UNIVERZITA MATEJA BELA
Fakulta prírodných vied

PRÍRODOVEDEC 2016

Zborník príspevkov zo ŠVK 2016
konanej 14. apríla 2016

2016

Prírodovedec 2016
Zborník príspevkov zo ŠVK 2016 konanej 14. apríla 2016

Odborný garant:
prof. RNDr. Ján Spišiak, DrSc.

Editori:
Ing. Slavka Račáková, PhD.
prof. RNDr. Ján Spišiak, DrSc.

© autori príspevkov
© Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici.

Zborník neprešiel jazykovou úpravou

ISBN 978-80-557-1127-0

OBSAH

Sekcia informatika

Internetová učebnica Linuxu 6
Vyhľadávanie objektov pomocou deskriptora shape context 10
Implementácia algoritmu násobenia matíc na GPGPU s optimalizáciou prenosu údajov 16
Tvorba interaktívneho prostredia na liečbu fóbií 28
Ros a filtrovanie údajov zo senzorov 38
Mnohorozmerná analýza rozvrhovania vo vysokovýkonných počítačových systémoch 43

Sekcia biológia a ekológia

Breeding biology of Common Kingfisher (*Alcedo atthis*) 54
Rozmanitosť plodov domácich a cudzokrajných semenných rastlín 62
Štruktúra a diverzita spoločenstiev pakomárov (Diptera: Chironomidae) malých vodných nádrží 72
Morfometrické charakteristiky dominantných drevín na ortuťovej banskej halde Veľká studňa pri Malachove 84
Spoločenstvá pakomárov (Diptera: Chironomidae) malých vodných nádrží: štruktúra a diverzita na základe exúvií 91
Trichómy na listoch *Pelargonium zonale* po pôsobení žiarenia červenej a modrej vlnovej dĺžky 101

Sekcia chémia

Vibračne rozlíšené UV-VIS spektrum alizarínu v metanolovom roztoku 109

Sekcia technika a technológie

Lineárny parabolický slnečný kolektor 122
Zážitková pedagogika v odbore technika 132
Drevené hračky v edukácii I – Rubikboard, Box pre malých kutilov, Ubongo, Matematické lanko, Domino ... 141
Drevené hračky v edukácii II – Cucuro, Topánka, Puzzle 145
Holografia a jej uplatnenie v edukačnom procese 150

Sekcia životné prostredie

Palynologická analýza sedimentov nádrže Veľká Richňava ako súčasť rekonštrukcie historických vplyvov človeka v povodí 156

Sekcia matematika

Na intervale nekonečná ω-limitná množina s periodickým bodom implikuje podkovu: Priamy dôkaz 166

Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela

ŠVK 2016

Vážení študenti, vážení kolegovia,

už piaty rok funguje nový systém študentskej vedeckej konferencie (ŠVK) na našej fakulte, keď forma odovzdaných prác je zhodná s požiadavkami na práce publikované vo vedeckých periodikách. Týmto sme sa snažili prejsť s kvantity písaných strán na kvalitu textu. Myslím si, že čas ukázal, že to bolo dobré rozhodnutie a aj niektoré ďalšie vysoké školy prešli na podobný systém. Môžeme tiež konštatovať, že aj následné recenzné konanie zvýšilo odbornú úroveň prác. Pri publikovaných verziách sú často spoluautormi vedúci prác, čo dáva týmto prácam väčšiu vážnosť a publicitu v širších odborných kruhoch.

Celkove sa v tomto roku do ŠVK na fakulte zapojilo 35 študentov, ktorí boli rozdelení do 6 sekcií. Celkový počet prác a sekcií je nižší. Je to ovplyvnené hlavne tým, že sme spolu s FPV UKF v Nitre organizovali spoločné kolo ŠVK v „Geografii“ a doktorandskú sekciu „Životné prostredie“. Naši študenti aj tu preukázali svoju vysokú odbornú úroveň a urobili dobré meno fakulte.

Zborník je výsledkom našej aktivity pri organizovaní fakultného kola ŠVK. Všetky práce prešli recenzným konaním (mená recenzentov sú uvedené pri každej sekcii). Práce predstavujú vo väčšine prípadov vedeckú prvotinu každého autora. Som rád, že veľa študentov ďalej pokračuje vo vedeckej práci a dnes už ako doktorandi, alebo začínajúci vedeckí pracovníci publikujú v renomovaných vedeckých časopisoch.

Záverom by som rád poďakoval všetkým členom komisií, recenzentom a študentom za ich aktívnu účasť a želám im veľa vedeckého entuziazmu a úspechov do budúcnosti.

Banská Bystrica, 20. 4. 2016

prof. RNDr. Ján Spišiak, DrSc.
prodekan pre vedu a výskum FPV UMB

Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela

ŠVK 2016

SEKCIA INFORMATIKA

Recenzenti:
doc. Ing. Ľudovít TRAJTEĽ, PhD.
Mgr. Michal VAGAČ, PhD.
Ing. Jana JACKOVÁ, PhD.
PaedDr. Ivan BRODENEC, PhD.

Internetová učebnica Linuxu

Bc. Tomáš Adamják
PaedDr. Ivan Brodenec, PhD.
Mgr. Martina Kubealaková, PhD.

Katedra informatiky FPV UMB, Tajovského 60, 974 01 Banská Bystrica

Abstract: Internet textbook of Linux: The authors describe creating of Internet textbook of Linux. In this article, authors explain reasons of creation, principles and technical details of implementation. The textbook has a hierarchical sorted the articles and readers can obtain knowledge about Linux without prior knowledge of the system. Text in this internet textbook is suitable for teachers of informatics and they will be able bring Linux to their students.

Úvod

Projekt internetovej učebnice Linuxu (`eLinux.sk`) vznikol na základe prieskumu medzi pedagógmi informatiky a študentami učiteľstva informatiky na doplnenie neexistujúcich učebných materiálov o operačnom systéme Linux ako alternatívy k OS Windows a softvéru používanom na Linuxe.

Našim cieľom bolo vytvoriť kvalitný internetový portál na ktorom by sa nachádzali hierarchicky zoradené učebné texty vo forme krátkych článkov, doplnených obrázkami, videami a odkazmi na články venujúce sa rovnakej problematike na internete.

Dôvod tvorby

Dôvod, prečo sme sa rozhodli vytvoriť takúto internetovú učebnicu Linuxu bol ten, že v súčasnej dobe neexistuje na slovensku žiadny ucelený učebný materiál, ktorý by bol vhodný pre začiatočníkov, ktorí by chceli prejsť z OS Windows na Linux.

Existujú České či Slovenské stránky ako napríklad `Root.cz` či `LinuxOS.sk`, ale všetky tieto stránky sa venujú skôr používateľom Linuxu, a nesnažia sa osloviť nových používateľov a už vôbec neponúkajú hierarchicky utriedený učebný text pre ľudí, ktorí o Linuxe nič nevedia.

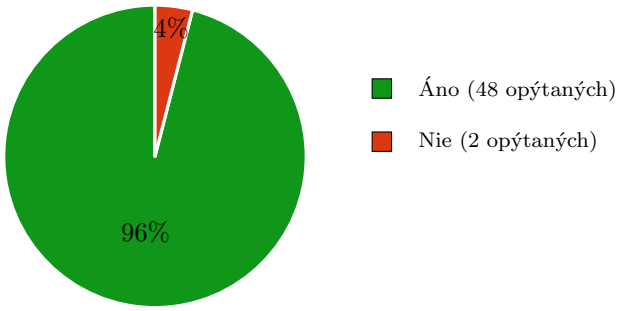
Našim cieľom nebolo vytvoriť učebný text, ktorý by mal presviedčať súčasných používateľov OS Windows aby začali používať inú alternatívu (*OS Linux*), ale chceli sme poskytnúť dostatok informácií aby sa každý mohol slobodne rozhodnúť. Keďže učitelia nemajú vhodný text na základe ktorého by budúcim používateľom – svojim žiakom mohli priblížiť vlastnosti OS Linux, tak ich žiaci sa nemôžu slobodne rozhodovať.

Prieskum

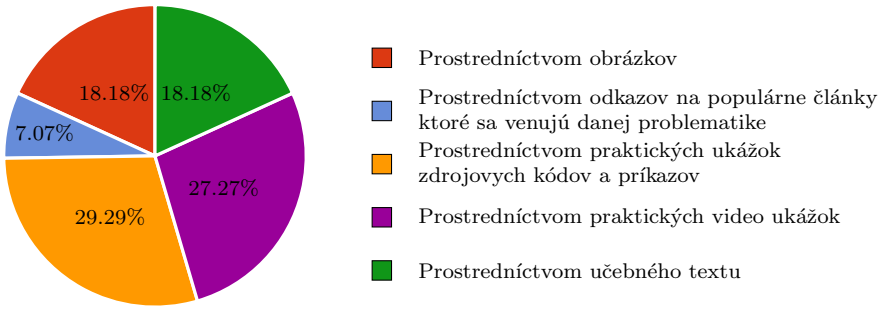
Pred začiatkom projektu sme uskutočnili prieskum, v ktorom sme zisťovali či sa náš zámer o vytvorenie internetovej učebnice stretne s pozitívnym ohlasom. Súčasťou prieskumu bola aj otázka, ktorá smerovala na to akoby si priali koneční používatelia projektu, teda učitelia, aby boli reprezentované učebné informácie.

Otázky a vyhodnotenie odpovedí na náš jednoduchý prieskum môžete vidieť v nasledujúcich 3 grafoch.

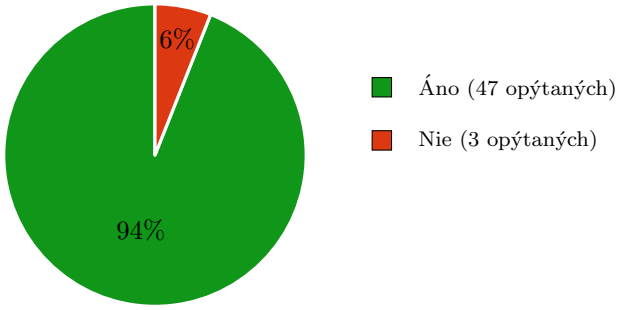
Privítali by ste, aby vznika digitálna učebnica alterntívneho softvéru?



Ak by vznikla takáto učebnica, akú formu prezentácie vedomostí by ste preferovali?



Privítali by ste možnosť otestovať svoje nadobudnuté vedomosti priamo prostredníctvom digitálnej učebnice?



Technická realizácia

Ďalšou časťou projektu bola technické realizácia. Keďže sa jedná o webový projekt bolo k dispozícii veľké množstvo technológií a softvéru, ktorý by bolo možné použiť na realizovanie tohto projektu.

Keďže sme sa chceli zamerať najmä na obsah a na to, aby mohlo do projektu vstupovať väčšie množstvo používateľov, aby bol projekt bezpečný ale hlavne kvôli veľkej časovej náročnosti tvorby vlastného systému, rozhodli sme sa použiť nejaký vyspelý CMS[1].

Do užšieho výberu sa dostali 2 systémy a to WordPress 4 a Drupal 7 ktorých porovnanie môžeme vidieť v tabuľke 1.

Tabuľka 1: Porovnanie systému Wordpress 4 a Drupal 7 [2]

	Wordpress 4	**Drupal 7**
Popularita	Viac ako 140 miliónov stránok	Viac ako 15 miliónov stránok
Dostupnosť	Zadarmo	Zadarmo
Dostupných modulov	Viac ako 27000	Viac ako 24000
Dostupných tém	Viac ako 2000	Viac ako 1800
Inštalácia	5 minút	10 minút
Otiažnosť administrácie	Priemerná	Jednoduchá
Najlepšie využitie	Blog, stránky firiem	Všetko prostredníctvom jedného systému
Bezpečnosť	Priemerná	Vysoká

Oba tieto systémy sú veľmi dobré, prepracované a na našu učebnicu by boli vhodné, avšak nakoniec sme si vybrali Drupal 7 najmä kvôli jeho jednoduchej administrácii, bezpečnosti a vysokej modularite ktorú sme neskôr pri tvorbe učebnice využili.

Vďaka vysokej modularite a podpore komunity systému Drupal sa nám podarilo vytvoriť v sekcii otázky jednoduchý systém, ktorý umožňuje používateľom opýtať sa iných používateľov otázku a následne hodnotiť ich odpovede.

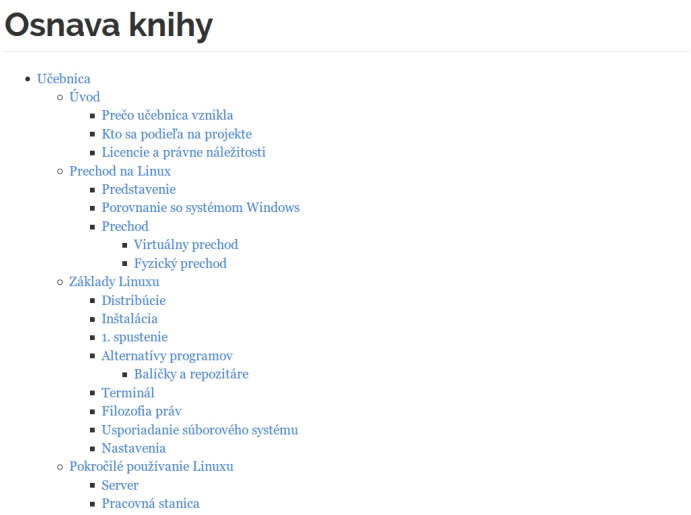
Tvorba osnovy učebnice

Ako sme spomenuli v predchádzajúcej časti Drupal 7 disponuje veľkým množstvom kvalitných dostupných modulov, avšak nedisponuje žiadnym modulom, ktorý by vytvoril stránku s tzv. osnovou učebnice. Preto sme sa takýto modul rozhodli naprogramovať sami.

Moduly v Drupale sa skladajú z dvoch hlavných súborov a to `*.info` v ktorom sa nachádzajú informácie o module a súboru `*.module` v ktorom sa nachádzajú presne pomenované funkcie ktoré Drupal vyžaduje pre použitie.[3]

Drupal disponuje funkciou `menu_tree_all_data()`, ktorá vracia viacrozmerné pole so všetkými informáciami o knihe a pomocou tejto funkcie sme v našom module vytvorili jednoduchý obsah knihy, tak ako je vidieť na obrázku číslo 1.

