím a finálním stavem dělený rychlostí infuze (20).

Náš modifikovaný LIT protokol (19) sestává ze tří navazujících fází. Během fáze I získáváme rovnovážnou ICP křivku s konstantní průměrnou hodnotou. Fáze II odpovídá klasickému LIT: infuzní pumpa je zapnutá, dokud není dosaženo nového rovnovážného stavu, kdy dojde k ustálení průměrné hodnoty ICP. Fáze III představuje test rychlosti návratu systému do původního stavu. Během LIT bylo synchronně monitorováno EKG za účelem segmentace ICP signálu metodou „timelocking“.

Externí lumbální drenáž (ELD) představuje test, na základě kterého byli suspektní NPH pacienti rozděleni do podskupin NPH a non-NPH. Pětidenní ELD byla zavedena u všech pacientů ihned po LIT, nehledě na hodnotu  $R_{out}$ . Hodnocení ELD bylo provedeno na základě rozdílu v klinické symptomatologii pacienta před a po ELD, konkrétně rozdílu v testu chůze, kognitivním stavu, intenzitě močové inkontinence a celkovém klinickém stavu.

### 2.2 Zpracování dat a extrakce příznaků

V předkládané studii bylo spočteno a analyzováno celkově 48 ICP příznaků spadajících do 7 skupin: časově-dynamické (F01–F11), integrální (F12–F13), nelineární (F14–F21), příznaky založené na integrální vlnkové transformaci (F22–F28), příznaky založené na rekurentní kvantifikační analýze (RQA) ICP signálu (F29–F40), příznaky spočtené pouze z EKG (F41–F42) a příznaky vycházející z „timelocking“ segmentace (F43–F48). Před vlastní klasifikační úlohou byly hodnoty příznaků centrovány, normovány a byl proveden t-test na normální rozdělení.

### 2.3 Klasifikační proces

V rámci studie jsme otestovali 8 klasifikačních modelů strojového učení (ML modelů) implementovaných v Scikit-Learn Python knihovně: RandomForest (RF), LogisticRegression (LogReg), GaussianNaiveBayes (GaussNB), Support VectorMachine (SVM), AdaptiveBoosting (AdaBoost), Extra-trees (ExtraTrees), Gradient Boosting (GradientBoost) a eXtreme Gradient Boosting (XGBoost). Parametry ML modelů byly ponechány na výchozích doporučených hodnotách.

**Detaily křížové validace.** Byla aplikována sekvenční selekce příznaků (SFS) pro redukci dimenze prostoru příznaků. Byla použita dvojitá vnořená krosvalidace (CV); vnitřní pěti-skupinová křížová validace pro selekci příznaků pomocí SFS a vnější „leave-one-out“ krosvalidace (LOOCV) pro validaci finální množiny příznaků. V LOOCV přístupu je každý z  $N$  subjektů souboru použit právě jednou jako jednoprvková testovací množina, ostatních  $N - 1$  prvků pak tvoří trénovací množinu. Klasifikační model je následně trénován  $N$ -krát a validován na každém prvku separátně. Výsledné charakteristiky modelu jsou pak průměrem přes všechny LOOCV cykly. Pro porovnání jednotlivých ML modelů byla provedena ROC analýza. Dále byla spočtena důležitost příznaku (FI), metrika určující přínosnost daného příznaku pro přesnost modelu.

### 3 Výsledky

#### 3.1 Dataset pacientů

V Tabulce 1 jsou uvedeny základní charakteristiky souboru pacientů. Průměrný věk kohorty byl  $73.7 \pm 6.9$  let; 68% pacientů byli muži. Z celkového počtu 46 NPH pacientů, 29 (63%) mělo pozitivní LIT a 17 (37%) negativní LIT. Kompletní Hakimova triáda byla vyjádřena u 36 NPH pacientů (78%), v non-NPH skupině byla klinická triáda popsána u 28 (56%) pacientů. Porucha chůze klasifikovaná pomocí DutchGaitScale (21) byla nejčastějším klinickým příznakem u téměř všech pacientů, přítomnost močové inkontinence byla nejméně častá. Mezi pacienty NPH a non-NPH skupiny nebyl detekován statisticky signifikantní rozdíl v pohlaví věku. U 80% zkratovaných pacientů bylo v rámci tříměsíční kontroly zaznamenáno výrazné klinické zlepšení, 5 pacientů nebylo z různých důvodů vyšetřeno.

#### 3.2 Vyhodnocení ICP/EKG příznaků

V Tabulce 2 jsou uvedeny průměrné hodnoty vypočtených ICP/EKG příznaků F01–F48, které byly použity pro konstrukci ML modelů.

#### 3.3 Vyhodnocení klasifikační přesnosti ML modelů

V Tabulce 3 jsou uvedeny následující charakteristiky ML modelů: přesnost, AUC, senzitivita a specifita. Z testovaných algoritmů dosahuje XGBoost při použití všech 48 příznaků nejvyšší diskriminační schopnosti s přesností 80.2%, AUC 0.887, senzitivitou 86.0% a specifikou 73.9%. Klasická klasifikace postavená na parametry výtokové rezistence Rout dosahuje nižší shody s výsledkem ELD s přesností 62.5%, senzitivitou 62.0% a specifikou 63.0%.

Na Obrázku 1 je zobrazena analýza XGBoost klasifikátoru. Z pohledu hodnoty AUC (0.891), přesnosti (82.3%) a senzitivity (86.1%) je nejlepšího klasifikačního výsledku dosaženo při použití 8 příznaků (Obrázek 1, A–B). Nejvyšší specifity (78.3%) dosahuje model při použití 7 příznaků (Obrázek 1, C). Přínosnost jednotlivých příznaků pro identifikaci pacientů jako NPH a non-NPH je kvantifikována pomocí FI metriky, která reflektuje frekvenci využití příslušného příznaku v klasifikačním algoritmu (Obrázek 1, E). Kalibrační křivka (Obrázek 1, F) demonstruje míru shody mezi predikovanými a pozorovanými pravděpodobnostmi klasifikace.

### 4 Diskuze

ICP signál vykazuje v časové a frekvenční doméně komplexní motivy, jejichž znalost může být přínosná v klinické praxi. Není překvapivé, že stěžejní příznak s nejvyšší hodnotou FI je F01 (Obrázek 1, E), elevace ICP v infuzní fázi LIT. Jedná se de facto o hodnotu Rout, která není škálována reciprokou hodnotou rychlosti infuze. Příznak F01 je, dle očekávání, statisticky signifikantně vyšší u NPH pacientů ( $p = 1.4e-5$ ,  $FI = 62$ ; Tabulka 2), ve shodě s principem LIT. Klasifikační přesnost potenciálního XGBoost modelu založeného pouze na jediném příznaku (<60%; Obrázek 1, A) je nižší než přesnost ruční klasifikace podle Rout. Tato diskrepance pramení z faktu, že vyšetřující lékař má k dispozici další informace, například o pohybu pacienta v průběhu testu, a bere tak v potaz případné artefakty měření. Stávající ML model informací o pohybových artefaktech nemá a dosahuje proto nižší nominální přesnosti.

Zbývající příznaky F02–F48 vykazují dva fenomény. Obecně je interpretace takto abstraktních příznaků netriviální, neboť zde chybí jasný klinický korelát. Jejich fyziologické vysvětlení je spíše spekulativní a je předmětem dalšího výzkumu. Druhým fenoménem je metrika FI, která nemusí nutně korelovat s vypočtenými  $p$ -hodnotami. Jinými slovy, příznaky, které by v rámci standardní statistické analýzy byly hodnoceny jako „nezajímavé“ pro rozlišení NPH a non-NPH pacientů, se mohou ukázat jako velmi přínosné pro ML klasifikační model a obráceně. Například 3. a 4. nejpřínosnější příznak pro XGBoost model, F14: entropie rICP-fICP difference ( $FI = 46$ ,  $p = 1.4e-1$ ) a F12: integrál normalizované ICP křivky ( $FI = 33$ ,  $p = 3.6e-1$ ), by byly v rámci statistického testování s rezervou zamítnuty.

Z výsledků je zřejmé, že využití příznaků F02–F48 zvýší klasifikační přesnost XGBoost modelu o ~25% v porovnání s hypotetickým jedno-příznakovým modelem, a o ~20% oproti Rout klasifikaci. Uvedený výsledek ilustruje hlavní přínos moderních ML metod, tj. schopnost nalézt v multidimenzionálním příznakovém prostoru skryté a klinicky relevantní vazby.

Přestože nemůže v současné době ML evaluace plně nahradit ELD, představuje alternativní metodu pro selekci pacientů indikovaných pro permanentní drenáž likvoru. Přínos náminavřezného ML modelu (19) je ilustrován na Obrázku 2.

Vyhodnocení ICP záznamu pacientů P1 a P2 je relativně snadné, výsledek manuální klasifikace pomocí Rout je ve shodě s výsledkem ML modelu a obě metody souhlasí se závěrem ELD. Pacienti P3 a P4 se naopak nacházejí v diagnostické „šedé zóně“. Výtokový odpor pacienta P3 byl  $13.8 \text{ mmHg.min.ml}^{-1}$ , podle Rout byl tedy klasifikován jako LIT+. Naopak Rout pacienta P4 bylo výrazně podlimitní ( $7.3 \text{ mmHg.min.ml}^{-1}$ ), pacient byl dle standardního postupu klasifikován jako LIT-. Výsledek ELD byl v obou případech v protikladu s Rout závěrem: klinický stav pacienta P4 se výrazně zlepšil po ELD i následném zavedení VP zkratu v rámci tříměsíční kontroly; pacient P3 nevykazoval zlepšení po ELD a nebyl proto indikován ke zkratové operaci. Ve všech případech P1–P4 byl XGBoost model ve shodě s ELD.

### 5 Závěr

Lumbální infuzní test představuje základní metodu funkčního vyšetření resorpce likvoru využívanou v rámci diagnostiky NPH. Hodnocení LIT je postaveno na vyčíslení výtokové rezistence Rout a porovnání s hraniční hodnotou. Celý, přibližně 30 minutový zátěžový test, ve kterém se sleduje odezva ICP na rychlostně konstantní bolus roztoku, se tak redukuje do jediného čísla. To je pravděpodobně příčinou relativně nízké senzitivity (62.0%) i specifity (63.0%), ne testu jako takového, ale způsobu jeho hodnocení dle Rout.

Nosná myšlenka námi navrženého postupu evaluace LIT (19) stojí na dvou pilířích: i) výpočet desítek signálových příznaků

ze získaného ICP/EKG záznamu a ii) aplikace moderních metod strojového učení pro nalezení takových příznakových kombinací a váhových koeficientů, které nám s vysokou přesností klasifikují pacienta jako NPH, tj. vnímavého k dočasné/permanentní drenáži CSF, nebo non-NPH, tj. bez klinické odezvy na diverzi moku.

Z testovaných ML modelů dosahoval nejlepších výsledků eXtreme Gradient Boosting klasifikátor. Z 48 příznaků definovaných napříč různými oblastmi signálového zpracování jsme identifikovali 8, které, ač samy o sobě často nevýznamné pro diskriminaci NPH vs. non-NPH (s výjimkou například F01), poskytují v kombinaci s XGBoost algoritmem přesnost klasifikace 82.3% (senzitivita 86.1%; specifická 78.3%). Jinými slovy klasifikátor XGBoost našel v 48- rozměrném příznakovém prostoru takový 8-dimenzionální podprostor, že projekce jednotlivých pacientů do tohoto podprostoru tvoří oddělené shluky NPH a non-NPH pacientů. V porovnání s přístupem založeným na Rout jsme tak dosáhli zpřesnění klasifikace o ~20% a zvýšili tak výťažnost LIT.

## DIAGNOSTICS OF NORMAL PRESSURE HYDROCEPHALUS BY MEANS OF MACHINE LEARNING METHODS

### Abstract

Intracranial pressure (ICP) is an irreplaceable neurointensive care parameter and is an area under intensive research. The great diagnostic importance of ICP is underlied by two factors: (1) the central nervous system (CNS) is placed in a rigid cranial vault and even small local expansive processes (e.g. tumors,

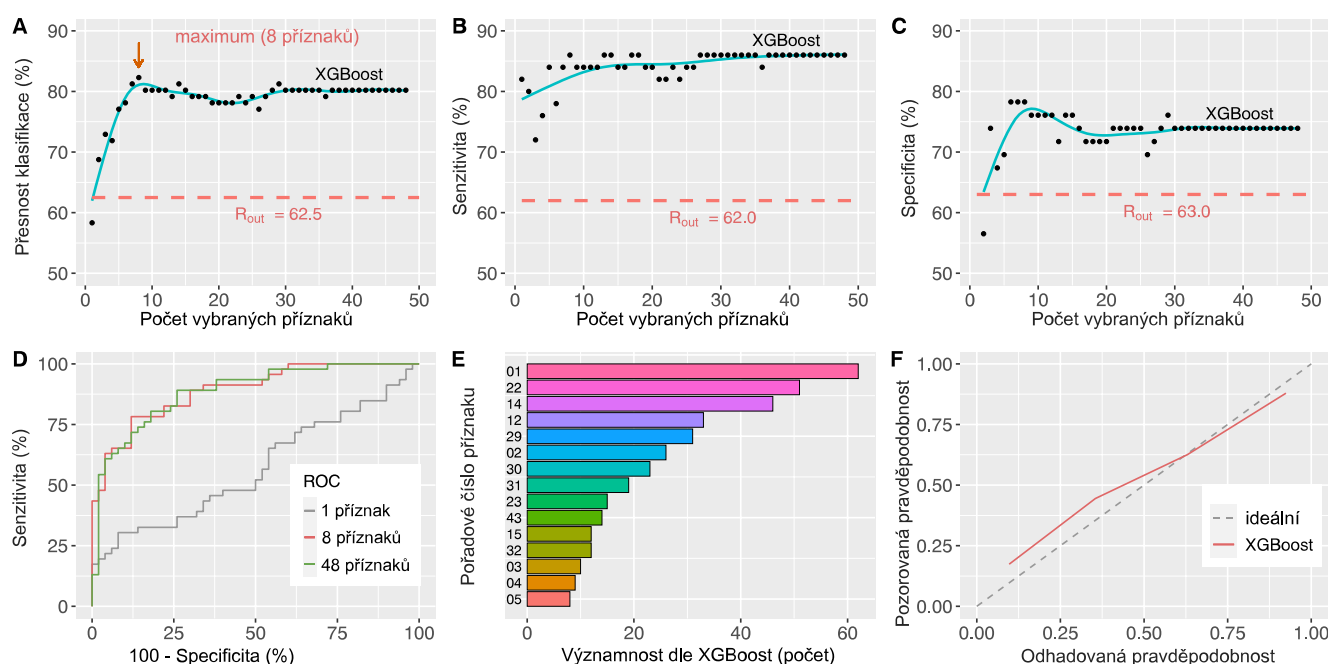
abscesses, bleeding) may lead to intracranial hypertension; (2) a specific property of the CNS is a rather uniform response to various pathological events since many etiologically heterogeneous diffuse injuries of neural tissue lead to oedema elevating ICP. The complexity of ICP monitoring stems from the neurosurgical insertion of the pressure sensor into the intracranial space and the associated risks of bleeding, neuroinfection and brain tissue damage.

Intracranial pressure is more than just a number on a bedside monitor, even though in clinical practice this simplification is rather common. Similarly to electrocardiogram (ECG) signals whose information content goes well beyond heart rate calculation, understanding of ICP dynamics can provide us with insight into the current clinical status as well as prediction of further evolution.

The present study deals with the mathematical analysis of the lumbar infusion test (LIT) ICP signal with LIT being a part of the normal pressure hydrocephalus (NPH) diagnostic battery. The common LIT is evaluated using a single calculated value, the outflow resistance  $R_{out}$ , which predicts the CSF shunt implantation response with an accuracy of ~ 62%. We have developed a state-of-the-art machine learning algorithm which takes into account up to 48 ICP waveform features and classifies the patient as (un)suitable for permanent CSF drainage with an accuracy of ~ 82%. The designed classifier has the potential to fully replace the 5-day external lumbar drainage (ELD) associated with the risk of infection, intracranial hypotension and financial costs.

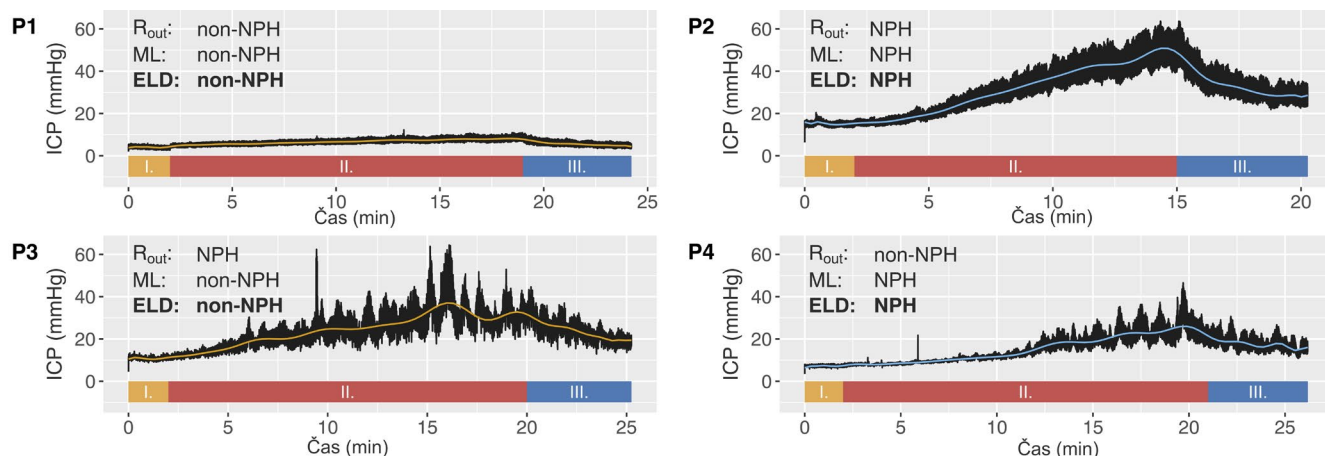
### Keywords

intracranial pressure, ICP, lumbar infusion test, LIT, normal pressure hydrocephalus, NPH, machine learning



Obrázek 1 – Detailní analýza klasifikačního ML modelu XGBoost. A: klasifikační přesnost modelu (%) v závislosti na počtu použitých příznaků; B: senzitivita modelu (%) jako funkce počtu příznaků; C: specifická modelu (%) jako funkce počtu příznaků; D: ROC křivka XGBoost modelu pro 1 (šedá), 8 (červená) a všech 48 (zelená) příznaků; E: seřazení příznaků podle důležitosti měřené metrikou F1; F: kalibrační křivka modelu. A–C: červená čárkovaná úsečka označujepřislušnou hodnotu pro manuální Rout klasifikaci.





Obrázek 2 – Ukázka klasifikace ICP záznamu z LIT pro vybrané čtyři pacienty P1–P4: vyhodnocení podle  $R_{out}$  vs. XGBoost ML modelu.  $R_{out}$ : klasifikace LIT podle výtokové rezistence; ML: klasifikace LIT podle XGBoost modelu; ELD: vyhodnocení dle 5-denní lumbální drenáže. P1: jednoznačně negativní pacient; P2: jednoznačně pozitivní pacient; P3: diagnosticky komplikovaný pacient s jednoznačně nadlimitní hodnotou  $R_{out}$ , ale bez odpovědi na drenáž; P4: diagnosticky komplikovaný pacient s jednoznačně podlimitní hodnotou  $R_{out}$ , jehož klinický stav se výrazně zlepšil po ELD.