[1] CMS – Systém pre správu webového obsahu[1]



Obr. 1: Osnova knihy vytvorená pomocou vlastného modulu

Overenie v praxi

To či je učebný materiál dobrý alebo ho treba prerobiť sme sa rozhodli testovať počas vývoja medzi študentami Aplikovanej Informatiky a Učiteľstva Informatiky na Fakulte Prírodných Vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici a v priebehu apríla aj na základnej škole Jozefa Gregora Tajovského na Gaštanovej ulici v Banskej Bystrici.

Celý projekt je voľne prístupný na internete na na webovej adrese `http://eLinux.sk` a je našim cieľom aby sa začal používať na čo najväčšom počte škôl na Slovensku.

Záver

Bol vytvorený webový projekt, ktorý reprezentuje učebnicu Linuxu a v ktorom sú jednotlivé návody ako pracovať s Linuxom hierarchicky zoradené do tzv. knihy.

Projekt disponuje možnosťou pýtať sa otázky a dovoľuje komunite používateľov písať odpovede na položené otázky.

Myslíme si, že v tomto momente sme na veľmi dobrej ceste splniť náš cieľ, ktorý sme si stanovili v úvode tohto článku.

Literatúra

[1] L. Kudláček, *WordPress - Podrobný průvodce tvorbou a správou webu.* Computer Press, a.s., 1. ed., 2010.

[2] R. Mening, "Wordpress vs joomla vs drupal + cms "comparison chart"," 2015.

[3] J. Polzer, *Drupal 7 - Podrobný průvodce tvorbou a správou webu.* Computer Press, a.s., 1. ed., 2011.

Vyhľadávanie objektov pomocou deskriptora shape context

Roman CHOVAN, Branislav PAŽICKÝ, Pavol BALAJKA,
Michal VAGAČ, Alžbeta MICHALÍKOVÁ

Katedra informatiky FPV UMB, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica,
e-mail: romco4@gmail.com, brano.pazicky@gmail.com, pavolbalajka@gmail.com

Abstract: Object detection based on shape context descriptor: *The aim of the article is to introduce to a reader search objects based on shape context and their use. Firstly we talk about what shape context is. Secondly we talk about steps of shape context algorithm. Then we talk about Hungarian method. In the end we are presented the results achieved by our implementation.*

Keywords: *shape context, edge detection, object recognition, image matching, hungarian method*

Úvod

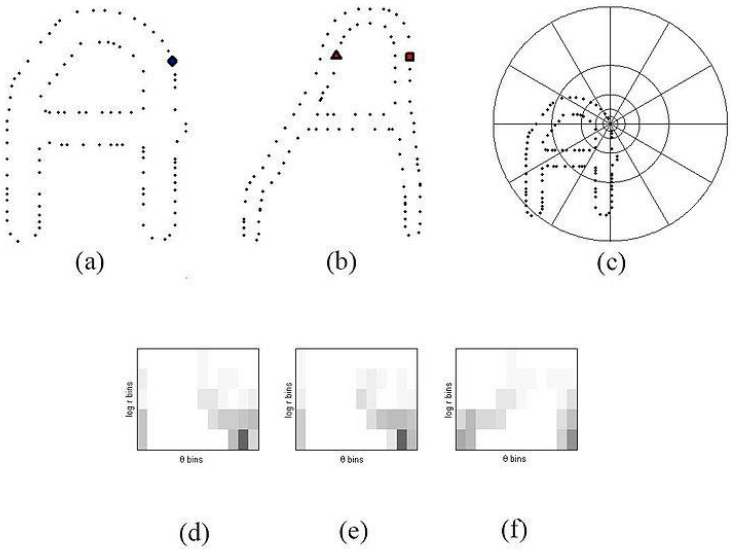
Počítačové videnie je vedný odbor, ktorý sa za posledných pár rokov rýchlo rozvíja. Stretávame sa s ním pri rozpoznávaní objektov, zachytávaní obrazu a spracovaní videa alebo fotografií. Na katedre informatiky prebieha riešenie projektu APVV pod názvom „Automatizované spracovávanie trasologických objektov“. Preto sme sa rozhodli spracovať tému vyhľadávanie objektov pomocou shape contextu. Hlavným cieľom tejto práce je vytvoriť program, ktorý bude rozpoznávať zadané tvary objektov pomocou metódy shape context. V projekte APVV bude možné tento program využiť na vyhľadávanie zadaného tvaru. Pri postupe vyhľadávania vložíme do programu tvar objektu, ktorý chceme vyhľadávať, napríklad si tento tvar môžeme aj nakresliť a náš program tento tvar identifikuje na snímke, kde sa nachádzajú aj iné rozličné objekty. V praxi sa táto metóda môže použiť v projekte Automatizované spracovávanie trasologických objektov na vyhľadávanie tvaru odtlačku topánky v reálnej snímke. V tejto práci opíšeme základný teoretický princíp metódy pre vyhľadávanie tvarov pomocou shape contextu a budeme prezentovať naše dosiahnuté výsledky.

Shape context

Shape context je spôsob, ako opisovať tvary, ktoré umožňujú hodnotenie podobnosti tvarov a vyhľadanie korešpondujúcich bodov. Základnou myšlienkou tejto metódy je vybrať *n* bodov na kontúre hľadaného tvaru. Ďalej získame vektory tak, že každý z týchto bodov na kontúre prepojíme s ostatnými bodmi. Množina všetkých nájdených vektorov poskytuje podrobný opis tvaru lokalizovaného v tomto bode. Pre každý bod z tejto množiny bodov vypočítame histogram.

Histogram vypočítame pomocou log-polárneho priestoru do ktorého vkladáme každý bod z kontúry ako stredový bod histogramu a pre ostatné body vypočítame ich súradnice v log-polárnom priestore. Tento histogram vidíme na obrázku 1. Písmeno “A“ je na obrázku reprezentované pomocou shape contextu v rôznych verziách.

Obrázok 1a a obrázok 1b sú snímky tvarov písmena “A“. Na obrázku 1c vidíme diagram log-polárneho priestoru, v ktorom je vložený prvý snímok (snímok na obrázku 1a). Obrázok 1d je výsledný histogram bodu vyznačeného na obrázku 1a. Obrázok 1e je výsledný histogram bodu vyznačeného štvorcom na obrázku 1b. Obrázok 1f je histogram bodu vyznačeného na obrázku 1b ako trojuholník. Medzi histogramami na obrázku 1d a obrázku 1e vidíme podobnosť kým histogram na obrázku 1f je odlišný [1].



Obrázok 1: Histogram

Popis krokov algoritmu

Algoritmus popisujúci shape context sa skladá z nasledujúcich krokov [4]:

1. Náhodne vyberieme množinu bodov, ktorá leží na vonkajšej hranici kontúry známeho tvaru a ďalšiu množinu vyberieme na vonkajšej hranici kontúry neznámeho tvaru.

2. Vypočítame shape context pre každý bod nájdený v kroku 1.

3. Vytvoríme nákladovú maticu, ktorú vypočítame zo shape contextu oboch obrázkov. Matica je veľkosti NxN. Vzorec pre nákladovú maticu je:

$$C=\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{k}\frac{[g(k)-h(k)]^2}{g(k)+h(k)}$$

Kde C je nákladová matica, g(k) je histogram počítaného bodu zo vzorového obrázka a h(k) je histogram počítaného bodu z neznámeho obrázka a k je veľkosť histogramu.

4. Na porovnávanie neznámeho tvaru k známemu tvaru použijeme maďarskú metódu.

5. Porovnáme body zo známeho tvaru s bodmi z neznámeho tvaru. Vyberieme bod z neznámeho tvaru a priradíme ho k najviac podobnému bodu v známom tvare.

Maďarská metóda

Maďarská metóda je kombinačný optimalizačný algoritmus, ktorý rieši problém priradenia prvku v polynomiálnom čase. V roku 1955 ho vyvinul a publikoval Harold Kuhn. Táto metóda je tiež známa ako Kuhn-Munkres algoritmus alebo tiež ako algoritmus priradenia.

Pri tejto metóde máme štvorcovú maticu kde riadky popisujú body zo známeho tvaru a stĺpce body z neznámeho tvaru. Cieľom algoritmu je vzájomne priradiť body z oboch obrázkov, ktoré majú minimálne vzdialenosti. Jednotlivé prvky sú naplnené vzdialenosťami bodov [2].

Kroky metódy sú [3]:

1. V každom riadku nájdeme najmenšiu hodnotu a odpočítame ju od všetkých prvkov v danom riadku.

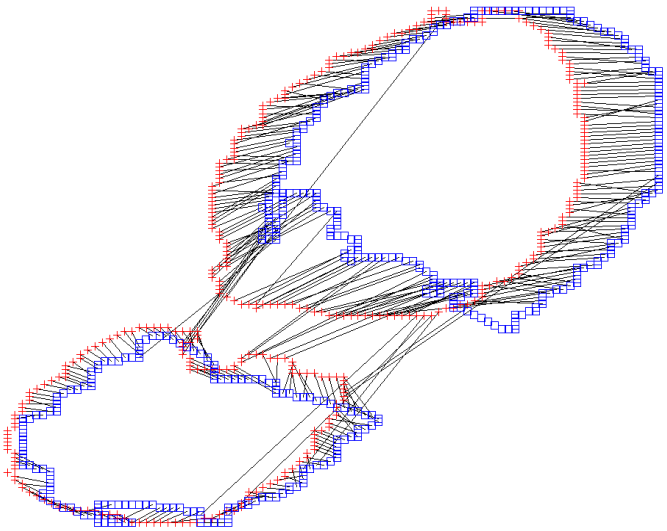
2. V každom stĺpci nájdeme najmenšiu hodnotu a odpočítame ju od všetkých prvkov v danom stĺpci.

3. Po aplikovaní prvých dvoch krokov v matici na niektorých miestach vznikli nuly. V tomto kroku potrebujeme všetky tieto nuly prekryť tzv. krycími čiarami, ktorých počet sa musí rovnať dimenzii matice. Pokiaľ táto podmienka nie je splnená, tak nájdeme neprekrytý prvok s najmenšou hodnotou a odčítame ho od všetkých neprekrytých prvkov a pričítame k prvkom, ktoré sú prekryté dva krát.

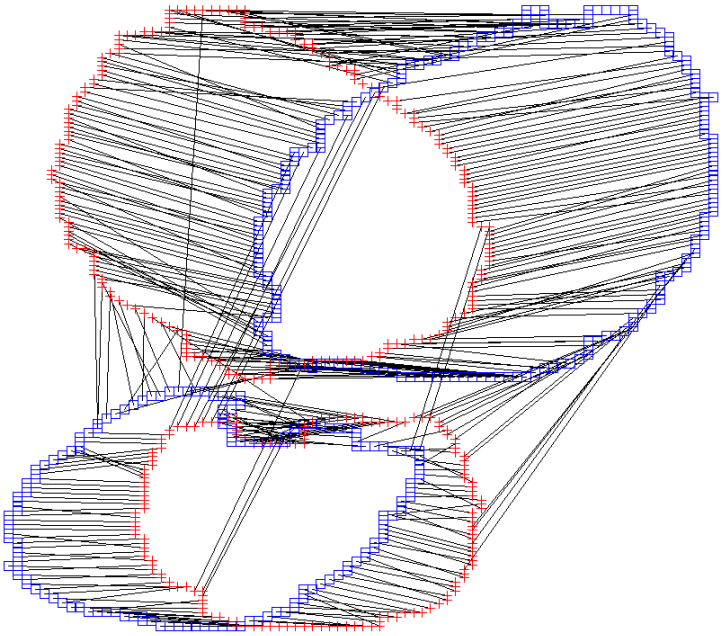
4. Ak nájdeme počet čiar rovný dimenzii matice, tak nám stačí vybrať prvky priradené jedinečne.

Výsledky implementácie

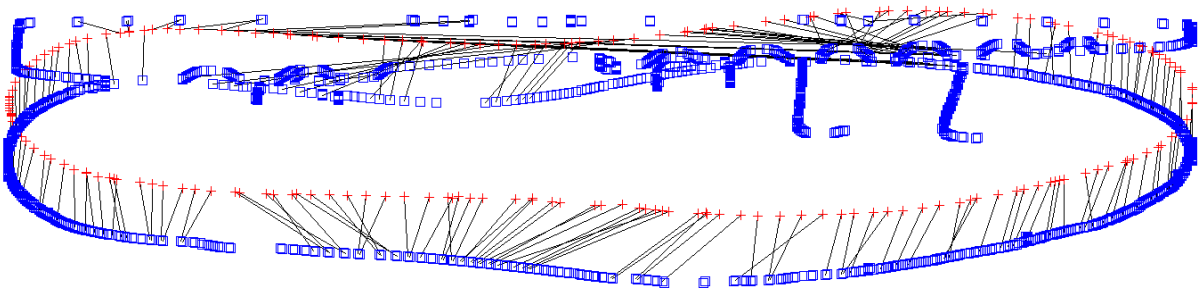
Opísaný deskriptor sme implementovali v jazyku Java s použitím knižnice OpenCV. Výstup z nášho programu je na obrázku 2 a obrázku 3.



Obrázok 2: Výstup: porovnanie dvoch podobných stôp

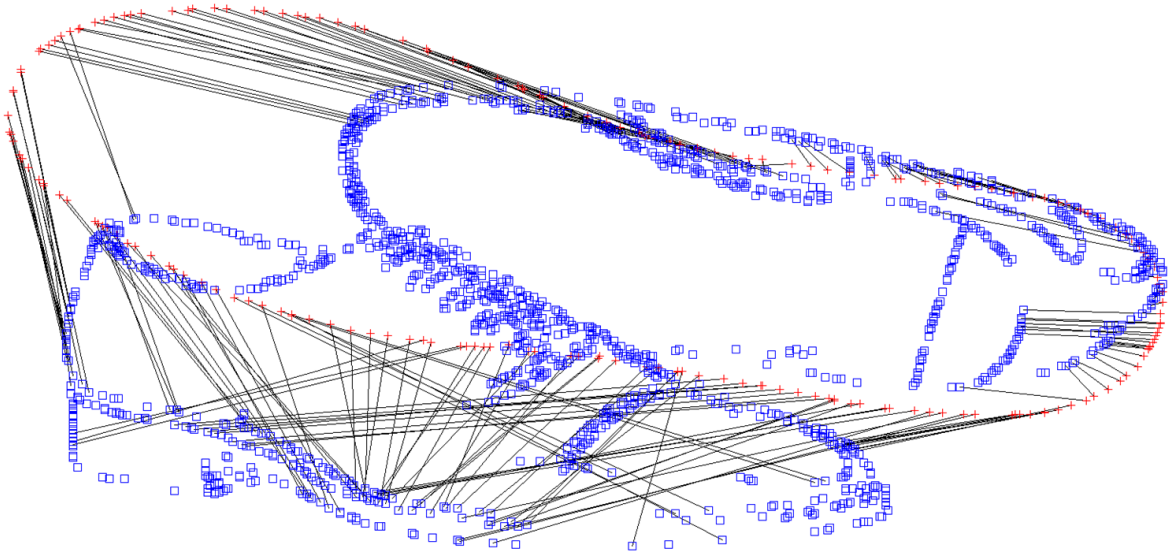


Obrázok 3: Výstup: porovnanie dvoch podobných stôp, pričom jedna je otočená o 30° doľava

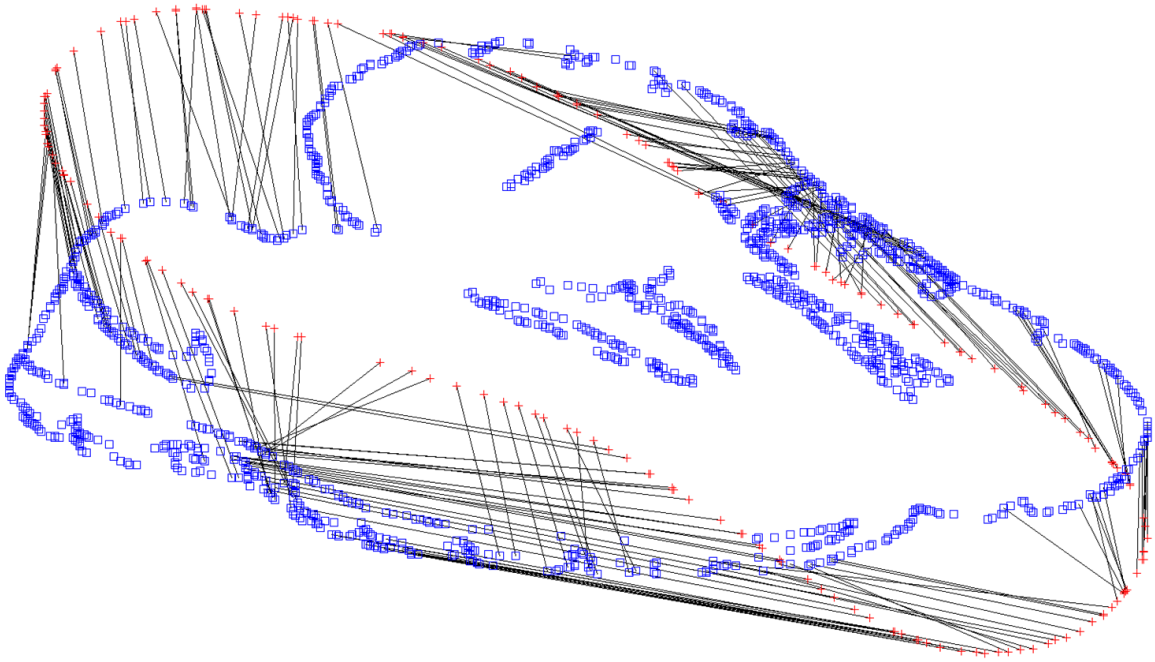


Obrázok 4: Výstup: porovnanie vzorovej stopy a podrážky odfotografovanej zospodu aj z profilu

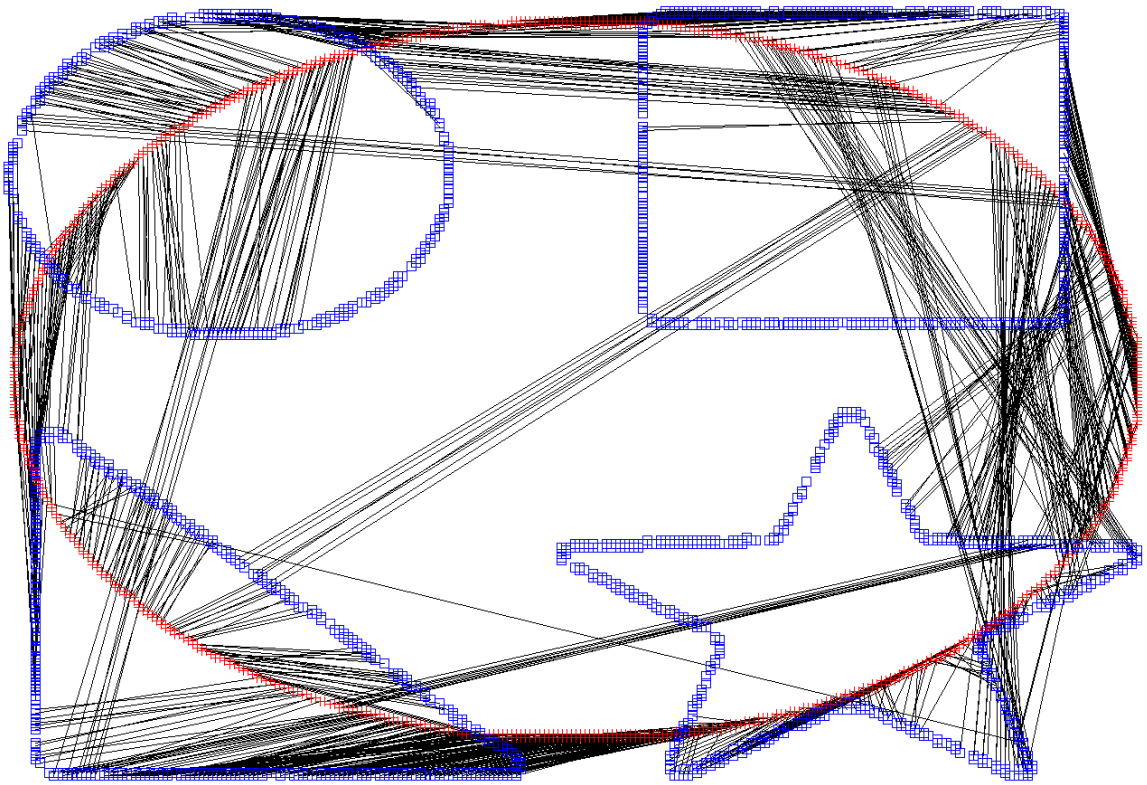
Na obrázkoch 2,3 a 4 môžeme vidieť, že výsledky porovnania sú dostačujúce, metóda našla hľadaný objekt. Na obrázky 3 ešte môžeme vidieť, že pri vstupe otočenej stopy metóda objekt nepriradila úplne správne, preto môžeme povedať, že metóda nepočíta s invariantnosťou.



Obrázok 5: Výstup: porovnanie vzorovej stopy a podrážky odfotografovanej zospodu aj z profilu



Obrázok 6: Výstup: porovnanie vzorovej stopy a podrážky odfotografovanej zospodu aj z profilu



Obrázok 7: Výstup: porovnanie vzorového kruhu z viacerými geometrickými tvarmi

Na obrázkoch 5, 6 a 7 metóda objekty nepriradila správne, metóda dokázala správne priradiť len veľmi malý počet bodov na vo všetkých troch prípadoch. Tieto výsledky sú spôsobené, že na obrázkoch sa nachádza priveľa šumu, veľa nepodobných objektov so vzorom, teda metóda nám nedokáže presne priradiť podobné body.

Záver

Cieľom tejto práce bolo oboznámiť sa s metódou vyhľadávania tvarov objektov založenou na shape contexte. Túto metódu sme v úvode tejto práce opísali, definovali sme pojem shape context a uviedli základný algoritmus metódy vyhľadávania tvarov. Pri metóde shape context sa používa maďarská metóda, ktorú sme tiež opísali a uviedli postup algoritmu, ako táto metóda pracuje. V praktickej časti sme implementovali metódu shape contextu. Výsledky našej implementácie môžeme vidieť v závere tejto práce. V našich výsledkoch vidíme, že pokiaľ je na vstupných obrázkoch tvar približne podobný a nenachádza sa tam žiadny šum, tak metóda dokáže objekt rozpoznať. V opačnom prípade výsledky nie sú dostatočne vyhovujúce. Táto metóda je pre náš projekt APVV nevyhovujúca.

Literatúra

[1] S. Belongie and J. Malik. 2000: Matching with shape contexts . *IEEE Workshop on, Hilton Head Island,* DOI: 10.1109/IVL.2000.853834

[2] Harold W. Kuhn. 1995: The Hungarian Method for the assignment problem. Naval Research Logistics, DOI: 10.1002/nav.3800020109

[3] Hungarian algorithm. Portál HungarianAlgorithm.com. Dostupné na: http://www.hungarianalgorithm.com/solve.php

[4] S. Belongie, J. Malik and J. Puzicha. 2001: Matching Shapes. Department of Electrical Engineering and Computer Sciences University of California, Berkeley, DOI:10.1109/ICCV.2001.937552

Implementácia algoritmu násobenia matíc na GPGPU s optimalizáciou prenosu údajov

Miroslav Kováč, Miroslav Melicherčík

Katedra informatiky FPV UMB, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica,
e-mail: miroslav.melichercik@umb.sk

Abstract: *In this paper we present a thorough experience on tuning double-precision matrix-matrix multiplication (DGEMM) on the Kepler GPU architecture. In early beginning of using matrix-matrix multiplications on GPU, we found that data transfer is taking a considerable amount of time. Reducing this time would significantly help to get results of multiplication. In this paper we focus on the problem of reducing time spent in copying data. We present an optimal algorithm with data transfer optimization. Our optimization strategy is further guided by a performance modeling based on benchmarks. We constructed a functional method that can be used in any CUDA program. Our optimization includes using an asynchronous methods on every mathematic operations and Strassen algorithm for operations on divided matrices. Transferring data while making some other operations is the key part of speeding up the performance. The best CUDA algorithm that we created outperforms algorithm from the CUBLAS library. We received 26% increase in speed performance in average.*

Keywords: *GPGPU, data transfer optimization, high performance computing, CUDA, parallel algorithms, matrix-matrix multiplication, DGEMM.*

Úvod

Vývoj súčasných výpočtových prostriedkov umožňuje realizovať čoraz zložitejšie výpočty a teda simulovať a teoreticky študovať čoraz komplexnejšie systémy v rôznych vedných oblastiach. Súčasťou takýchto simulácií sú častokrát rôzne numericky náročné výpočty, ako napríklad rôzne operácie nad maticami. Operácie nad maticami sú významným problémom vo vede a technike výpočtových aplikácií a preto sú bežne implementované v optimalizovaných matematických knižniciach so štandardným označením BLAS (Basic Linear Algebra Subprograms). Jednou z pomerne často používaných operácií je násobenie matíc, ktorého implementácia sa označuje ako GEMM. Keďže je dobre známe, že výkonnosť tejto knižnice je značne ovplyvnená hardvérom, tak sa výrobcovia hardvéru rozhodli začať ponúkať optimalizovanú implementáciu týchto rutín knižnice BLAS (napr. NVIDIA vytvorila CUBLAS).

Jenou z možností ako tieto numericky náročné výpočty zrýchliť je navrhnúť efektívnejší algoritmus. Bežne používaný konvenčný algoritmus násobenia matíc ma zložitosť $O(n^3)$. V roku 1968 nemecký matematik Volker Strassen navrhol rýchlejší algoritmus so zložitosťou $O(n^{2.807})$, ktorý je ďalej opísaný v prácach [1, 2, 3] a ktorým sa podrobnejšie budeme zaoberať aj v tejto práci, pretože sa využíva jadro tohto algoritmu.

Tento algoritmus je používaný aj v mnohých ďalších prácach [4, 5, 6], nakoľko je implementačne veľmi jednoduchý a aplikovateľný na riešenie rôznych problémov. Tento algoritmus vyžaduje, aby matice boli štvorcové a ich rozmer bol deliteľný dvoma. V práci [5] sa zaoberali vyriešením tohto problému. Vytvorili taký algoritmus, ktorý dokázal vynásobiť akékoľvek matice, ktoré spĺňali podmienku násobenia pomocou Strassenovho algoritmu. Ďalší efektívnejší algoritmus na násobenie matíc so zložitosťou $O(n^{2.375})$ navrhli dvaja autori - Don Coppersmith a Samuel Winograd. Časťou tohto algoritmu je rýchlejšie vypočítanie skalárneho súčinu dvoch vektorov, čo je navrhnuté v práci [7]. Coppersmith–Winograd algoritmus bol opísaný aj v práci [8], kde využili tento model na násobenie matíc v počítačoch s distribuovanou pamäťou.

Druhou možnosťou, ako skrátiť čas potrebný na vykonanie výpočtov je rozdeliť problém na niekoľko podproblémov a tie riešiť paralelne. Ideálnym nástrojom pre tento prístup je grafická karta GPGPU, ktorá obsahuje veľké množstvo procesorov umožňujúcich vykonávať súčasne rádovo tisíce vlákien. Množstvo autorov sa zaoberalo pozmenením algoritmov na násobenie matíc tak, aby vyhovovali pre daný špecifický problém. Niektoré práce [9, 10] sa zaoberali riešením problému násobenia riedkych matíc na grafickej karte. Na staršej Fermi GPU architektúre predstavili optimálny algoritmus s rozdelením zdieľanej pamäte a registrov do blokov tak, aby spĺňali podmienky hierarchie pamäte tejto architektúry [11]. Ďalej v práci [12] je vytvorený päťfázový softvérový pipelining medzi CPU a GPU značky ATI, kde rozložili záťaž algoritmu DGEMM do väčšieho detailu, čo im pomohlo znížiť latenciu prevodu dát CPU-GPU do vyššej miery a podarila sa im približne 80 percentná efektívnosť výpočtov s desatinnou čiarkou. Strassenov algoritmus bol navrhnutý na grafickej karte v práci [13]. V ďalších prácach sa zaoberali paralelnou implementáciou Strassenovho algoritmu v heterogénnych klastroch, a to tak, že minimalizovali čas nečinnosti rôzne výkonných procesorov a navrhli efektívnu rekurziu dekompozície dát [6].