Třída	Proměnná	NPH	non-NPH	Celkem
Obecné	Počet pacientů	46 (48)	50 (52)	96 (100)
	Pohlaví (M/Ž)	30/16 (65/35)	35/15 (70/30)	65/31 (68/32)
	Věk	73.5 ± 4.7	73.9 ± 8.6	73.7 ± 6.9
	CCI	5.8 ± 1.8	5.8 ± 2.0	5.8 ± 1.9
LIT	Pozitivní/Negativní	29/17 (63/37)	19/31 (38/62)	48/48 (50/50)
	Průměrná délka fáze	1:46/16:13/4:35	1:36/16:28/4:56	1:41/16:21/4:46
Trias	Chůze (A/N/NA)	46/0/0 (100/0/0)	48/1/1 (96/2/2)	94/1/1 (98/1/1)
	Inkontinence (A/N/NA)	39/7/0 (85/15/0)	31/18/1 (62/36/2)	70/25/1 (73/26/1)
	Demence (A/N/NA)	43/3/0 (93/7/0)	42/7/1 (84/14/2)	85/10/1 (89/10/1)
	Příznaků (3/2/1/0)	36/10/0/0	28/17/3/2	64/27/3/2
Zlepšení	3 měsíce (A/N/NA)	33/8/5 (80/20)	NA	NA
	12 měsíců (A/N/NA)	18/6/22 (72/25)	NA	NA

CCI: Charlsonův komorbidity index (Charlson a kol., 1987; de Groot a kol., 2003). NA: neaplikováno nebo nedostupná hodnota. Průměrná délka fáze je v minutách. Hodnoty uvedené v závorce jsou v %.

Tabulka 1 – Základní charakteristika datasetu NPH-suspektních pacientů (96)

Model	AUC	Přesnost (%)	Senzitivita (%)	Specifická (%)
$R_{out}$	NA	62.5	62.0	63.0
RF	0.707	68.5	72.0	63.0
LogReg	0.711	70.8	80.0	60.9
GaussNB	0.688	71.6	84.0	52.2
SVM	0.728	71.9	86.0	56.5
AdaBoost	0.707	75.0	84.0	65.2
ExtraTrees	0.817	76.0	82.0	69.6
GradientBoost	0.895	79.2	86.0	71.7
<b>XGBoost</b>	<b>0.887/0.891 (8)</b>	<b>80.2/82.3 (8)</b>	<b>86.0/86.1 (8)</b>	<b>73.9/78.3 (7)</b>

U XGBoost modelu X/Y (Z): X odpovídá hodnotě při použití všech 48 příznaků, Y hodnotě při použití optimálního počtu příznaků Z. AUC: plocha pod ROC křivkou.

Tabulka 3 – Vyhodnocení klasifikační přesnosti testovaných ML modelů

ID	NPH		non-NPH		P	FI	Popis příznaku
	Průměr	SD	Průměr	SD			
01	20.9	7.3	14.9	5.4	1.41e-5	62	Q <sub>0.99</sub> (ICP)-Q <sub>0.01</sub> (ICP); fICP
02	17.7	6.7	13.0	4.6	1.32e-4	26	mean(ICP(L30))-mean(ICP(F30)); fICP
03	3.23	1.21	2.68	1.16	2.65e-2	10	SD(ICP); rICP-fICP
04	1.22	0.63	0.83	0.29	1.83e-4	9	mean(minutové ΔICP inkrementy); fICP
05	18.1	6.7	13.7	4.8	3.14e-4	8	mean(ICP(L60)); fICP
06	-2.42	1.15	-1.65	0.71	1.75e-4	6	sečna ICP ve fázi III.; fICP
07	1.43	0.72	1.02	0.55	1.85e-3	2	SD(minutové ΔICP inkrementy); fICP
08	1.16	0.52	0.82	0.29	1.59e-4	2	sečna ICP ve fázi II.; fICP
09	12.5	3.8	11.2	3.5	9.20e-2	1	mean(ICP) ve fázi I.; fICP
10	8.57	3.29	6.92	3.23	1.50e-2	1	Q <sub>0.99</sub> (ICP); rICP-fICP
11	27.8	9.1	21.1	7.3	1.30e-4	0	Q <sub>0.99</sub> (ICP)-Q <sub>0.01</sub> (ICP); rICP
12	1.84e+3	2.80e+3	2.54e+3	4.38e+3	3.55e-1	33	normalizované AUC; rICP-fICP
13	1.38e+6	3.51e+5	1.15e+6	3.26e+5	9.73e-4	4	normalizované AUC; fICP
14	-4.07e+7	3.78e+7	-2.96e+7	3.47e+7	1.36e-1	46	En(ICP); rICP-fICP
15	-7.16e+3	3.91e+3	-4.27e+3	2.48e+3	3.39e-5	12	En(ICP(L120)); fICP
16	6.73	0.57	6.26	0.63	2.40e-4	4	LogEn(ICP(L120)); fICP
17	1.78	0.12	1.85	0.08	1.11e-3	2	HFD(ICP(L120)); fICP
18	-0.16	0.13	-0.08	0.09	2.64e-3	2	HFD(ICP(L120))-HFD(ICP(F120)); fICP
19	1e.93	0.08	1.93	0.08	9.76e-1	1	HFD(ICP(F120)); fICP
20	-1.15e+3	8.06e+2	-8.45e+2	5.12e+2	2.70e-2	1	En(ICP(F120)); fICP
21	5.13	0.63	4.85	0.73	5.01e-2	0	LogEn(ICP(F120)); fICP
22	0.03	0.01	0.03	0.01	4.11e-2	51	mean(CWT výkon v 0.18-0.62 Hz); rICP
23	0.05	0.01	0.05	0.01	9.94e-2	15	mean(CWT výkon v 0.05-0.18 Hz); rICP
24	0.57	0.27	0.42	0.17	2.25e-3	2	mean(CWT výkon v 1.92-10.00 Hz); rICP
25	0.03	0.01	0.03	0.01	1.60e-2	0	mean(CWT výkon v 0.62-1.92 Hz); rICP
26	0.40	0.12	0.42	0.12	4.38e-1	0	pos(max(CWT v 0.18-0.62 Hz)); rICP
27	1.83	0.26	1.79	0.38	5.27e-1	0	pos(max(CWT v 0.62-1.92 Hz)); rICP
28	9.40	1.54	9.77	1.33	2.12e-1	0	pos(max(CWT v 1.92-10.00 Hz)); rICP
29	98.9	0.7	99.2	0.4	1.33e-1	31	DET(R(F30)); rICP
30	99.1	0.7	99.4	0.3	4.57e-3	23	DET(R(L30)); rICP
31	20.4	4.0	22.3	3.9	1.57e-2	19	TT(R(L30)); rICP
32	5.25	0.63	5.47	0.39	4.05e-2	12	En(R(F30)); rICP
33	5.06	0.63	5.31	0.42	2.66e-2	7	En(R(mean(A30))); rICP
34	99.8	0.2	99.8	0.1	1.30e-2	7	LAM(R(mean(A30))); rICP
35	99.6	0.4	99.7	0.3	2.55e-1	6	LAM(R(F30)); rICP
36	99.8	0.2	99.9	0.1	2.71e-2	6	LAM(R(L30)); rICP
37	22.0	4.5	23.5	4.2	7.64e-2	3	TT(R(mean(A30))); rICP
38	24.1	8.6	25.9	10.3	3.70e-1	2	TT(R(F30)); rICP
39	4.93	0.69	5.18	0.51	4.58e-2	1	En(R(L30)); rICP
40	99.1	0.6	99.3	0.3	6.94e-3	1	DET(R(mean(A30))); rICP
41	76.6	9.5	69.6	10.2	2.49e-2	2	mean(HR); EKG
42	77.0	9.1	69.8	10.7	2.26e-2	0	median(HR); EKG
43	232	49	263	65	8.38e-2	14	pos(max(dICP(F200ms))); rICP
44	373	70	401	74	1.99e-1	0	pos(max(ICP(F200ms))); rICP
45	227	49	262	62	4.25e-2	0	pos(max(dICP(F500ms))); rICP
46	230	94	249	60	4.38e-1	0	pos(max(dICP(L200ms))); rICP
47	0.30	0.13	0.18	0.07	5.35e-4	0	pos(max(ICP(L200ms))); rICP
48	-0.04	0.21	-0.09	0.24	5.19e-1	0	S(dICP(L200ms))-S(dICP(F200ms))

V popisu příznaků byla použita operátorová notace  $\mathbf{X}(Y)$ , kde  $\mathbf{X}$  je operátor počítané veličiny,  $Y$  je vstup. **CWT**: vlnková transformace,  $\mathbf{Q}_k()$ :  $k$ -tý percentil, **SD**(): standardní odchylka, **AUC**: plocha pod křivkou, **HFD**(): Higuchiho fraktální dimenze, **En**(): entropie, **LogEn**(): logaritmus energie entropie, **mean**(): průměrná hodnota, **max**(): maximum, **min**(): minimum, **pos**(): pozice maxima/minima na časové nebo frekvenční ose, **R**(): rekurentní mapa, **DET**(): determinismus, **TT**(): čas zachycení, **LAM**(): laminarita, **dICP**: časová derivace ICP, **S**(): šikmost. **F#**: prvních # sekund záznamu, **L#**: posledních # sekund záznamu, **A#**: výpočet přes všechny # sekundové segmenty záznamu. S výjimkou F06 a F09, které odpovídají LIT fázi III a I, všechny příznaky byly počítány pro LIT fázi II.