Hlavným úskalím používania GPGPU na zrýchlenie výpočtovo náročných častí programu je nutnosť prenosu dát medzi hlavnou pamäťou počítača a pamäťou GPGPU. Táto práca sa sústreďuje na minimalizovanie času stráveného prenosom dát z CPU na GPGPU upravením Strassenovho algoritmu. Tento algoritmus využijeme tak, že najprv prekopírujeme čo najmenší počet blokov, ktoré potrebujeme k prvotnému spracovaniu, a počas následného sčitovania, odčitovania alebo násobenia údajov môžeme začať kopírovať ďalšie potrebné časti matíc. Podobne, keď už máme vypočítanú časť výslednej matice, tak ju môžeme začať kopírovať naspäť na pamäť, ktorú využíva CPU a počas toho môžeme počítať ďalšie časti výslednej matice. Týmto by sme využili čas kopírovania k súbežnému spracovaniu údajov. Takáto asynchrónnosť nám umožňuje efektívne využívať jadrá s minimalizovaním času nečinnosti.

Zvyšok práce je organizovaný nasledovne. V sekcii jedna sme podrobnejšie opísali Strassenov algoritmus. Sekcia dva opisuje základy CUDA, hierarchiu vlákien grafických kariet podporujúcich CUDA a funkcie, ktoré používam. Analýza problému optimalizovania pamäte sa nachádza v sekcii tri a sekcia štyri opisuje implementáciu rôznych pokusov o vyriešenie problému. Sekcia päť porovnáva výsledky našej implementácie oproti jednoduchej implementácii rutiny maticového násobenia s dvojnásobnou presnosťou – DGEMM z knižnice CUBLAS. Záverečné zhrnutie sa nachádza v poslednej sekcii.

1. Strassenov algoritmus násobenia matíc

Hlavnou výhodou Strassenovho algoritmu je, že je potrebné urobiť len sedem násobení matíc s polovičnými rozmermi v porovnaní s pôvodnými maticami, čo nám výrazne zmenší počet operácií násobenia. Toto sme spravili za cenu potreby viacerých, ale stále konštantného množstva, sčítaní alebo odčítaní, čo sú ale rýchlejšie operácie ako operácie násobenia. Tento algoritmus sa skladá z nasledovných štyroch krokov:

1. Rozdelenie vstupných matíc A, B a výstupnej matice C do $n/2 \times n/2$ matíc pomocou indexovania, čo zaberie $\Theta(1)$ času.
2. Alokovanie priestoru na 10 matíc $S_1, S_2, S_3, \ldots, S_{10}$, kde každá z nich bude o veľkosti $n/2 \times n/2$ a bude súčtom alebo rozdielom z dvoch matíc, vytvorených v kroku jedna. Všetkých desať matíc vieme vytvoriť v čase $\Theta(n^2)$.

$$S_1 = B_{12} - B_{22},$$
$$S_2 = A_{11} + A_{12},$$
$$S_3 = A_{21} + A_{22},$$
$$S_4 = B_{21} - B_{11},$$
$$S_5 = A_{11} + A_{22},$$
$$S_6 = B_{11} + B_{22},$$
$$S_7 = A_{12} - A_{22},$$
$$S_8 = B_{21} + B_{22},$$
$$S_9 = A_{11} - A_{21},$$
$$S_{10} = B_{11} + B_{12},$$

3. Použitím matíc z kroku 1 a kroku 2 rekurzívne vypočítanie siedmich produktov $P_1, P_2, \ldots, P_7$. Každá matica P_i je o veľkosti $n/2 \times n/2$.

$$P1 = A_{11} \cdot S_1,$$
$$P2 = S_2 \cdot B_{22},$$
$$P3 = S_3 \cdot B_{11},$$
$$P4 = A_{22} \cdot S_4,$$
$$P5 = S_5 \cdot S_6,$$
$$P6 = S_7 \cdot S_8,$$
$$P7 = S_9 \cdot S_{10},$$

4. Vypočítanie hľadaného C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}, použitím sčítania a odčítania rôznych produktov P_1 až P_7. Všetky štyri matice vieme vypočítať za čas $\Theta(n^2)$.

$$C_{11} = P_5 + P_4 - P_2 + P_6,$$
$$C_{12} = P_1 + P_2,$$
$$C_{21} = P_3 + P_4,$$
$$C_{22} = P_5 + P_1 - P_3 - P_7,$$

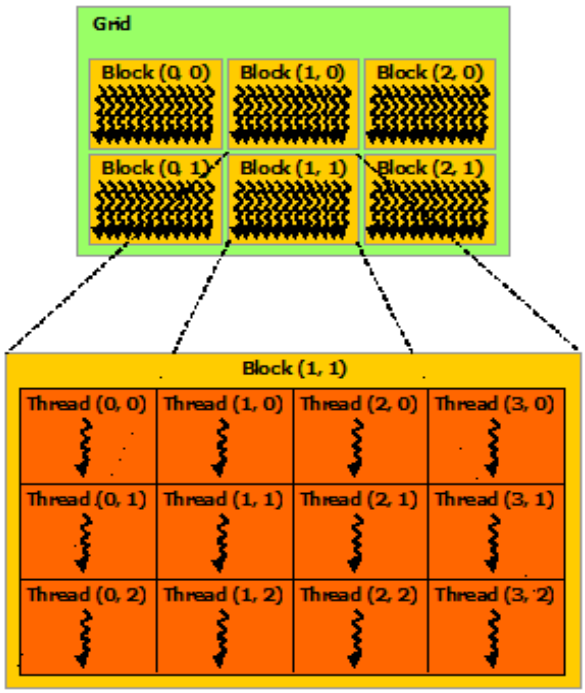
Tento algoritmus má zložitosť $\Theta(n^{\lg 7})$. Keďže lg 7 sa nachádza niekde medzi 2.80 a 2.81, tak teoreticky vieme povedať že zložitosť tohto algoritmu je menšia ako zložitosť $\Theta(n^3)$ konvenčného algoritmu násobenia matíc.[1, 2, 3]

2. CUDA

Aj keď zariadenia NVIDIA sú veľmi často asociované s renderovaním grafických prvkov, tieto zariadenia sú aj veľmi výkonné aritmetické jednotky. [14]

NVIDIA® CUDA™ je paralelná výpočtová architektúra vytvorená spoločnosťou NVIDIA na všeobecné použitie. Je zložená z CUDA inštrukčnej sady a prostriedku na paralelné výpočty v GPU. Na programovanie v CUDA sa dá použiť programovací jazyk C, jazyk vyššej úrovne, ktorý je vo svete široko využívaný, ale aj jazyky C++, Fortran a Python.

GPU ktoré podporujú CUDA majú stovky jadier, na ktorých môžu spoločne bežať tisícky vlákien. Všetky jadrá majú spoločné zdroje ako napríklad registre alebo pamäť. Zdieľaná pamäť zabezpečuje, že paralelné úlohy môžu zdieľať dáta bez ich potreby posielania cez pamäťovú zbernicu. [15]



Obrázok 1: Rozloženie vlákien do blokov [16]

2.1. Hierarchia vlákien

Vlákna sa identifikujú pomocou premennej threadIdx, čo je vektor s troma hodnotami. Podľa toho, či potrebujeme spracovať hodnoty vektoru, matice alebo trojrozmerného objektu, môžeme využiť túto premennú na sformovanie jednorozmerného, dvojrozmerného alebo trojrozmerného indexu vlákien. Tento počet je limitovaný, keďže tieto vlákna sú umiestnené na rovnaké procesorové jadro, ktoré zdieľa len limitovanú pamäť. Vlákna sú uložené v takzvaných blokoch, ktoré tiež formujú jednorozmernú, dvojrozmernú alebo trojrozmernú tabuľku. Každý blok má svoju špecifickú id, ku ktorej sa vieme dostať pomocou premennej blockIdx, ďalší trojrozmerný vektor. Z tohto nám vznikne akási jednorozmerná, dvojrozmerná alebo trojrozmerná tabuľka, podobná ako na obrázku číslo 1, a z toho vyplýva, že konečný počet vlákien spustených na GPU bude počet vytvorených blokov krát počet vlákien v bloku. Nakoniec aby sme mohli vypočítať špecifickú pozíciu pre každé vlákno, potrebujeme vedieť ešte veľkosť bloku. Za týmto účelom bola vytvorená premenná blockDim, čo je opäť vektor s troma hodnotami x, y a z.

Na spustenie nejakej funkcie na GPU, je vytvorená nová syntax, špecifická pre CUDA programovací model. Medzi názvom funkcie a parametrami sa nachádza nová <<<,,,>>>, takzvaná spúšťacia konfigurácia, ktorá je zložená zo štyroch parametrov, kde dva sú povinné a dva sú voliteľné. Prvé dva parametre sú počet blokov a počet vlákien v bloku. Tieto parametre môžu byť typu int alebo dim3 (štruktúra s tromi premennými typu int). Na vypočítanie špecifickej časti daného vektora, matice alebo objemu použijeme nasledujúcu rovnicu.[16]

$$\check{c}\acute{\imath}slo\_v\_riadku = blockIdx.x * blockDim.x + threadIdx.x,$$
$$\check{c}\acute{\imath}slo\_v\_st\acute{\imath}pci = blockIdx.y * blockDim.y + threadIdx.y,$$
$$\check{c}\acute{\imath}slo\_v\_h\acute{\imath}bke = blockIdx.z * blockDim.z + threadIdx.z,$$

2.2. Manažment pamäte

Optimalizovanie pamäte zohráva významnú úlohu pre rýchlosť behu programu. Cieľom je maximálne využitie hardvéru a to tým, že budeme čím viacej využívať rýchlu pamäť a čo najmenej pomaly prístupnú pamäť.

Je potrebné uvedomiť si, že maximálna rýchlosť práce s pamäťou GPU je oveľa rýchlejšia ako maximálna rýchlosť práce s pamäťou CPU. Tiež je výhodnejšie spraviť jeden veľký prenos dát medzi pamäťou CPU a GPU ako veľa malých. Na prevod pamäte z CPU na GPU je lepšie využiť takzvanú uzamknutú (page-locked alebo pinned) pamäť. Nie je dobré používať tejto pamäte príliš veľa, pretože uzamknutá pamäť je vzácny zdroj. Povedať dopredu koľko je priveľa, je ťažké až nemožné. Je potrebné otestovať program a zistiť, kedy sa dosiahnu lepšie výsledky. [14]

2.3. Použité funkcie

- cublasStatus_tcublasDgemm(cublasOperation_ttransa, cublasOperation_t transb, int m, int n, int k, const double *alpha,const double *A, intlda, const double *B, intldb, const double *beta, double *C, intldc)

Je to funkcia z knižnice CUBLAS na vykonanie násobenia dvoch matíc. Premenné A, B sú vstupné vektory, kde matica je uložená po stĺpcoch a C je výsledný vektor, kde matica je takisto uložená po stĺpcoch. Premenná m je počet riadkov matice B a C. Dimenzie matíc sú zadané nasledovne:

A (m x k),
B (k x n),
C (m x n),

Premenné lda, ldb a ldc slúžia na získanie veľkosti riadka príslušnej matice. Transa a transb sú operácie, ktoré slúžia na transponovanie príslušných matíc. Násobenie sa vykonáva nasledovne:

C = alpha * A * B + beta * C, [17]

- cublasStatus_tcublasSetKernelStream(cublasHandle_t handle, cudaStream_tstreamId)

Táto funkcia nastaví pre CUBLAS knižnicu prúd tak, že všetky nasledovné operácie budú spúšťané nad týmto prúdom. Ak tento prúd nie je nastavený, použije sa štandardné NULL nastavenie prúdu. Používa sa to na nastavenie prúdov pri rôznych operáciách, ktoré by mohli byť spracovávané súčasne. [17]

- cudaError_tcudaMalloc (void**devPtr, size_tsize)

Alokuje počet bajtov o veľkosti size v pamäti GPU a vráti ukazovateľ *devPtr na alokovanú pamäť. [18]

- cudaError_t cudaMemcpy2DAsync (void*dst, size_tdpitch, const void*src, size_tspitch, size_twidth, size_t height, enumcudaMemcpyKind kind, cudaStream_t stream = 0)

Nakopíruje maticu o počte riadkov height a každý riadok o veľkosti počtu bajtov width z pamäte označenej ako src do pamäti označenej ako dst. Na určenie smeru kopírovania sa použije premenná kind typu enum a to cudaMemcpyHostToHost (CPU => CPU), cudaMemcpyHostToDevice(CPU => GPU), cudaMemcpyDeviceToHost (GPU => CPU) alebo cudaMemcpyDeviceToDevice (GPU => GPU). Dpitch a spitch je šírka pamäti v bajtoch 2D poľa ukazujúce na príslušné matice dst a src. Toto volanie je asynchrónne ohľadom na CPU, takže funkcia môže vrátiť návratovú hodnotu skôr ako funkcia skončí. Táto funkcia funguje asynchrónne len pri uzamknutej CPU pamäti.[18]

3. Analýza problému

Na začiatku sme si vytvorili vlastnú funkciu na násobenie matíc pomocou GPU na osobnej grafickej karte NVIDIA GEFORCE GTX 560M, kde sme zistili ako sa vlastne programuje na grafickej karte. Keď sa nám podarilo navrhnúť kód tak, aby sme dostávali správne výsledky, implementovali sme tento algoritmus na vysoko-výkonnom klastri na Univerzite Mateja Bella v Banskej Bystrici, kde sme mali k dispozícií grafickú kartu Tesla K20m, ktorej špecifikácie si môžete pozrieť v tabuľke č.1.

Tabuľka 1: Špecifikácie zariadenia Tesla K20m

Verzia CUDA driver	7.50
Verzia CUDA runtime	7.50
Číslo verzie CUDA schopností	3.5
Množstvo globálnej pamäti v bajtoch	5 032 706 048
Množstvo konštantnej pamäti v bajtoch	65 536
Množstvo zdieľanej pamäti v bloku v bajtoch	49 152
Množstvo registrov prístupné na jeden blok	65 536
Veľkosť jedného balu	32
Maximálne množstvo vlákien v bloku	1 024
Maximálna veľkosť dimenzie bloku	1 024 x 1 024 x 64
Maximálna veľkosť dimenzie gridu	2 147 483 647 x 65 535 x 65 535
Maximálny posun pamäti v bajtoch	2 147 483 647
Zarovnanie textúry v bajtoch	512
Taktovacia frekvencia v GHz	0.71
Súbežne kopírovanie a spracovanie údajov	Áno
Runtime Limit na jadrách	Nie
Integrovaná	Nie
Podporuje CPU uzamknutie pamäte	Áno
Výpočtový mód	Štandardný – viacero CPU vlákien môže využívať toto zariadenie súbežne.
Súbežné spracovanie na grafickej karte	Áno
Zariadenie má ECC podporu zapnutú	Áno
Zariadenie používa TCC driver mód	Nie
Množstvo CUDA jadier / Množstvo multiprocesorov	2496 / 13 – (192 jadier na MP)

Po niekoľkých výkonnostných testoch a následnom študovaní pomocou CUDA-profilera bolo hneď vidieť ako značne veľa času nám zaberá kopírovanie dát obidvoch matíc z pamäti CPU na pamäť GPU.

3.1. CUBLAS

CUBLAS je matematická knižnica, ktorá bola navrhnutá spoločnosťou NVIDIA tak, aby zvládala všetky základné matematické výpočty na grafickej karte podporujúce CUDA. Taktiež sa tu nachádzajú základné operácie na alokovanie pamäti a na kopírovanie pamäti na obidve strany (cublasSetMatrix, cublasGetMatrix), čo by pri našom probléme mohlo pomôcť, keďže táto knižnica by mala byť dostatočne optimalizovaná.

Hneď po prvých testoch sme vedeli, že táto knižnica nám pri prenose dát veľmi nepomôže. Čas, ktorý prešiel po alokovaní a kopírovaní dát, bol približne rovnaký, niekedy až pomalší ako pri obyčajnom alokovaní a kopírovaní. Nebolo to veľké prekvapenie, pretože ani NVIDIA veľmi nemohla použiť nič iné ako klasické alokovanie. Po menšom výskume sme našli ich zdrojový kód[19], kde alokujú dáta presne tak isto, ako sme to robili my, no ešte naviac robia ďalšie testy, či sú dáta v správnom tvare a to zaberá viac času. Tak sme sa rozhodli, že nebudeme používať ich knižnicu na kopírovanie dát, no vyskúšali sme ju využiť na samotné násobenie matíc. Ich implementácia zahŕňala všetko potrebné na rýchle prenásobenie dvoch matíc, vrátane použitia rýchlej zdieľanej pamäti a rozdelenia výpočtov medzi jednotlivé vlákna a teda bola porovnateľnou, ba niekedy i rýchlejšou implementáciou. Keďže je jednoduchšie použiť túto knižnicu na násobenie, ako tvoriť vlastnú metódu a vytvorenie vlastnej procedúry nám nepomôže pri riešení problému s prenosom pamäti, rozhodli sme sa ju používať v ďalšom riešení.

4. Implementácia

Po krátkej analýze problému sme mohli začať implementovať veci, ktoré sme sa dozvedeli. Spoznali sme špecifikáciu karty, nad ktorou sme robili ďalší výskum, spoznali sme knižnicu, ktorú sme mohli použiť pri ďalšej tvorbe, zistili sme ako robiť s uzamknutou pamäťou pre asynchrónne kopírovanie. Taktiež sme sa na začiatku tejto práce zoznámili so Strassenovým algoritmom [4, 1, 2, 3], ktorý sme neskôr využili pri riešení problému.

4.1. Zerocopy

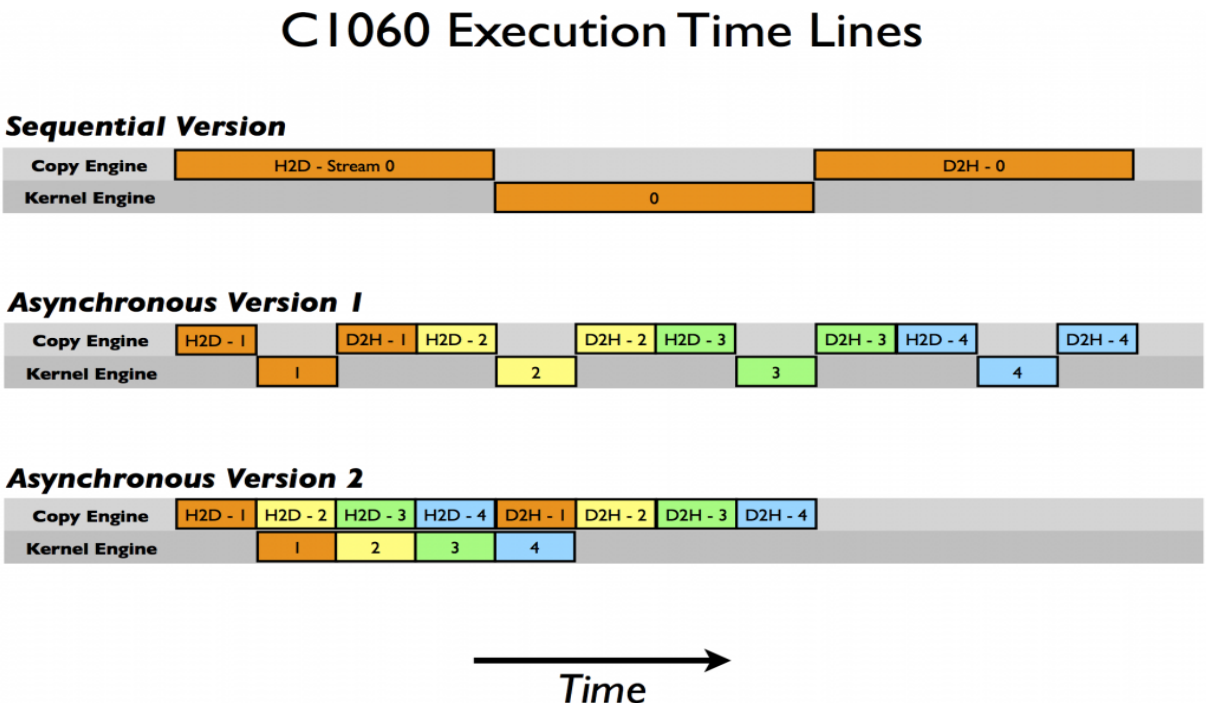
Ako ďalšiu vec sme skúsili vynechať krok kopírovania dát z pamäte CPU do pamäte GPU. Zerocopy je vlastnosť, kedy si môžeme na CPU pamäti špeciálne alokovať pamäť a vznikne nám uzamknutá pamäť, ktorú môžeme potom použiť na priamy prístup z GPU. Pri integrovaných GPU zariadeniach je takéto alokovanie pamäte a následný prístup na ňu prínosným, pretože sa vynechá zdĺhavé kopírovanie. Na integrovaných zariadeniach sa jedná fyzicky o tú istú pamäť a teda aj CPU aj GPU fyzicky pristupujú na rovnakú pamäť. [14]

Najprv sme skúsili len alokovať priestor a spustiť násobenie nad náhodnými alokovanými dátami, či to bude mať vôbec nejaký význam. Ukázalo sa, že násobenie prebehlo podstatne rýchlejšie. Skúsili sme teda aplikovať vlastnosť zerocopy do tohto kódu, no čas ktorý strávil pri násobení sa niekoľkokrát znásobil. Dôvodom je fakt, že hoci sme explicitne dáta nekopírovali do pamäte GPU, nevyhli sme sa ale pomerne pomalému prenosu dát cez zbernicu. Čas, ktorý strávil získavaním údajov na oddelenej pamäti, bol veľký a teda táto implementácia by nám nepomohla pri riešení problému optimalizovania kopírovania dát.

4.2. Asynchrónny algoritmus

Ďalšou možnosťou ako zmenšiť čas kopírovania alebo ako ten čas využiť na niečo iné, je pokúsiť sa kopírovať dáta súbežne s vykonávaním výpočtov. Podľa špecifikácie našej karty vieme súbežne kopírovať a vykonávať procesy na karte. Sú dva typy kariet s asynchrónnym správaním. Jedny vedia len kopírovať a spracovávať údaje súbežne a tie druhé majú dva kopírovacie zariadenia. Jedny na kopírovanie s GPU pamäti na CPU pamäť a druhé zase opačne. Pre obidva prípady je potrebné iný pohľad na vyriešenie problému.

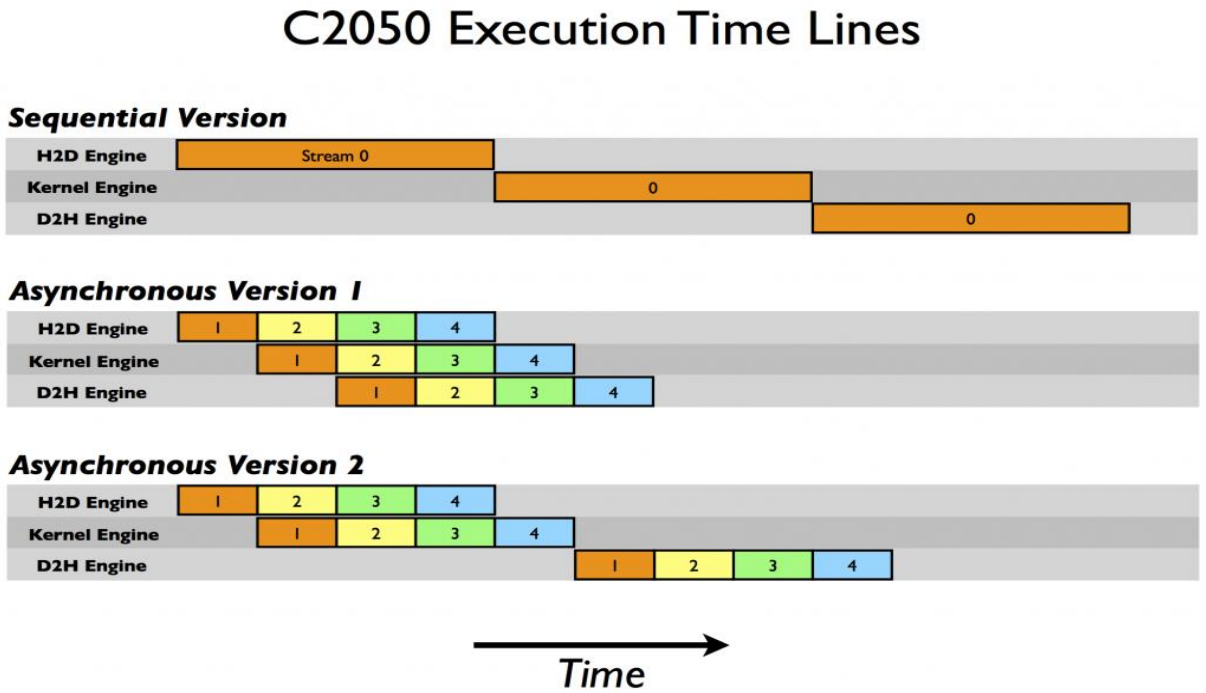
Z obrázku číslo 2 je zrejmé, že v prvej tabuľke ako by sa spracovali a prekopírovali údaje sekvenčne vzhľadom na tieto dve zariadenia. Najprv sa prekopírujú dáta na GPU, potom sa spracujú údaje a potom sa prekopírujú údaje naspäť na CPU. Pri prvom upravenom algoritme sa tieto dáta rozdelia na štyri časti a postupne sa najprv prekopíruje jedna časť a hneď ako je prekopírovaná sa začne spracovávať prekopírovaná časť a asynchrónne sa pošle späť, a kopíruje sa ďalšia časť. Asynchrónnosť sa tu stráca, pretože máme len jedno kopírovacie zariadenie. Viac by sa oplatilo prekopírovať



Obrázok 2: Jedno kopírovacie zariadenie a jedno zariadenie na spracovanie údajov [21]

časť na spracovanie po prekopírovaní prvej časti, hneď kopírovať druhú a popri tom môžeme spracovávať tieto nakopírované časti a ako náhle nie je čo kopírovať na GPU treba začať kopírovať späť. Toto sa deje pri druhom upravenom algoritme a vidíme, že sme ušetrili veľa času. Na obrázku číslo 3 máme algoritmus, ktorý nám ukazuje ako by to bolo pri dvoch kopírovacích zariadeniach.

Pri takomto zariadení sa viac oplatí prvý postup, čím je ušetrené ešte viacej času. Jedno zariadenie nám kopíruje celý čas údaje jedným smerom, druhé zariadenie údaje spracuje hneď ako sú dostupné a tretie zariadenie spracované údaje posiela späť. Tieto zariadenia vedia, kedy sa údaje môžu začať spracúvať alebo posielať naspäť vďaka tomu, že sa spracúvajú nad určitým prúdom. Keď sa prvé dáta spracúvajú nad prúdom jedna, kopírovacie zariadenie nepošle prvý prúd údajov naspäť pokiaľ spracovanie nie je dokončené. Druhý upravený algoritmus nie je pre tento prípad správny pre očividný dôvod. Tu už nepotrebujeme čakať, kým sa všetky údaje spracujú na to, aby sme mohli kopírovať naspäť, ako v prípade s jedným kopírovacím zariadením. [20]



Obrázok 3: Dva kopírovacie zariadenia a jedno zariadenie na spracovanie údajov [21]

4.2.1. Implementácia asynchrónneho algoritmu

Naša prvá implementácia bola s použitím Strassenovho algoritmu[1, 2, 3]. Aj keď tento algoritmus je jeden z najstarších algoritmov aké boli vytvorené na násobenie matíc, my sme sa ho rozhodli použiť v tejto práci hlavne z dôvodu rozdelenia matíc na 4 časti s polovičnou veľkosťou, čo nám dovolilo asynchrónne spracovávať údaje tak, ako je ďalej opísané.

Keď sme si rozdelili matice na štvrtinky, vždy sme prekopírovali len tie časti matice ktoré sme potrebovali na výpočet určitej koncovej časti matice. Takže keď sme si chceli vypočítať výslednú časť C_{12}, vytvorili sme si pomocné premenné P_1,P_2, ku ktorým sme potrebovali S_1 a S_2, ktoré zase potrebovali aj A_{11}, B_{22},A_{12}, B_{12}. Tieto premenné sme si alokovali, prekopírovali do nich potrebné údaje, spracovali a prekopírovali späť. Keď sme mali tieto údaje prekopírované, našli sme takú výslednú časť, ktorá spracovávala podobné údaje a teda sme si prepísali len určitú časť údajov a tú druhú sme používali k výpočtu druhej časti. Tatko sme spracovali všetky údaje.