Tabulka 2 – Seznam a průměrná hodnota ICP/EKG příznaků seřazených dle FI



## Literatura

- [1.] Andersson, J., Rosell, M., Kockum, K., Lilja-Lund, O., Söderström, L. a Laurell, K. (2019). Prevalence of idiopathic normal pressure hydrocephalus: A prospective, population-based study. *PLoS One*, 14(5), e0217705. ISSN 1932-6203. doi: 10.1371/journal.pone.0217705.
- [2.] Hakim, S. a Adams, R. D. (1965). The special clinical problem of symptomatic hydrocephalus with normal cerebrospinal fluid pressure. Observations on cerebrospinal fluid hydrodynamics. *Journal of the Neurological Sciences*, 2(4), 307–327. ISSN 0022-510X. doi: 10.1016/0022-510X(65)90016-x.
- [3.] Reddy, G. K., Bollam, P. a Caldito, G. (2014). Long-Term Outcomes of Ventriculoperitoneal Shunt Surgery in Patients with Hydrocephalus. *World Neurosurgery*, 81(2), 404–410. ISSN 18788750. doi: 10.1016/j.wneu.2013.01.096.
- [4.] Kiefer, M. a Unterberg, A. (2012). The Differential Diagnosis and Treatment of Normal-Pressure Hydrocephalus. *Deutsches Aerzteblatt Online*. ISSN 1866-0452. doi: 10.3238/arztebl.2012.0015. URL <https://www.aerzteblatt.de/10.3238/arztebl.2012.0015>.
- [5.] Czepko, R. a Cieslicki, K. (2016). Repeated assessment of suspected normal pressure hydrocephalus in non-shunted cases. A prospective study based on the constant rate lumbar infusion test. *Acta Neurochirurgica*, 158(5), 855–863. ISSN 0001-6268, 0942-0940. doi: 10.1007/s00701-016-2732-5. URL <http://link.springer.com/10.1007/s00701-016-2732-5>.
- [6.] Hebb, A. O. a Cusimano, M. D. (2001). Idiopathic normal pressure hydrocephalus: a systematic review of diagnosis and outcome. *Neurosurgery*, 49(5), 1166–1184; discussion 1184–1186. ISSN 0148-396X. doi: 10.1097/00006123-200111000-00028.
- [7.] Skalický, P., Mládek, A., Vlasák, A., De Lacy, P., Beneš, V. a Bradáč, O. (2020). Normal pressure hydrocephalus – an overview of pathophysiological mechanisms and diagnostic procedures. *Neurosurgical Review*, 43(6), 1451–1464. ISSN 1437-2320. doi: 10.1007/s10143-019-01201-5.
- [8.] Marmarou, A., Bergsneider, M., Klinge, P., Relkin, N. a Black, P. M. (2005). The value of supplemental prognostic tests for the preoperative assessment of idiopathic normal-pressure hydrocephalus. *Neurosurgery*, 57(3 Suppl), S17–28; discussion 11–v. ISSN 1524-4040. doi: 10.1227/01.neu.0000168184.01002.60.
- [9.] Ryding, E., Kahlon, B. a Reinstrup, P. (2018). Improved lumbar infusion test analysis for normal pressure hydrocephalus diagnosis. *Brain and Behavior*, 8(11), e01125. ISSN 2162-3279. doi: 10.1002/brb3.1125.
- [10.] Kahlon, B., Sundbärg, G. a Rehncrona, S. (2002). Comparison between the lumbar infusion and CSF tap tests to predict outcome after shunt surgery in suspected normal pressure hydrocephalus. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 73(6), 721–726. ISSN 0022-3050. doi: 10.1136/jnnp.73.6.721.
- [11.] Kahlon, B., Sundbärg, G. a Rehncrona, S. (2005). Lumbar infusion test in normal pressure hydrocephalus. *Acta Neurologica Scandinavica*, 111(6), 379–384. ISSN 0001-6314. doi: 10.1111/j.1600-0404.2005.00417.x.
- [12.] Governale, L. S., Fein, N., Logsdon, J. a Black, P. M. (2008). TECHNIQUES AND COMPLICATIONS OF EXTERNAL LUMBAR DRAINAGE FOR NORMAL PRESSURE HYDROCEPHALUS. *Operative Neurosurgery*, 63, 379–384. ISSN 2332-4252. doi: 10.1227/01.NEU.0000327023.18220.88. URL <https://academic.oup.com/ons/article-lookup/doi/10.1227/01.NEU.0000327023.18220.88>.
- [13.] Walchenbach, R., Geiger, E., Thomeer, R. a Vanneste, J. (2002). The value of temporary external lumbar CSF drainage in predicting the outcome of shunting on normal pressure hydrocephalus. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 72(4), 503–506. ISSN 0022-3050. doi: 10.1136/jnnp.72.4.503. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1737811/>.
- [14.] Yasaka, K. a Abe, O. (2018). Deep learning and artificial intelligence in radiology: Current applications and future directions. *PLoS Medicine*, 15(11). ISSN 1549-1277. doi: 10.1371/journal.pmed.1002707. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6267951/>.
- [15.] Mei, J., Desrosiers, C. a Frasnelli, J. (2021). Machine Learning for the Diagnosis of Parkinson's Disease: A Review of Literature. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13. ISSN 1663-4365. doi: 10.3389/fnagi.2021.633752. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8134676/>.
- [16.] Senders, J. T., Zaki, M. M., Karhade, A. V., Chang, B., Gormley, W. B., Broekman, M. L., Smith, T. R. a Arnaout, O. (2018). An introduction and overview of machine learning in neurosurgical care. *Acta Neurochirurgica*, 160(1), 29–38. ISSN 0942-0940. doi: 10.1007/s00701-017-3385-8.
- [17.] Santamarta, D., González-Martínez, E., Fernández, J. a Mostaza, A. (2016). The Prediction of Shunt Response in Idiopathic Normal-Pressure Hydrocephalus Based on Intra-cranial Pressure Monitoring and Lumbar Infusion. *Acta Neurochirurgica. Supplement*, 122, 267–274. ISSN 0065-1419. doi: 10.1007/978-3-319-22533-3\_53.
- [18.] Muscas, G., Matteuzzi, T., Becattini, E., Orlandini, S., Battista, F., Laiso, A., Nappini, S., Limbucci, N., Renieri, L., Carangelo, B. R., Mangiafico, S. a Della Puppa, A. (2020). Development of machine learning models to prognosticate chronic shunt-dependent hydrocephalus after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Acta Neurochirurgica*, 162(12), 3093–3105. ISSN 0942-0940. doi: 10.1007/s00701-020-04484-6. URL <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04484-6>.
- [19.] Mládek A., Gerla V., Skalický P., Vlasák A., Zazay A., Lhotská L., Beneš V. Sr., Beneš V. Jr., Bradáč O. Prediction of Shunt-Responsiveness in Suspected Normal Pressure Hydrocephalus Patients using Lumbar Infusion Test: A Machine Learning Approach. *Neurosurgery* (2021), v tisku.
- [20.] Børgesen, S. E. a Gjerris, F. (1987). Relationships between intracranial pressure, ventricular size, and resistance to CSF outflow. *Journal of Neurosurgery*, 67(4), 535–539. ISSN 0022-3085. doi: 10.3171/jns.1987.67.4.0535.
- [21.] Ravdin, L. D., Katzen, H. L., Jackson, A. E., Tsakanikas, D., Assuras, S. a Relkin, N. R. (2008). Features of gait most responsive to tap test in normal pressure hydrocephalus. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 110(5), 455–461. ISSN 03038467. doi: 10.1016/j.clineuro.2008.02.003. URL <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0303846708000565>. MDER.S47725

## Kontakt

RNDr. Mgr. et Mgr. Arnošt Mládek, Ph.D.  
Oddělení biokybernetiky,  
Ústav patologické fyziologie 1. LF UK  
[arnost.mladek@gmail.com](mailto:arnost.mladek@gmail.com)

Doc. MUDr. RNDr. Ondřej Bradáč, Ph.D.  
Neurochirurgická klinika 2. LF UK a FN  
Motol

## BIG DATA LŮŽKOVÝCH ZDRAVOTNICKÝCH ZAŘÍZENÍ

Miroslav Přádka

### Abstrakt

Disponibilní data generovaná lůžkovými zdravotnickými zařízeními za širší časové období mohou být využita k definování role těchto poskytovatelů péče v rámci zdravotnického systému. Příspěvek se zabývá jednak aktuálními možnostmi využití dat nemocničních informačních systémů a jednak perspektivou využití dat za podmínky zavedení datových standardů podporujících interoperabilitu a očekávanou postupnou implementaci nomenklatury SNOMED CT. Současně se zabývá i perspektivními možnostmi zpracování obrazových dat diagnostických pracovišť.

### Klíčová slova

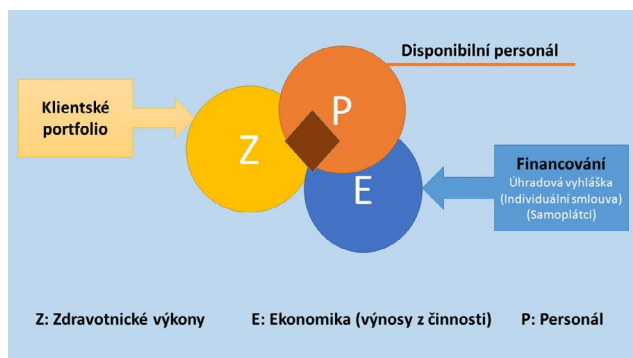
Big Data, zdravotnický informační systém, nemocnice, SNOMED CT

### 1 Úvod

Aktuální situace elektronizace zdravotnictví souvisí s mírou implementace priorit Národní strategie elektronického zdravotnictví [1] s perspektivou dalších plánovaných kroků limitovaných situačním stavem zdravotnictví a aktuálními technologickými a finančními možnostmi. Je předpoklad, že postupující nákladově přiměřená implementace e-Health [3] může přinést spíše stabilizaci a vyšší systémovou odolnost zdravotnictví jako celku.