Na sčítanie a odčítanie matíc sme implementovali vlastné funkcie na GPU. Tieto vytvorené funkcie na sčitovanie a odčítavanie matíc boli rýchlejšie, ako sčitovania alebo odčítavania pomocou rutiny cublas_daxpy z knižnice CUBLAS, pre už spomínaný dôvod kontrolovania správnosti vložených údajov. V druhej implementácii sme namiesto postupného kopírovania a prepisovania údajov vytvorili a alokovali všetky premenné, ktoré sú potrebné pri Strassenovom algoritme. Potom sme si pozreli, ktoré časti potrebujeme minimálne nakopírovať, aby sme mohli niečo spracovávať. Ukázalo sa, že potrebujeme prekopírovať len dve časti na to, aby sme mohli hneď sčitovať údaje, a tretí na to, aby keď tieto údaje sú spracované a tretí prekopírovaný, tak sa mohlo spustiť prvé zo siedmich potrebných násobení. Počas tohto násobenia sa hneď mohlo súbežne pokračovať v kopírovaní ďalších častí matíc, čo nám zabezpečilo ďalšie možnosti násobenia, sčitovania alebo odčítavania.

Keďže máme dve kopírovacie zariadenia, bolo by nesprávne nechať kopírovať hotové matice až úplne na konci. Náš algoritmus sme upravili tak, aby sa jedna zo štvrtín vypočítala čo najrýchlejšie, no nie na úkor čakania, kým sa nakopírujú správne údaje. Ako náhle sa vypočítala jedna z výsledných častí, dali sme ju kopírovať späť do pamäte CPU a popri tom sa spracovávali ďalšie údaje.

Ukázalo sa, že len tri z dvanástich kopírovaní sa vykonávali tak, že GPU vôbec nič nespracováva a štvrtý kopíruje tak, že len nadpolovičný čas tohto kopírovania čaká na ďalšie spracovanie údajov. Prvé dva z týchto kopírovaní sú samozrejmé, keďže len po nich je možné niečo spracovávať a takisto posledné kopírovanie výslednej matice naspäť, pretože je potrebné počkať na predošlé spracovanie údajov. No pri treťom kopírovaní na GPU dochádza ku stavu nečinnosti GPU zariadenia na spracovanie len preto, lebo sčitovanie údajov, čo je prvý proces, ktorý môže začať GPU vykonávať, dokáže spracovať veľmi rýchlo.

4.3. Neuzamknuté alokovanie pamäte

Tu sme sa dostali ku výslednému algoritmu, ktorý funguje správne a maximálne sme zredukovali čas kopírovania tým, že sme využil asynchrónnosť a GPU spracovával nejaké údaje, kým sa kopírovali časti dát. Keďže sme chceli aby naša funkcia bola na násobenie matíc univerzálne použiteľná, museli sme predpokladať, že používateľ nebude mať pamäť s maticami alokovanú ako zamknutú. Preto naša implementácia kódu musí byť taká, aby akékoľvek údaje dvoch matíc, ktoré sa dajú navzájom vynásobiť, boli násobiteľné pomocou našej funkcie. To znamená, že nemôžeme rátať s uzamknutou pamäťou a teda nemôžeme použiť asynchrónne kopírovanie. [14]

Aj keď to znamená menší problém, riešenie vidíme v tom, že nevyvoláme asynchrónne kopírovanie údajov, ale keď sa nakopírovali potrebné časti, na čo je potrebné v každom prípade počkať, dali sme asynchrónne spracovávať údaje. To znamenalo, že CPU napríklad zavolalo funkciu násobenia, no nečakalo kým sa údaje spracovali, ale mohli sme hneď spustiť funkciu kopírovania, na čo už muselo čakať, kým sa spracuje. Týmto sme si tiež zaistili, že sme vedeli, kedy a ktoré údaje v skutočnosti sú už prekopírované a nemuseli sme používať synchronizačnú funkciu čakania.

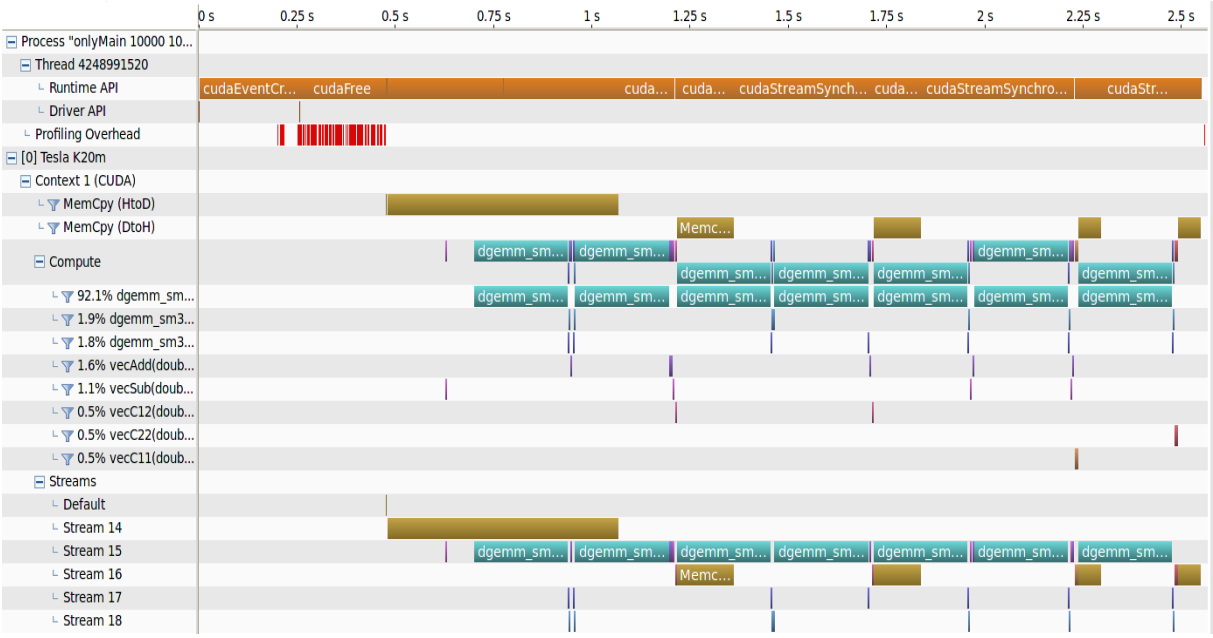
4.4. Redukcia alokovanej pamäti

Takto navrhnutý algoritmus násobenia bol síce funkčný, ale problémom zostala jeho pamäťová náročnosť, keďže okrem samotných násobených matíc a výsledku sme museli v pamäti ukladať aj medziprodukty S a P. Matice s dimenziou okolo 10000 už nevypočíta, pretože máme príliš veľa miesta zaplneného, a tým nám pamäť pretečie. Po ďalšej analýze sme zistili, že nie všetky časti budeme stále

potrebovať. Po výpočte určitej časti výslednej matice niektoré premenné P a S už nebudeme viac využívať. Preto sme si určité alokované časti začali prepisovať novými, čím sme zabezpečili priestor na násobenie aj väčších matíc.

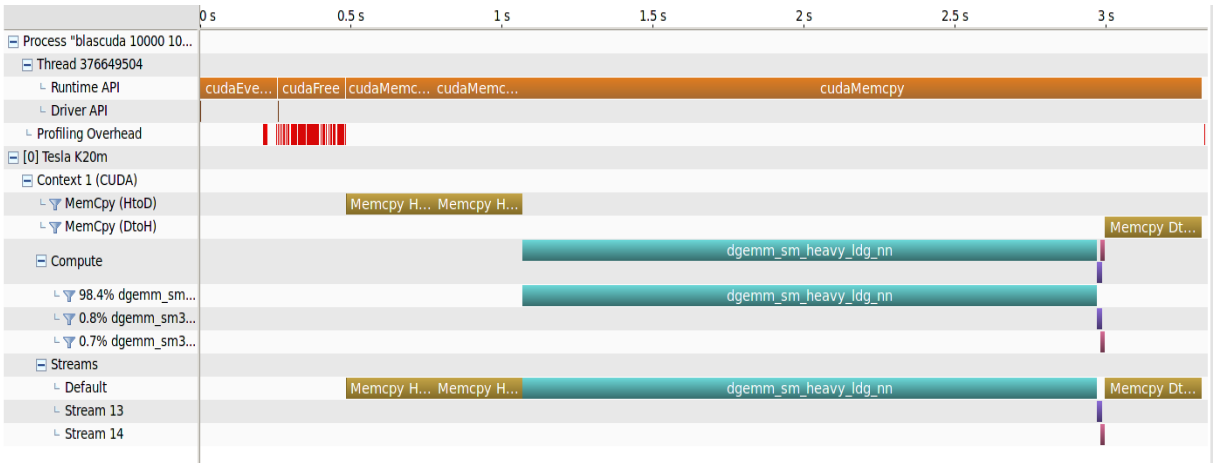
5. Výsledky

Aj keď sa nám čas kopírovania nepodarilo znížiť, podarilo sa nám využiť tento čas na spracovanie niečoho iného, užitočného. Na obrázku číslo 4 je vidieť, že väčšina kopírovania sa odohráva súbežne s násobením alebo inými matematickými operáciami. Môžeme tu vidieť, ako prvé dve kopírovania prebiehajú samotné, tretie už len sčasti samotné, a ostatné kopírovania dát na GPU paralelne s inými operáciami. Taktiež vidíme, že kopírovanie obidvomi smermi sa deje nad rozličnými prúdmi, a teda nie sú blokované žiadne iné operácie. Kopírovanie smerom späť je taktiež vykonávané súčasne s ďalším spracovaním údajov.



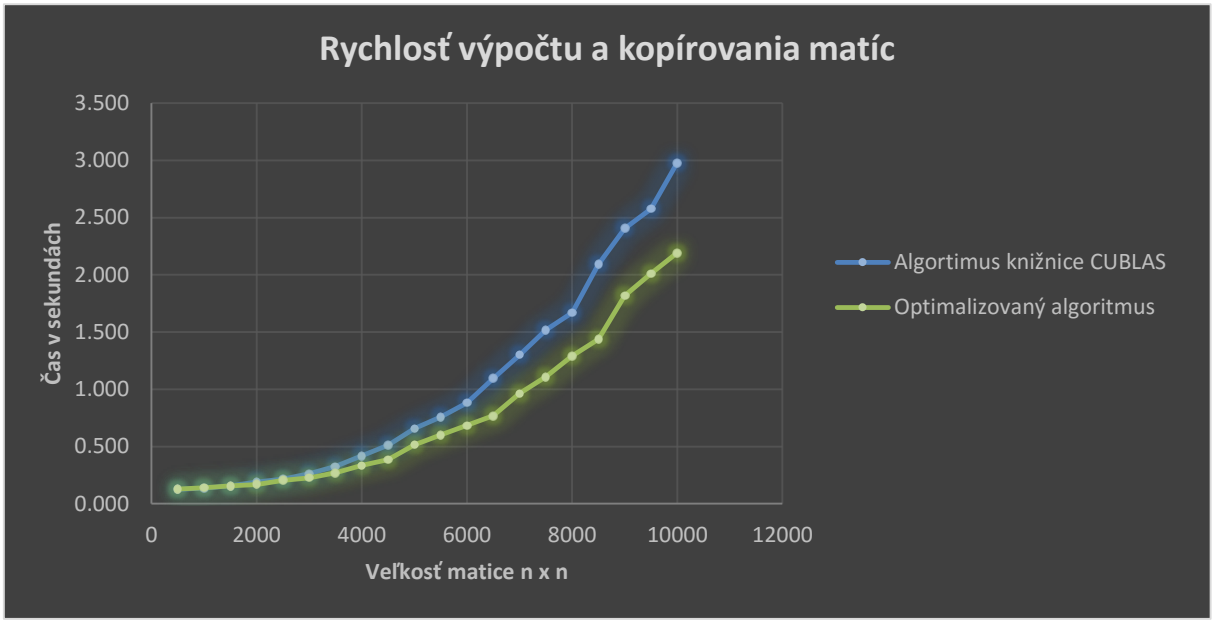
Obrázok 4: Profil asynchrónneho algoritmu násobenia matíc

Na obrázku číslo 5 sa nachádza profil programu sekvenčného spracovania a kopírovania údajov. Aj keď sa údaje prekopírujú trochu rýchlejšie, pretože sa kopírujú vcelku, nebol tu priestor na tvorenie žiadnej asynchrónnosti a teda celkový dosiahnutý čas je pomalší ako čas pri našom novom algoritme s optimalizáciou údajov.



Obrázok 5: Profil synchrónneho algoritmu násobenia matíc

Nakoniec prezentujeme graf porovnania údajov násobenia matíc medzi klasickým algoritmom násobenia pomocou knižnice CUBLAS a nami upraveným algoritmom. Porovnávali sme čas kopírovania a spracovania údajov medzi týmito dvoma algoritmami na maticiach s dimenziou 500 až 10000 s krokom po 500. Priemerné zrýchlenie je 26 percent, no čím väčšie matice sa počítajú, tým je rozdiel väčší.



Obrázok 6: Graf porovnania rýchlostí násobenia matíc nad rozličnými algoritmami

Záver

V tejto práci sme prezentovali pokus násobenia matíc na grafickej karte s optimalizáciou prenosu údajov. Vo všeobecnosti, na základe zozbieraných výsledkov a skúseností môžeme povedať, že prezentovaný algoritmus je výkonnejší ako klasický algoritmus z knižnice CUBLAS a je využiteľný pri potrebe vysokovýkonných výpočtoch na GPU. Náš algoritmus dokáže spracovať matice rôznych veľkostí, s podmienkou že veľkosť dĺžky a šírky matice bude párna. My sme sa zaoberali hlavne optimalizáciou údajov a tento problém by sa dal vyriešiť pridaním riadku alebo stĺpca obsahujúcich 0 a na diagonále obsahujúcu 1. V práci [5] sa podrobnejšie zaoberali tým ako spracovať matice, aby boli násobiteľné pomocou tohto algoritmu. Priemerné 26 percentné zrýchlenie považujeme za úspešné v porovnaní s inými autormi [8, 4, 5, 12, 11], ktorí sa tiež pokúšali o rozličné zrýchlenie násobenia matíc na iných úrovniach. Tento algoritmus by bolo zaujímavé ďalej implementovať na klaster viacerých zariadení GPU, ktoré podporujú CUDA.

Poďakovanie

Táto práca vznikla s podporou HPCC UMB s využitím infraštruktúry získanej v rámci projektu ITMS 26230120002 a 26210120002 (Slovenská infraštruktúra pre vysokovýkonné počítanie) podporenom ERDF, a tiež VEGA 1/0092/14 a APVV-0219-12. Osobitné poďakovanie patrí mojej rodine a priateľom za podporu a pochopenie.

Zoznam bibliografických odkazov

1. CORMEN, H. T. a kol. 2009. *Introduction to algorithms third edition.* Massachusetts : The MIT press. 2009. 1292 s. ISBN 978 0 262 53305 8.

2. BLASER, M. 2013. Fast Matrix Multiplication. In *Teory of computing.* ISSN 1557-2862, 2013, roč. 5, s. 1-60.

3. STRASSEN, V. 1968. Gaussian Elimination is not Optimal. In *Numerische mathematik.* ISSN 0029-599X, 1968, roč. 13, č. 4, s. 354-356.

4. BARANSEL, C. – IMRE, K. – ARTUNER, H. 2012. A New Parallel Matrix Multiplication Algorithm for Wormhole-Routed All-Port 2D/3D Torus Networks. In *The Journal of Supercomputing.* ISSN 0920-8542, *2012, roč. 62, č. 1, s. 486-509.*

5. D`ALBERTO, P. – NICOLAU, A. 2005**.** Adaptive Strassen and ATLAS's DGEMM: A Fast Square-Matrix Multiply for Modern High-Performance Systems. In *Eighth International Conference on High-Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPCASIA'05). Beijing : IEEE, 2005.* ISBN 0-7695-2486-9, s *8 pp. - 52.*

6. YUHSUKE, O. a kol. 2004. Parallel Implementation of Strassen's Matrix Multiplication Algorithm for Heterogeneous Clusters. In *Parallel and Distributed Processing Symposium. IEEE, 2004.* ISBN 0-7695-2132-0. s.

7. WINOGRAD, S. 1968. A New Algorithm for Inner Product. In *IEEE Transactions on Computers.* ISSN 0018-9340, 1968, roč. 17, č. 7, s. 693-694.

8. NGUYEN, D.K. a kol. 2005. A general scalable implementation of fast matrix multiplication algorithms on distributed memory computers. In *Sixth International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing and First ACIS International Workshop on Self-Assembling Wireless Network.* USA : IEEE, 2005. ISBN 0-7695-2294-7. s. 116-122.

9. WEIFENG, L. – VINTER, B. 2014. An Efficient GPU General Sparse Matrix-Matrix Multiplication for Irregular Data. In *Parallel and Distributed Processing Symposium. Phoenix : IEEE, 2014.* ISBN 978-1-4799-3799-8, s. 370-381.

10. DALTON, S. – BELL, N. – OLSON, N. L. 2013. Optimizing Sparse Matrix-Matrix Multiplication for the GPU. In *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS).* ISSN 0098-3500, roč. 41, č. 4.

11. TAN, G. a kol. 2011. Fast Implementation of DGEMM on Fermi GPU. In *2011 International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC). Seatle : IEEE, 2011.E-* ISBN 978-1-4503-0771-0,s. 1-11.

12. LI, J. a kol. 2012. An Optimized Large-Scale Hybrid DGEMM Design for CPUs and ATI GPUs. In *ICS '12 Proceedings of the 26th ACM international conference on Supercomputing. New York : ACM, 2012.* ISBN: 978-1-4503-1316-2, s. 377-386.

13. BALLARD, G. a kol. 2012. Communication-Optimal Parallel Algorithm for Strassen's Matrix Multiplication. In *SPAA ´12 Proceedings of the twenty-fourth annual ACM symposium on Parallelism in algorithms and architectures. New York : ACM, 2012.* ISBN: 978-1-4503-1213-4, *s. 193-204.*

14. NVIDIA. 2015. *CUDA C best practice guide.* [online] NVIDIA Corporation, 2015. [cit. 2016.04.27.] Dostupné na internete: < http://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_C_Best_Practices_Guide.pdf >.

15. NVIDIA. 2015. *NVIDIA CUDA getting started guide for linux.* [online] NVIDIA Corporation, 2015. [cit. 2016.04.27.] Dostupné na internete: <http://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_Getting_Started_Linux.pdf>.

16. NVIDIA. 2015. *CUDA C Programming Guide.* [online] NVIDIA Corporation, 2015. [cit. 2016.04.27.] Dostupné na internete: < http://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_C_Programming_Guide.pdf>.

17. NVIDIA. 2015. *CUBLAS Library*. [online] Nvidia Corporation, 2015. [cit. 2016.04.27.] Dostupné na internete: < http://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUBLAS_Library.pdf>.

18. NVIDIA. 2015. *CUDA runtime API.* [online] NVIDIA Corporation, 2015. [cit. 2016.04.27.] Dostupné na internete: < http://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_Runtime_API.pdf>.

19. NVIDIA. 2008. NVIDIA_CUBLAS_1.1. [online] NVIDIA Corporation, 2008. [cit. 2016.04.27.] Dostupné na internete: < http://read.pudn.com/downloads137/sourcecode/math/584006/NVIDIA_CUBLAS_1.1/cublas.cu__.htm. >.

20. NVDIA. 2012. How To Overlap Data Transfers In CUDA C/C++. [online] Nvidia Corporation, 2012. [cit. 2016.04.28.] Dostupné na internete: <https://devblogs.nvidia.com/parallelforall/how-overlap-data-transfers-cuda-cc/.>.

21. HARRIS, M. 2012. How to Overlap Data Transfers in CUDA C/C++.[Online] 2012. [cit. 2016.04.28.] Dostupné na internete: <https://devblogs.nvidia.com/parallelforall/how-overlap-data-transfers-cuda-cc/>.

Tvorba interaktívneho prostredia na liečbu fóbií

Róbert MOLNÁR, Dana HORVÁTHOVÁ

Katedra informatiky PFV UMB, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica, e-mail: robert.molnar@studenti.umb.sk

Abstract: Creating an interactive environment for phobia threatment: *This paper explains the theory of treating a social phobia using virtual reality. Its aim is to present an virtual interactive environment created for the treatment. Article contains three chapters that describe how the environment was created. The first chapter is dedicated to the environment, based on the recommendations of the therapist. The next section describes the necessary tools to create an environment. The last chapter explains the process of creating mentioned environment.*

Keywords: *virtual reality, phobia treatment, Blender Game, Blender 3D*

Úvod

Katedra informatiky Univerzity Mateja Bela sa už približne štyri roky venuje tvorbe nástrojov pre liečbu fóbií. Počas tohto obdobia sa v spolupráci s terapeutom podarilo vytvoriť aplikáciu, ktorá má pomáhať pri liečbe a niekoľko "prídavkov" pre túto aplikáciu v podobe videí, zvukov a virtuálnych prostredí zameraných na liečbu konkrétnych fóbií. Aplikácia má uľahčiť terapeutovi prácu v ambulancii, pretože je možné v nej vytvoriť databázu pacientov a fóbií. Pomocou aplikácie ďalej môže pacientovi počas terapie púšťať zvuky alebo videá, ktoré súvisia s jeho fóbiou.

Vo svete sa už využíva podobný typ terapií, najmä pokiaľ ide o liečbu pomocou virtuálnej reality. Tá sa úspešne využíva za prítomnosti terapeuta napríklad pre liečbu vojnových veteránov [2] [5], ako aj pre štúdie efektivity takejto terapie pri iných fóbiách [3], či v kombinácii s liekmi a placebom. [4]

Terapeut, ktorý s katedrou konzultuje, podotkol, že by bolo vhodné, keby pacienti mali prístup k nástrojom pre liečbu fóbií aj u seba doma. Potom by mohli absolvovať liečbu aj bez prítomnosti terapeuta alebo si na svojom počítači spustiť upokojujúce podnety v prípade rozrušenia. Zároveň dal požiadavku na vytvorenie interaktívneho nástroja pre liečbu sociálnej fóbie. Tento nástroj mal mať podobu chodby s nástenkami, s ktorými by pacient komunikoval. A tak vznikla myšlienka vytvorenia interaktívneho prostredia.

1 Interaktívne prostredie

Interaktivita sa dá dosiahnuť použitím virtuálnej reality. A keďže už máme skúsenosti s tvorbou virtuálnych prostredí pre liečbu fóbií, rozhodli sme sa, že si opäť zvolíme túto cestu. Virtuálne prostredie s podobou chodby má obsahovať nástenky, na ktorých sa zobrazia určité výroky.

1.1 Výroky pre liečbu

Ide o špecifické výroky, ktoré terapeut zvolí v závislosti od potrieb pacienta. Terapeut sa s pacientom najskôr rozpráva o jeho probléme. Cieľom ich spoločnej konverzácie je pomôcť terapeutovi pochopiť, čo pacienta trápi a ktoré podnety v ňom vyvolávajú fóbiu. Na základe týchto informácií terapeut vie, aké výroky má pre daného pacienta zvoliť a zostaviť tak zoznam výrokov, ktoré sa budú na nástenkách zobrazovať.

Terapeut musí pre pacienta zvoliť vždy dvojicu výrokov, pre každú zobrazovaciu plochu. Prvá séria výrokov má predstavovať negatívne myšlienky, obavy pacienta. K nim potom vhodne navolí ich opozitum tak, aby u pacienta zmenil negatívne myšlienky na pozitívne. To má u pacienta vyvolať zmiernenie jeho obáv a navodenie pozitívnejšieho myslenia. Má to hlavne priniesť optimizmus nádej. Vďaka tomu pacient prestane vidieť seba a veci navôkol v negatívnom svetle. A práve preto sú tieto plochy a ich funkčnosť najdôležitejšou časťou celého prostredia.

1.2 Návrh prostredia

Hlavnou podmienkou terapeuta bolo, aby mohol tieto texty meniť, kvôli individuálnym potrebám každého pacienta. Pacient má byť schopný s týmito nástenkami komunikovať a meniť negatívne výroky na pozitívne. Ďalej navrhol, že by bolo dobré keby sa pacient mohol po chodbe v pokoji prejsť a zastaviť sa pri každej z nástenieк. Medzi ďalšie požiadavky patrilo vytvorenie niekoľkých takýchto chodieb pre obsiahnutie viacerých nástenieк a zároveň poskytnúť možnosť prenosu tohto prostredia ku pacientovi.

Nakoľko bola požadovaná pomerne vysoká úroveň interaktivity s prostredím rozhodli sme sa, že najlepším riešením bude vytvorenie hry. V hre je možné maximalizovať interaktivitu tak, že pacient ovláda postavu, prostredníctvom ktorej komunikuje s prostredím. Hru je zároveň možné preniesť a spustiť na osobnom počítači pacienta.

2 Nástroje tvorby

Pre vytváranie hry sme použili program *Blender 3D*, s ktorým máme množstvo pozitívnych skúseností. Tento program je O*pen Source* čo znamená, že jeho použitie je bezplatné a produkty v ňom vytvorené je možné voľne distribuovať. Zároveň je aj multiplatformový, takže je spustiteľný na viacerých operačných systémoch (Linux, Windows, Macintosh). [1]

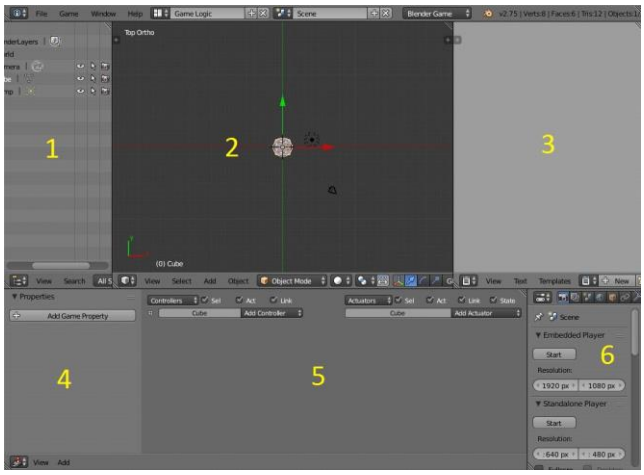
Použili niekoľko vybraných nástrojov a funkcií, ktoré *Blender 3D* ponúka. Ako prvý sme potrebovali zvoliť vhodný renderovací engine. V súčasnosti ich *Blender 3D* ponúka na výber tri. Našim potrebám najviac vyhovoval *Game Engine*.

2.1 Blender Game Engine

Blender Game Engine (BGE) alebo herný engine je nástroj programu *Blender 3D* pre *real-time* projekty, od architektonickej vizualizácie a simulácie až po hru. Dohliada na herný cyklus, ktorý spracováva logiku, zvuk, fyziku, vykresľovanie simulácie v sekvenčnom poradí a renderovanie v reálnom čase. [1]

2.2 Rozloženie a voľba panelov

Blender 3D ponúka rôzne rozloženia panelov na obrazovke podľa toho, čo sa používateľ chystá robiť. Pre tvorbu hry je k dispozícii nastavenie *Game Logic*. To zahŕňa špecifické rozdelenie okien pracovného prostredia a tak isto všetky panely potrebné pre vytváranie hry.



Obrázok 1 Pracovné prostredie *Game Logic*.

Na obrázku 1 môžete vidieť, ako vyzerá pracovné prostredie po zvolení *Game Logic*. Číslo 1 na obrázku označuje panel pre zoznam objektov na scéne. Číslom 2 je označené 3D okno, v ktorom sú vizuálne prezentované objekty a scéna. Okno s číslom 3 slúži ako textový editor pre vytváranie skrípt, prípadne poznámok. Ako 4. je okno s panelom pre pridávanie niektorých herných vlastností.

Číslo 5 je veľmi podstatná súčasť *Game Engine* a to logický editor. Posledné okno má číslo 6 a obsahuje panel pre nastavanie rôznych vlastností scény a objektov.