### 2 Situace lůžkových zdravotnických zařízení a podpora činnosti informačními systémy (IS)

Zdravotnická zařízení (ZZ) se pro zvládnutí svého situačního stavu (viz obr. 1) vybavují sestavami informačních systémů s různou mírou variability.



Obrázek 1 – Situační stav ZZ

Vytvořené a spravované agendy podporují činnost léčebně-preventivní části ZZ (zdravotnický informační systém - ZIS) a taktéž jeho část ekonomickou (ekonomický informační systém - EIS). Další informační systémy pak vhodně doplňují výše uvedené systémy podle potřeb uživatelů.

Významné aspekty:

- evidence zdravotních výkonů dle platného Sazebníku výkonů a jejich výkaznictví;
- informační toky směrem k plátcům péče;
- informační toky směrem ke zřizovatelům ZZ;
- statistické výstupy;
- další agendy.

Lze doplnit, že data IS jsou využívána zpravidla operativně v krátkém časovém horizontu a pro krátkodobé rozvahy v rámci "manažerských" informačních systémů (viz např. [2]).

### 3 Aktuální využitelnost dat informačních systémů a interoperabilita systémů

Z pohledu střednědobého horizontu však lze data ZIS a EIS použít i jako datový zdroj pro definici role ZZ v rámci systému včetně možných úprav vztahu k plátcům péče. V této souvislosti jsou významná - mimo zcela klíčové personální vybavení ZZ - také hodnocení výkonnosti:

- ambulantní části ZZ;
- lůžkové části ZZ včetně krátkodobých hospitalizací;
- diagnostického komplementu.

Datové standardy využívané v ZIS by měly v souladu s [1] umožňovat také interoperabilitu; poznámka: viz kazuistiky překladů pacientů CZ/D a CZ/PL při pandemii COVID-19 (DASTA vs. HL7).

### 4 Nové klasifikace – nová prostředí a nové možnosti

Zavedené systémy klasifikací doznají v krátkém časovém horizontu významných změn a lze očekávat nástup klasifikací:

- MKN-11
- SNOMED-CT

Obrazová data, která vznikají v ZZ ve značném objemu, budou pravděpodobně analyzována také za využití metod obrazové analýzy (např. v oborech radiodiagnostika či patologie); u některých odborností dojde k digitalizaci celých diagnostických procesů, což přinese významné změny ve workflow pracovišť [4, 5].

Perspektivy zaváděných změn při práci se získanými daty směřují k postupnému rozvoji znalostních systémů s cílem poskytnout kvalitnější clinical decision support.

### 5 Závěr

a) Data ZIS a EIS pro event. restrukturalizaci ZZ - poskytovatele zdravotní péče - má k dispozici jednak samotné ZZ a jednak plátci péče.

b) Nadcházející systémové změny v podobě nových klasifikací do značné míry změni současnou praxi.

c) Strategické dokumenty elektronizace zdravotnictví by měly vhodnou formou (aktualizací?) reflektovat přicházející změny.

## BIG DATA OF IN-PATIENT HEALTHCARE FACILITIES

### Abstract

Disponible data generated by in-patient healthcare facilities during longer time period can be used to define roles of healthcare providers in the healthcare system. Article presents current options of the usage of data coming from information systems of hospitals on condition of interoperability supporting data standards available. It takes into account also the gradual implementation of nomenclature SNOMED CT and prospective ways in image data processing as well.

### Keywords

Big Data, healthcare information system, hospital, SNOMED CT



**Literatura**

- [1.] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Národní strategie elektronického zdravotnictví. Verze 1.00.* Praha, 2016. Licencováno pod CC BY 4.0, licenční podmínky dostupné z: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- [2.] Prádka M., Mařová D., Havrlant D., Svoboda T.: Využití portálových aplikací při sledování výkonnosti zdravotnického zařízení, In: *Proc. of MEDSOFT 2011*, s. 205-208. Dostupné na: [https://creativeconnections.cz/medsoft/2011/Medsoft\\_2011\\_P%C5%99%C3%A1dka\\_Miroslav.pdf](https://creativeconnections.cz/medsoft/2011/Medsoft_2011_P%C5%99%C3%A1dka_Miroslav.pdf)
- [3.] Prádka M.: Náklady a výnosy e-Health z pohledu poskytovatelů péče, In: *Proc. of MEDSOFT 2015*, s. 184-186. Dostupné na: [https://creativeconnections.cz/medsoft/2015/Medsoft\\_2015\\_pradka.pdf](https://creativeconnections.cz/medsoft/2015/Medsoft_2015_pradka.pdf)
- [4.] Prádka M., Chyliková J., Vaculová J.: Databáze virtuální mikroskopie u cytologických a histologických nálezů - možnosti a limity, DOI: 10.35191/MEDSOFT\_2019\_1\_31\_68\_70.
- [5.] Iglesias Coma M.: *Digital Pathology: Challenges and Benefits*, Roche Pracovní dny tkáňové diagnostiky, Kurdějov, 21. - 22. 9. 2022.

**Kontakt**

**Ing. MUDr. Miroslav Prádka, Ph. D.**  
Ben Labor s.r.o.  
Ostrava- Vítkovice  
[miroslav.pradka@seznam.cz](mailto:miroslav.pradka@seznam.cz)

## OPTIMALIZACE DIAGNOSTICKÉHO KOMPLEMENTU - KAZUISTIKA LABORATOŘE MIKROBIOLOGIE

Miroslav Přádka, Martina Caithamlová,  
Veronika Obrová

### Abstrakt

Využití dat informačních systémů zdravotnických zařízení lze využít také jako zdroj podkladů strukturální optimalizace pracoviště. Příklad z oblasti diagnostického komplementu lze demonstrovat na vybraných aspektech laboratoře mikrobiologie včetně standardních analytických vstupů (např. FMEA analýza) a standardních výstupů (optimalizace spektra zdravotních výkonů, optimalizace stavu personálu a řízení očekávaného hospodářského výsledku pracoviště). Obecný výstup práce představují nalezené principy využitelné také pro ostatní pracoviště diagnostického komplementu.

### Klíčová slova

zdravotnický informační systém, ekonomický informační systém, FMEA, optimalizace

### 1 Úvod

V průběhu činnosti zdravotnického zařízení dochází ke vzniku značného množství dat evidovaných v rámci informačních systémů. Jejich struktura může být do určité míry variabilní, zpravidla však zdravotnický informační systém (ZIS) eviduje informace o poskytnutých výkonech zdravotní péče včetně jejich závazné struktury (kódy výkonů dle platných sazebníků, atd.) a ekonomický informační systém (EIS) obsahuje veškeré informace o ekonomice zdravotnického zařízení, především o struktuře nákladů a výnosů z činnosti.

Z pohledu delšího časového horizontu lze data obsažená v ZIS a EIS použít pro charakteristiku zdravotnického zařízení (ZZ) v časových trendech (čím ZZ bylo) s možnou aproximací do budoucna (čím ZZ pravděpodobně bude, resp. čím by mohlo být) v terénu limitovaném systémovými regulativy (úhradová vyhláška, podíl samoplátců, procento zdravotní péče poskytnuté v rámci nadstandardu, atd.)

Podněty k restrukturalizaci poskytovatelů zdravotní péče přicházejí obvykle od plátců této péče, a to s určitou periodicitou, zpravidla však v obdobích zhoršených výhledů ekonomiky.

Aktuálně po zátěži pandemií COVID-19 a v nastupujícím období dopadů energetické krize mohou jednotliví poskytovatelé zdravotní péče přistoupit k řešení otázek eventuální restrukturalizace na základě analytické rozvahy nad disponibilními daty aktivně.

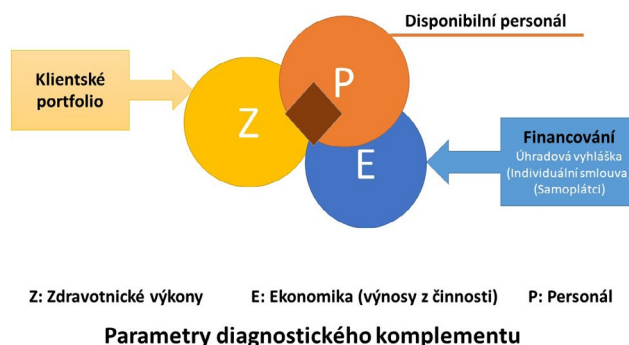
### 2 Pozice pracovišť diagnostického komplementu

Diagnostický komplement zdravotnických zařízení bývá zpravidla tvořen odbornostmi poskytujícími specializované podpůrné diagnostické výstupy (klinická biochemie, mikrobiologie, patologie či radiodiagnostika) pro klinická pracoviště garantující léčebný proces.

Ze systémového pohledu není žádoucí, aby podíl nákladů vynaložených na provoz diagnostického komplementu ve vztahu k celkovým léčebným nákladům významněji rostl. Náklady na jednotkové vyšetření realizované diagnostickým komplementem by měly naopak spíše klesat ve vazbě na postupující automatizaci a technologický upgrade těchto pracovišť.

Z hlediska zakotvení ve zdravotnickém systému se pracoviště diagnostického komplementu od pracovišť klinických zásadně neliší; jejich činnost je určována (viz obr. 1):

- a) poptávkou po výkonech diagnostického komplementu ze strany portfolia klientů (pojištěnci zdravotních pojišťoven, samoplátcí) promítající se do spektra poskytnutých zdravotních výkonů;
- b) způsobem financování poskytované péče, která do určité míry implikuje i její udržitelnost;
- c) disponibilním personálem, který je pro poskytované spektrum a objem zdravotní péče nezbytný ve vazbě na požadavky legislativy.

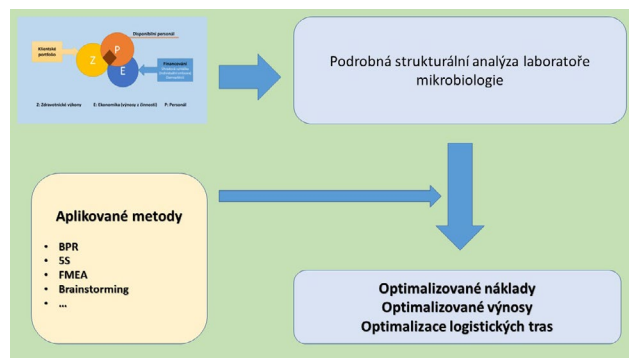


Obrázek 1 – Situační stav pracoviště diagnostického komplementu

Nalezení optimálního stavu/rovnováhy mezi zdravotnickými a ekonomickými aspekty činnosti zdravotnického zařízení za podmínky tvorby optimálních sestav zdravotnického personálu může být cestou k dlouhodobé udržitelnosti poskytovatele péče v rámci zdravotního systému.

### 3 Možnosti strukturální analýzy

Na příkladu činnosti laboratoře mikrobiologie jako součásti diagnostického komplementu lze demonstrovat možnosti optimalizace jeho struktury za užití vybraných analytických metod (viz obr. 2).



Obrázek 2 – Metody a výstupy strukturální analýzy laboratoře mikrobiologie

### 4 Identifikace a eliminace rizik

Imperativy bezpečnosti pacienta, řízení rizik a kontroly kvality poskytované péče se promítají do požadavků na činnost každé zdravotnické laboratoře; akreditace těchto pracovišť na základě normy ČSN EN ISO 15189:2013 (Zdravotnické laboratoře – Požadavky na kvalitu a způsobilost) jsou nezbytnou nepodkročitelnou podmínkou pro jejich činnost.

V rámci procesu řízení rizik a procesu jejich eliminace uvádíme pro ilustraci výsledky analýzy FMEA po posouzení všech procesů laboratoře mikrobiologie. Jsou dokumentována všechna možná rizika hodnocených procesů, jejichž index rizikovitosti (RPN) převyšuje hodnotu 11.

## FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

Proces	Možné riziko	Příčina selhání	Stávající způsob kontroly	RPN
Odběr vzorku	Chybný odběr	Nedodržení preanalyt. podmínek	Vizuální kontrola	12
Identifikace pacienta	Neoznačený materiál	Lidský faktor	Vizuální kontrola	12
Identifikace pacienta	Vadná žádanka	Lidský faktor	Vizuální kontrola	12
Příjem materiálu	Chybní zadání do LIS	Lidský faktor	Vizuální kontrola	18
Přístrojová technika	Nedostatečné vybavení IT	Zastaralý HW/ SW	Vizuální kontrola	16

Obrázek 3 – Identifikace rizik metodou FMEA

## 5 Personální aspekty

Po provedené optimalizaci spektra poskytované péče a optimalizaci ekonomických parametrů pracoviště (snižování nákladů při současně optimalizaci výnosů z činnosti) byla provedena také rozvaha nad možnými sestavami personálu za podmínky dodržení minimálních personálních požadavků pro dané pracoviště a požadavků vyplývajících s platné úpravy zákoníku práce.

Personální náklady jsou významnou položkou nákladové struktury organizace a mají značný dopad o očekávaného hospodářského výsledku, což demonstrujeme po provedené analýze pomocí obrázku 4.



Obrázek 4 – Stav personálu a očekávaný hospodářský výsledek pracoviště

S ohledem na výše uvedené lze jistě diskutovat i priority řízení organizace. Zda má být maximalizace výše hospodářského výsledku určujícím faktorem řízení či zda určitá personální rezerva umožňující snadnější zastupitelnost personálu v zátěžových obdobích poskytne dostatečnou prevenci výskytu hazardních provozních stavů pracoviště.

Upozorňujeme však současně, že z pohledu delšího časového horizontu musí být posuzované pracoviště schopno reprodukovat dlouhodobý majetek (investice). Výše plánovaného hospodářského výsledku by tedy měla reflektovat tuto potřebu i s dopadem do plánovaného stavu personálu (suboptimální stav).

## 6 Závěr

Na příkladu pracoviště diagnostického komplementu - laboratoře mikrobiologie - byly demonstrovány možnosti využití disponibilních dat ZIS a EIS k identifikaci prostoru pro možnou restrukturalizaci tohoto poskytovatele zdravotní péče.

Aplikovatelné výstupy pro ostatní pracoviště diagnostického komplementu:

- optimalizace prostorového uspořádání a přístrojového vybavení pracoviště;
- optimalizace spektra poskytované péče;
- identifikace a eliminace zjištěných rizik;
- posouzení personálního vybavení pracoviště a jeho dopad do hospodářského výsledku.

## DIAGNOSTIC COMPLEMENT OPTIMIZATION – CASE REPORT OF THE LABORATORY OF MICROBIOLOGY

## ABSTRACT

Data usage of information systems of healthcare facilities can also be used as the data source for structural optimization. Example of diagnostic complement can be demonstrated on certain aspects of the laboratory of microbiology, including standard analytical entries (for example FMEA analysis) and standard outcomes (optimization of the health care procedures, optimization of the staff and control over the expected economic results). General work outcome presents principles usable for the other parts of diagnostic complement.

## Keywords

Healthcare information system, economic information system, FMEA, optimization

## Literatura

- [1.] ČSN EN ISO 15189:2013. Zdravotnické laboratoře – Požadavky na kvalitu a způsobilost. 2. vyd. Praha: Český institut pro akreditaci, o.p.s., červen 2013.
- [2.] Český institut pro akreditaci, o.p.s.: Nepodkročitelná minima. Nepodkročitelné meze odborností 802 – Lékařská mikrobiologie [online]. Praha, 2021, Dostupné z: <https://www.cai.cz/wpcontent/uploads/2019/04/Nepodkrocitelne-meze-jednotlivych-laboratornich-oboru.pdf>
- [3.] Obrová V.: Procesní optimalizace činnosti laboratoře klinické mikrobiologie, FBMI ČVUT v Praze, 2022, - diplomová práce.
- [4.] Ministerstvo zdravotnictví České republiky. Návrh koncepce oboru lékařská mikrobiologie [online]. Dostupné z: <https://www.splm.cz/download/0000016e-8d01-df8d-abee-fff37f3c0000>
- [5.] Vyhláška č. 428/2020 Sb., Vyhláška o stanovení hodnot bodu, výše úhrad hrazených služeb a regulačních omezení pro rok 2021.

## Kontakt

Ing. MUDr. Miroslav Přádka, Ph. D.  
Ben Labor s.r.o.  
Ostrava- Vítkovice  
[miroslav.pradka@seznam.cz](mailto:miroslav.pradka@seznam.cz)

Ing. Martina Caithamlová  
Ing. Veronika Obrová  
KBT FBMI ČVUT v Praze  
[caithmar@fbmi.cvut.cz](mailto:caithmar@fbmi.cvut.cz)

## KLASIFIKACE SNOMED A MKN-10 V INFORMAČNÍCH SYSTÉMECH - AKTUÁLNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Miroslav Přádka, Jana Vaculová

### Abstrakt

Příspěvek reflektuje aktuální stav implementace mezinárodních klasifikací SNOMED, MKN-10 a MKN-O-3 v informačních systémech ČR s akcentem na efektivitu transferu centrálně evidovaných dat. Současně navrhuje úpravy zabrahující chybovosti v přenosu dat s cílem dosáhnout uživatelsky komfortního uspořádání u povinných hlášení do Národního onkologického registru.

### Klíčová slova

SNOMED, MKN-10, MKN-O-3, informační systém, workflow

### 1 Úvod

Lokalizace mezinárodních zdravotnických klasifikací bývají implementovány v rámci informačních systémů v ČR a využívány rutinně při zpracovávání zdravotnické dokumentace; zpravidla je využívána aktuální revize Mezinárodní klasifikace nemocí (MKN). Implementace dalších mezinárodních klasifikací jako např. SNOMED (Systematized Nomenclature of Medicine) bývá oborově specifické, především jde o morfologické obory (cytologie, patologie, ...)

### 2 Klasifikace SNOMED, MKN-10 a MKN-O-3 - aktuální verze

V rámci průběžných aktualizací nomenklatur jsou využívány zpravidla jen aktuálně podporované vybrané verze, u MKN se aktuálně jedná o 10. revizi této klasifikace (MKN-10). Nomenklatura SNOMED procházela dlouhým etapizovaným vývojem (viz obr. 1) a aktuálně dosáhla stadia SNOMED-CT (Clinical Terms) s tím, že předchozí verze byly garantem klasifikace zneplatněny:



Obrázek 1 – Vývoj klasifikací SNOMED

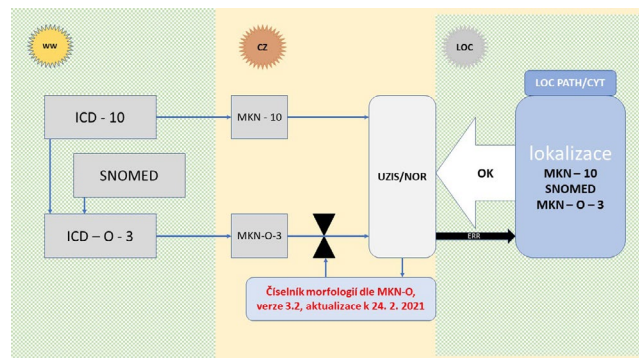
Ve vybraných odbornostech (onkologie, patologie, cytologie, ...) se využívá také klasifikace MKN-O-3, která je z čistě technického hlediska derivátem klasifikací MKN-10 a SNOMED.

Z uživatelského hlediska je pak nezbytné mít k dispozici v rámci využívaného informačního systému (IS) výše uvedené klasifikace (MKN-10, MKN-O-3) v aktuálních verzích.

### 3 Lokalizace mezinárodních klasifikací

Aktualizace mezinárodních klasifikací probíhá v ČR periodicky v závislosti na intenzitě potřeby aktualizace (viz obr. 2) s tím, že dochází k definicím obsahu národních lokalizací klasifikací (MKN-10, MKN-O-3), které jsou široce přístupné odborné veřejnosti prostřednictvím [2].

Dostupnost nových verzí klasifikací však automaticky neimplikuje provedení aktualizace uživatelských informačních systémů.



Obrázek 2 – Lokalizace mezinárodních klasifikací na národní úroveň včetně úrovně uživatelů

### 4 Workflow při správně aktualizovaných systémech uživatelů

Proces povinných hlášení dat evidovaných do centrálních registrů je metodicky závazně upraven, v případě hlášení do Národního onkologického registru (NOR) jsou metodické principy přístupné v rámci [1, 2], rozsah povinných hlášení definovaných vůči okruhu diagnóz dle MKN-10 pak např. v [2, 3]. Vzhledem k souběžnému využívání klasifikací MKN-O-3 je nutno dodržet strukturu hlášení v souladu s Přílohou č. 2 [1], která stručně sumarizována v obrázku č. 3.

#### NOR: Metodika sběru dat

##### Identifikace onkologického onemocnění (předmět hlášení)

- Příloha č. 1: Číselník onkologických onemocnění
- Příloha č. 2: Metodika zápisu výsledků histologického a cytologického vyšetření

P1: dle klasifikace MKN-10 ve vymezeném rozsahu

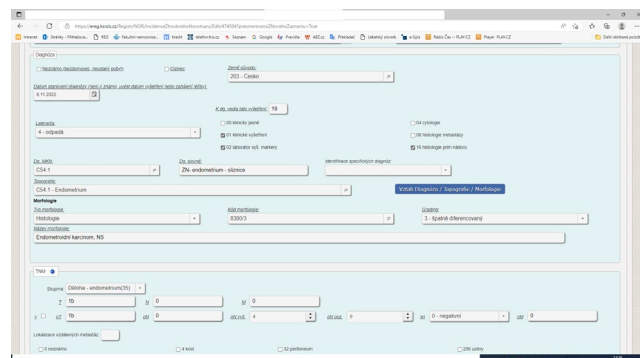
P2: dle klasifikace MKN-O-3

T - topografie: de facto dle MKN-10 v rozsahu C00-C80 (s výjimkami)

M - morfologie (histologie): dle SNOMED ve vymezeném rozsahu

Obrázek 3 – Princip struktury dat pro NOR na bázi využití klasifikace MKN-O-3

Zkušenost praví, že při uživatelsky disponibilních klasifikacích MKN-10 a MKN-O-3 v aktuálních verzích lze docílit procesu prakticky bezchybového (a uživatelsky vcelku komfortního) procesu hlášení povinně evidovaných dat do NOR (viz obr. 4). Vše za předpokladu využívání aktuální verze (!) Číselníku morfologie dle MKN-O, verze 3.2 - viz obr. 2. Připomínáme, že tento číselník je dostupný v rámci [2] a byl v posledním období aktualizován v letech 2020 a 2021.



Obrázek 4 – Uživatelské prostředí - hlášení pro NOR

### 5 Chybová hlášení

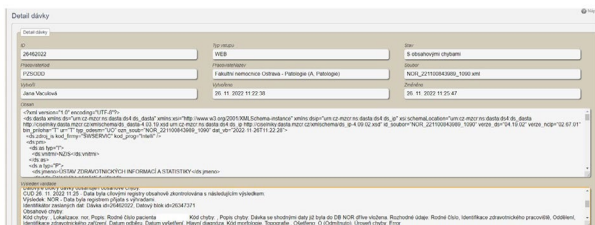
V případě neúspěšné validace dat předaných do NOR je odesílateli doručeno chybové hlášení, jehož různé příklady/varianty prezentují obrázky 5 až 9.



Zpracování dat ve zdravotnických registrech - Výsledek obsahové kontroly  
(Identifikátor dat: Dávka id=26461993)


cud@ereg.ksrzis.cz  
Dnes, 10:48  
Vaculová Jana, Mgr. Ph.D. ✉
Odpovědět ↓

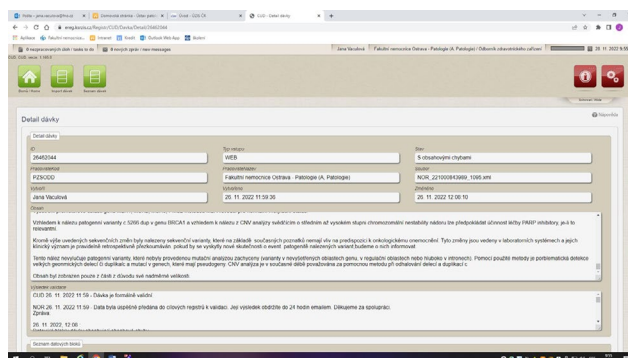
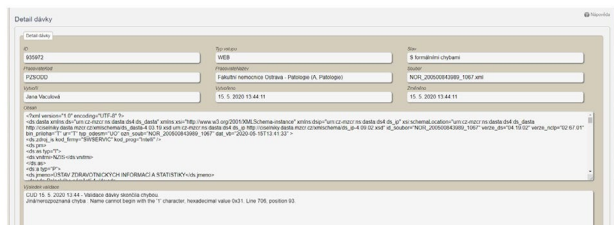
Výsledek NOR - Data nebyla registrem přijata z důvodu zjištěných chyb.  
Identifikátor zaslaných dat: Dávka id=26461993. Datový blok id=26347342



Zpracování dat ve zdravotnických registrech - Chyba (Identifikátor dat: Dávka id=935972)


cud@ereg.ksrzis.cz  
př 15.05.2020, 13:49  
Vaculová Jana, Mgr. Ph.D. ✉
Odpovědět ↓

Odeslání dat bylo neúspěšné. Kontaktujte, prosím, Help Desk ÚZIS ČR.  
Identifikátor zaslaných dat: Dávka id=935972.



Obrázky 5–9 – Ukázky formulací chybových hlášení

Za podstatné faktory prevence vzniku chyb považujeme:

- Provedení aktualizace používaných klasifikací v informačním systému uživatele
- Osvětu pro uživatele
- Součinnost správců IT
- Součinnost uživatelů

**6 Závěr**

Eliminace chyb v povinných hlášení centrálně evidovaných dat v povinně elektronické formě předpokládá přítomnost aktuálních verzí využívaných klasifikací v rámci IS uživatele. V této souvislosti je významný i Číselník morfologií dle MKN-O, verze 3.2. Případný větší objem chyb rezultujících do zvýšeného počtu chybových hlášení může snižovat uživatelskou compliance.

**SNOMED AND ICD-10 CLASSIFICATIONS IN INFORMATION SYSTEMS – THE STATE-OF-THE-ART**

**Abstract**

The article reflects the state-of-the-art of classification SNO-MED, ICD-10 and ICD-O-3 implementations in information systems in Czech Republic, emphasizing the effectivity of transfer of centrally documented data. Concurrently it presents error-preventing data transfer and the aim to reach user-friendly arrangement in mandatory data reports towards the National Cancer Register.

**Keywords**

SNOMED, ICD-10, ICD-O-3, information database, workflow

**Literatura**

[1] Metodika NZIS: Národní onkologický registr - Metodika sběru dat. Dostupné na: <https://www.uzis.cz/res/file/registry/nor/nor-metodika-010-20180817-1.pdf>

[2] [www.uzis.cz](http://www.uzis.cz)

[3] Prádka M., Vaculová J.: Implementace klasifikací MKN-10 a SNOMED v informačních systémech a transfer vybraných dat do centrálních registrů, DOI: 10.35191/medsoft\_2020\_1\_32\_55\_55.

**Kontakt**

Ing. MUDr. Miroslav Prádka, Ph. D.  
Ben Labor s.r.o.  
Ostrava-Vítkovice  
[miroslav.pradka@seznam.cz](mailto:miroslav.pradka@seznam.cz)

Mgr. Jana Vaculová, Ph. D.  
ÚKMLPG FN Ostrava  
[jana.vaculova@fno.cz](mailto:jana.vaculova@fno.cz)

## 3DIAMOND: SOFTWARE FOR PRODUCT LIFE-CYCLE MANAGEMENT IN 3D PRINTING MEDICAL APPLICATIONS

Daniel Schwarz, Lukáš Čapek, Jakub Jamárik

### Abstract

**BACKGROUND:** 3Diamond represents a software product that enables efficient management of the data needed to control 3D printing tasks in a hospital or clinical settings.

**METHODS:** The software that de-facto resembles a product life-cycle (PLM) system, has been designed by a common effort of biomedical engineers, software developers, clinical data managers, and clinical experts.

**RESULTS:** The PLM software 3DIAMOND has been powered by Clade-IS, which is an EDC (Electronic Data Capture) system, commonly used in clinical research for the facilitation of data management in clinical studies and real-world data projects.

**DISCUSSION:** Due to cyber threats and data privacy regulations, 3D printing tasks need to be handled through valid information systems rather than WhatsApp and USB flash drives.

### Keywords

3D printing in medicine, 3Diamond software, product life-cycle management, PLM, electronic data capture, EDC

### Introduction

3D printing represents a specific type of additive manufacturing consisting of a computer-controlled process that creates three dimensional objects by depositing materials, usually in layers. For more than 20 years, 3D printing in medicine has represented a very solid approach to more personalized treatment and better patient care. The 3D print technology has a wide range of medical applications, including: (i) printing parts of the scene for simulations used for pre-operative preparation, (ii) printing artifacts, such as bending templates, used during surgery and other procedures to reduce operating time and often to make the patient safer, (iii) printing biocompatible implants, and also (iv) pharmacological applications aimed at novel personalized drug formulations. For many clinical disciplines such as oral and maxillofacial surgery, neurosurgery, cardiac surgery, vascular surgery, and disciplines dealing with the musculoskeletal system, it has been concluded that 3D printed devices outperform their conventional comparators [1].

The penetration of this technology into the healthcare system varies from region to region. For example, in the Czech Republic, the production associated with 3D printing for preoperative preparation or to reduce operating time is not reimbursed. Pioneers - both clinicians and biomedical engineers - thus find themselves in a grey area of healthcare and are often forced to use unsuitable tools, such as USB flash drives for transferring patient data or WhatsApp messenger for interdisciplinary communication.

Product lifecycle management (PLM) is the process of managing a product or its part from the first idea, through its design and manufacture, servicing, to final decommissioning. A PLM software represents a computer software that is designed to help organizations develop new products and put them into operation. To our best knowledge, this type of infor-

mation technology has not been used to facilitate 3D printing applications in the hospital/clinical environment.

Conventional data collection in clinical research involves recording data in paper case report forms (CRF), followed by double entry in a relational database. Continuous technological advancements in computer science, life sciences and health care have given rise to electronic data capture (EDC) systems, which have proved to be a more efficient and cheaper alternative to the paper data capture. EDC systems enable investigators to enter data directly into electronic case report forms (eCRF) and study coordinators to oversee and control them in real time even in multicenter research studies. EDC systems have become predominant because they are not only time and cost effective, but also contribute to quality assurance, as they allow data access to be controlled and all changes made to them using audit trail features to be traced [2].

This article summarizes the efforts of biomedical engineers, software developers, clinical data managers and clinical experts in the development of the 3Diamond (3Dprint Imaging Accurate Monitoring and OperatioNal Delivery) software product. It is actually a PLM system that enables efficient management of the data needed to control 3D printing tasks in a hospital or clinical settings.

### Methods

The 3Diamond software has been developed on the grounds of a particular EDC system referred to as the Clade-IS (CLinicAl Data warEhousing – Information System) – a robust, modular, web-based software for electronic data capture and clinical trial management. It contains a huge amount of real-world data from many clinical specialties. At the very beginning of all developments, however, it was necessary to compose accurate user specifications for the PLM system so that it was possible to clearly understand whether everything could be implemented in the mentioned EDC system and, if so, whether its simple customization by the hands of clinical data managers would be sufficient or whether further software development would be needed.



Figure 1 – The use-cases of 3Diamond software consists of user stories from the perspective of (i) biomedical engineer, (ii) clinician, (iii) quality manager

The requirements for the PLM system were compiled in natural language without unnecessary technicalities in order to maximize understanding between the clients and developers. The authors agreed on input documentation in the format of user stories – a proven concept for agile software development [3], accepting the following syntax of specifications, which consists of three main parts: (i) user role, (ii) requirement, (iii) acceptance test: “As a \_\_ (i) \_\_, I \_\_ (ii) \_\_, so that \_\_ (iii) \_\_.” Three user roles were detected: (A) biomedical engineer, (B) clinician, (C) quality manager. Their user stories were classified as must-haves, nice-to-haves, and very-nice-to-haves. All user stories then described in detail various use cases of the PLM system, see Figure 1.

The database model of the Clade-IS EDC system, which forms the foundation of the 3Diamond PLM system, is an entity-attribute-value (EAV) model, also known as a vertical database model, which is known to be able to efficiently capture entities with sparse features. Such a feature is advantageous for clinical or patient registries, which typically contain many parameters, but their completion with specific values is usually poor. The following data structures are used to build an eCRF: arm - phase - form - question group - question - answer, where a question-answer pair represents an attribute-value pair, respectively. Figure 2 exemplifies the basic setup of the eCRF entities in the 3Diamond PLM system.

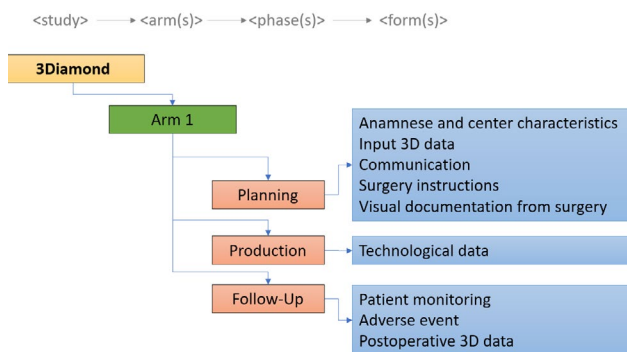


Figure 2 – The structure of entities (arms, phases, forms, question groups) and attributes (questions) used for structuring the 3Diamond eCRF. Questions are logically grouped into question groups, a form is composed of question groups, forms are grouped into phases (Planning, Production, Follow-Up), and phases are grouped into one single arm in the registry.

**Results**

Thanks to the fact that the PLM system was not built from scratch, but exploited the solid foundations of the robust EDC system Clade-IS, it was possible to make a working prototype of the system available to users within one month from completing the user specifications. The eCRF was further debugged on the functional prototype, with parallel communication between the lead biomedical engineer and several clinical experts in the fields of neurosurgery, maxillo-facial surgery, traumatology and orthopaedics.

Only three months after the start of development, the 3Diamond PLM system was ready with all the functionalities classified as must-haves, see Figure 3. The software is available in two deployment modes: SaaS (Software as a Service), i.e. offered as a service of the IT infrastructure of the developing company Institute of Biostatistics and Analyses, and also under on-premise licensing, i.e. in the IT infrastructure of a hospital. Thus, the collection of experience with the facilitation of 3D printing at the specific environment of the Liberec Regional Hospital could begin.

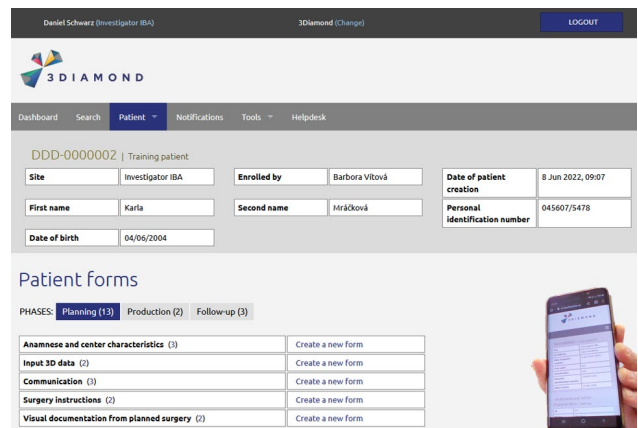


Figure 3 – A screenshot from the 3Diamond PLM system showing the main screen with available forms of a training patient.

**Discussion**

After the 20 case studies had been conducted, two meetings with stakeholders in the area of 3D printing medical applications were organized. The first one was focused on applications in healthcare, the second one invited also stakeholders from medical simulation centers.

The discussion with stakeholders confirmed the authors' concerns about the inappropriate practice of handling patient documentation necessary to perform 3D printing tasks. There are two particular issues which present risks for the hospital and indeed opportunities for a wider deployment of the 3Diamond PLM system: (i) the interdisciplinary communication between biomedical engineers and clinicians via WhatsApp or other unsuitable messaging applications, and (ii) file transfer via physical USB flash drives. At the very least, these are deviations from recommendations that make sense to follow, especially in a time of established strong data privacy regulations, fines imposed, and not a few breakthroughs in hospital networks. Furthermore, unmet needs for various stakeholders have been also formulated, in order to support further business development process.

Further development of the 3Diamond PLM system features is expected especially in the area of image data handling, with the focus on the rendering of STL files that carry information about 3D printing models. Displaying STL data on the web is possible in several ways. Besides PDF format, the most suitable way seems to be to use the HTML <canvas> element and render it on the client device using WebGL and the [three.js](https://threejs.org/) library.

**Acknowledgements**

The development of the 3Diamond PLM system was supported by the European Union within a project implemented under the European Institute of Innovation and Technology. The authors would like to thank all the developers and data managers working in Clade-IS whose teamwork is discussed in this paper. We also thank all the clinical experts who have providing us with their feedback during the piloting 3D-printing case studies.

## References

- [1.] Diment LE, Thompson MS, Bergmann JHM. Clinical efficacy and effectiveness of 3D printing: a systematic review. *BMJ Open*. 2017 Dec 21;7(12):e016891. doi: 10.1136/bmjopen-2017-016891. PMID: 29273650; PMCID: PMC5778284.
- [2.] Churová V, Vyškovský R, Maršálová K, Kudláček D, Schwarz D. Anomaly Detection Algorithm for Real-World Data and Evidence in Clinical Research: Implementation, Evaluation, and Validation Study. *JMIR Med Inform*. 2021 May 7;9(5):e27172. doi: 10.2196/27172. PMID: 33851576; PMCID: PMC8140384.
- [3.] Schwarz D, Kavia S. User stories can help you to shape the design of an educational project: experience from WAVES. *MEFANET Journal*. 2016 Jan 31;4(2):65-70.

## Contact

**Institute of Biostatistics  
and Analyses Ltd.**

Poštovská 3  
602 00 Brno  
Czech Republic

<https://www.biostatistika.cz>  
[szwarz@biostatistika.cz](mailto:szwarz@biostatistika.cz)

**Liberec Regional Hospital**

Husova 357/10  
460 63 Liberec

<https://www.nemlib.cz/>  
[lukas.capek@nemlib.cz](mailto:lukas.capek@nemlib.cz)

**Masaryk University  
Faculty of Medicine**

Kamenice 5  
625 00 Brno  
Czech Republic

<https://www.med.muni.cz/>  
[461084@muni.cz](mailto:461084@muni.cz)



MEDSOFT 2022, sborník příspěvků  
vydání první  
formát A4  
73 stránek

vydal Creative Connections s. r. o.,  
Krasnojarská 14, 100 00 Praha 10

zpracoval kolektiv autorů

grafická úprava, sazba  
Klára Svobodová, DiS

bez jazykové a redakční úpravy

ISBN 978-80-906752-3-0