2.3 Logický Editor

Logický editor poskytuje hlavný spôsob nastavenia a úprav hernej logiky pre rôzne objekty, ktoré tvoria hru. Logika objektov, ktoré sú aktuálne označené v 3D okne, sa zobrazí v logickom editore v podobe logických blokov. Tie sú rozdelené do troch stĺpcov na snímače, ovládače a aktivátory. Medzi blokmi je možné vytvoriť spoje, ktoré vedú impulzy od snímačov k ovládačom a od ovládačov k aktivátorom. [1]

Obrázok 2 Logický editor.

Obsahuje mnoho funkcií, ktoré nám vytváranie hry uľahčili a dovolili nám splniť všetky požiadavky terapeuta.

2.3.1 Snímače

Prvý stĺpec logického editora obsahuje zoznam všetkých snímačov, ktoré prislúchajú označeným objektom. Snímače sú logické bloky, ktoré majú na starosť vykonávanie logiky. Snímač slúži na sledovanie diania a za určitých podmienok sa zapne. Príkladom sú spúšťacie udalosti, ako kolízia medzi dvomi objektmi, stlačenie klávesy alebo vypršanie času pre časovo obmedzenú akciu. Keď sa snímač zapne, vytvorí výstup v podobe pozitívneho impulzu odoslaného do všetkých ovládačov, ktoré sú s ním spojené. [1]

Keyboard Sensor

Je určený pre detekciu vstupu z klávesnice. Do poľa *Key* sa zadá takzvaný aktivačný kláves. Po stlačení tejto klávesy snímač odošle pozitívny impulz. Po jej uvoľnení sa impulz zmení na negatívny. [1]

Mouse Sensor

Slúži na snímanie diania myši. Funkcia *Mouse Over* vysiela pozitívny impulz, keď sa kurzor presunie na nejaký objekt. Funkcia *Left Button* dá pozitívny impulz pri stlačení ľavého tlačidla myši, ktorý sa po pustení tlačidla zmení na negatívny. [1]

Collision Sensor

Vyšle pozitívny impulz, keď sa jeden objekt dostane do kontaktu s iným. Umožňuje filtrovanie na základe vlastností alebo materiálov. Iba objekt so zvolenou vlastnosťou alebo materiálom bude pri kontakte generovať pozitívny impulz. V prípade žiadneho filtra bude pozitívne reagovať na kolíziu s akýmkoľvek objektom. [1]

2.3.2 Ovládače

V druhom stĺpci sa nachádzajú všetky ovládače označených objektov. Ovládače sú bloky, ktoré zbierajú dáta odoslané snímačmi a tiež určujú, pre ktoré stavy fungujú. Po vykonaní špecifickej logickej operácie, pošlú impulzný signál aktivátoru, ku ktorému sú pripojené. Keď je snímač aktivovaný odošle pozitívny impulz, keď je deaktivovaný odošle negatívny impulz. Úlohou ovládača je kontrolovať a kombinovať tieto impulzy pre spustenie správnej odozvy. [1]

And Controller

Tento ovládač vyšle pozitívny impulz, ak ho vysielajú aj všetky snímače, ktoré sú k nemu pripojené. Inak bude jeho výstupný impulz negatívny. [1]

Python Controller

Spustí skript vytvorený v jazyku *Python*, keď k nemu pripojené snímače vyšlú pozitívny impulz. *Python* skript môže komunikovať so scénou, objektmi alebo logickými blokmi. [1]

2.3.3 Aktivátory

V poslednom stĺpci sú všetky aktivátory patriace označeným objektom. Vykonávajú akcie, ako napríklad pohyb, vytvorenie objektu alebo spustenie zvuku. Aktivátory spustia svoje funkcie, keď dostanú pozitívny signál od jedného alebo viacerých ovládačov. [1]

Motion Actuator

Tento v preklade pohybový aktivátor uvádza objekty do pohybu. Umožňuje rotáciu objektov alebo ich posun po osiach. [1]

Scene Actuator

Slúži na manažovanie existujúcich scén. Tie môžu byť použité napríklad ako rôzne úrovne hry. [1]

2.4 Textový Editor

Textový editor slúži na vytváranie poznámok alebo kódu v jazyku *Python*, prípadne pre načítanie už existujúceho skriptu. Skratka *Alt+P* slúži pre spustenie kompilácie skriptu. Chybové hlásenie sa zobrazí v konzole.

2.5 Panel fyziky

Po zvolení *Game Engine* sa zmenia aj nastavenia v paneloch pre vlastnosti objektov. V paneli fyzických vlastností je potom možné pracovať s nastaveniami, ktoré sa týkajú hry.

2.5.1 Physics Type

Slúži na určenie typu fyziky pre označený objekt. V závislosti od zvoleného typu sa sprístupnia špecifické funkcie.

Static Physics

Statické objekty nereagujú na fyziku, dávajú však kolíznu reakciu. [1]

Dynamic Physics

Dynamické objekty reagujú na fyziku a zároveň dávajú aj prijímajú kolíznu reakciu. [1]

Sensor Physics

Reaguje na prítomnosť objektov. [1]

2.5.2 Collision Bounds

Vytvorí okolo objektu kolízny obal. Vďaka tomu objekt bude reagovať na kontakt s ostatnými objektmi. [1]

2.5.3 Invisible

Po spustení hry nebude objekt viditeľný, ale jeho funkčnosť sa zachová.

2.6 Blender Render Engine

Blender 3D obsahuje nástroje pre vytváranie a modelovanie objektov, ktoré sú už z predošlých verzií tohto programu dobre známe. [1]

2.6.1 Object Mode

Je to predvolený režim, k dispozícii pre všetky typy objektov, pretože sa zameriava na objektovú editáciu (pozícia, veľkosť, rotácia) . [1]

2.6.2 Edit Mode

Tento režim je dostupný pre všetky renderovateľné objekty. Slúži na editovanie ich tvaru (vrcholy, hrany, steny) . [1]

2.6.3 Grab

Funkciou *Grab* môžeme v *Object Mode* po scéne premiestňovať objekty. V *Edit Mode* zase vrcholy, hrany alebo steny objektu. [1]

2.6.4 Scale

Slúži pre zmenu veľkosti objektu. Zvolený objekt je možné zväčšiť alebo zmenšiť pohybom myši, prípadne zadaním konkrétnej hodnoty na klávesnici. [1]

2.6.5 Rotate

Táto funkcia spočíva v zmene orientácie prvkov (vrcholov, hrán, objektov) okolo jednej alebo viacerých osí. Jednotlivé osi je možné zvoliť stlačením príslušnej klávesy *X, Y* alebo *Z*. Stupeň rotácie závisí od pohybu myši alebo od presne zvolenej hodnoty na klávesnici. [1]

2.6.6 Extrude

Funkcia Extrude umožňuje predĺžiť zvolenú časť objektu (bod, hranu, stenu), pričom pôvodnú označenú časť ponechá nezmenenú. Nová časť vzniká duplikáciou a súčasným spojením označených častí s novými. [1]

2.6.7 Linked Duplicate

Klasické duplikovanie vytvorí nový samostatný objekt tak, že skopíruje všetky vlastnosti iného objektu. Linkové duplikovanie tiež vytvorí nový objekt, ale jeho vlastnosti sú prepojené s originálnym objektom. Pri úprave jedného z prepojených objektov v *Edit Mode* sa rovnako modifikujú všetky prepojené objekty. Avšak objektové údaje prepojené nie sú a preto je možné vykonávať úpravy v *Object Mode* pre každý objekt samostatne, bez toho aby boli ovplyvnené ostatné objekty. [1]

2.6.8 Parenting Object

Pripojí vedľajšie objekty k hlavnému. Zmena polohy, veľkosti alebo rotácie hlavného, teda rodičovského objektu má zvyčajne vplyv aj na ostatné, k nemu pripojené objekty. Zmena pripojených objektov však nemá vplyv na ten rodičovský. [1]

3 Metodika tvorby

Keď sme sa oboznámili s funkciami potrebnými pre vytváranie hry, museli sme si vytvoriť plán, podľa ktorého sme ďalej postupovali. V prvom rade bolo nutné vymodelovať jednotlivé objekty a scénu, v ktorej má hra prebiehať.

3.1 Tvorba scény

Po spustení programu sa načíta predvolená scéna. Najskôr sme skontrolovali, či máme zvolené *Default* rozloženie panelov, ktoré je vhodné pre vytváranie objektov. Potom sme začali postupne vytvárať jednotlivé objekty.

3.1.1 Chodba

Ako prvú sme vytvorili chodbu. Na jej tvorbu sme použili objekt *Cube*. Ten sa spolu s objektmi *Lamp* a *Camera* nachádza na scéne, ako predvolený objekt, automaticky po spustení programu. Označili sme ho pravým kliknutím a stlačením klávesy *Tab* zapli *Edit Mode*. V ňom sme objekt upravili tak, aby vytvoril podlahu chodby. Postupne sme na všetky hrany objektu použili funkciu

Extrude pre vytvorenie ďalších vrcholov. Tie sme vytiahli kolmo nahor čím vznikli steny chodby. Nakoniec sme klávesovou skratkou *F* vyplnili plochu medzi týmito bodmi a tým vznikol strop.

3.1.2 Zobrazovacie plochy

Plochám pre zobrazovanie výrokov sme sa rozhodli dať podobu nástenieк, ktoré visia na stenách chodby. Skratkou *Shift+A* sme otvorili menu pre pridávanie objektov a zvolili objekt *Cube*. Ten predstavuje dobrý základ pre vytváranie hranatých modelov. V *Edit Mode* sa nám vďaka funkciám *Extrude* a *Scale* podarilo upraviť tento objekt do požadovanej podoby.

3.1.3 Text

Ďalej sme pridali objekt *Text*, ktorý sme umiestnili na nástenku. Tento objekt nám slúži iba na určenie pozície, kde sa bude neskôr nachádzať dynamický text.

3.1.4 Herná postava

Pacient bude postavu ovládať z pohľadu prvej osoby. Keďže teda nebude vidieť ako postava vyzerá, nemuseli sme sa zaoberať s jej detailnou tvorbou a preto stačilo vytvoriť ľubovoľný objekt. My sme si zvolili *Cube*, ktorý sme funkciou *Scale* natiahli po osi *Z*, čím vznikol obdĺžnik. Postavu sme následne funkciou *Grab* umiestnili na štartovaciu pozíciu, z ktorej pacient bude začínať.

3.1.5 Ukazovadlo

Tento objekt predstavuje akúsi predĺženú ruku postavy, ktorou sa pacient dostane do kontaktu s ostatnými objektmi na scéne. Vďaka tomu je možné napríklad určiť, na ktorú nástenku sa pacient pozerá. Pre vytvorenie tohto objektu sme opäť použili *Cube*, ktorý sme ale upravili do tvaru ihlana. Ten sme trochu predĺžili a umiestnili pred postavu. S ňou sme ho funkciou *Parenting Object* spojili. Tým sme zabezpečili, že sa bude pohybovať spolu s ňou.

3.1.6 Kamera

Kamera, ako sme už spomínali, sa nachádza na scéne hneď od spustenia programu. Keďže nám stačila jediná kamera, ktorá bude slúžiť pre pohľad prvej osoby, použili sme túto. Umiestnili sme ju pred postavu približne do výšky očí. Použitím *Parenting Object* sme dosiahli, že kamera sa bude pohybovať v tejto výške spolu s postavou celý čas.

3.1.7 Dvere

Posledným dôležitým objektom, ktorý sme potrebovali vymodelovať boli dvere. Slúžia prechod do ďalšej chodby, ktorá vyzerá rovnako, ale na nástenkách sú odlišné výroky. Opäť sme si pridali nový objekt *Cube*, ktorý sme upravili do vyhovujúcej podoby tak, aby pripomínal dvere.

3.1.8 Ostatné objekty

Na scéne sa nachádza ešte niekoľko menej podstatných objektov, ktoré nemajú funkčnú, ale iba estetickú hodnotu. S týmito objektmi sme mali najviac práce, pretože sa jedná o oblé objekty, ktoré sa modelujú o niečo zložitejšie ako tie hranaté. Medzi tieto objekty patria lampy, pánty dverí, kľučka a podlahové lišty. Základom prvých troch sa stal objekt *UV Sphere*. Úpravou v *Edit Mode* sme použitím vyššie spomínaných modelovacích funkcií dosiahli vzhľad pántu, kľučky a lampy. Pre podlahové lišty sme zvolili objekt *Plane*, ktorý sme podobne ako predošlé upravili do vhodného tvaru. Aj keď úroveň detailov týchto objektov nezohráva veľkú úlohu, chceli sme aby vyzerali dobre a vizuálne dopĺňali scénu.

3.1.9 Osvetlenie

Ako sme spomínali, nami vymodelované lampy naozaj nemajú funkčnú hodnotu, pretože nevyžarujú svetlo. Pre tieto účely má program *Blender 3D* samostatnú kategóriu objektov, ktoré slúžia ako zdroj svetla. Avšak tieto objekty nemajú žiaden vizuálny tvar. Ide iba o svetlo, ktoré vychádza z určitého bodu. Preto sme spravili model lampy, ktorú sme umiestnili do tohto bodu. Tak vznikol

dojem reálnej lampy, ktorá vyžaruje svetlo. Ako zdroj svetla sme použili *Point Lamp*, ktorý vyžaruje svetlo rovnomerne do všetkých strán. Potom stačilo zvoliť intenzitu vhodnú pre interiér chodby.

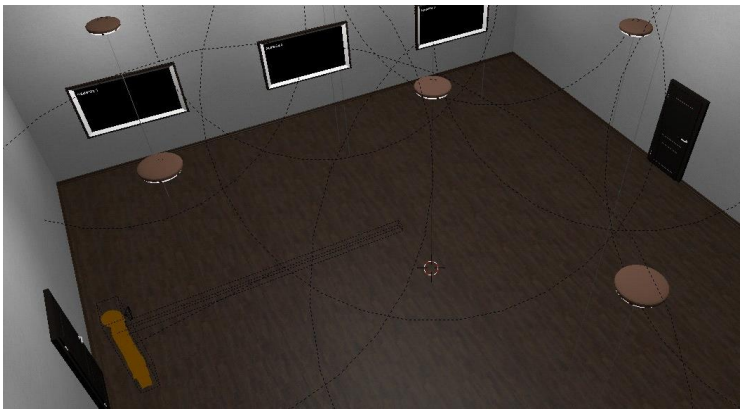
3.1.10 Materiály a textúry

Po vytvorení všetkých modelov nasledovalo nastavenie materiálov a textúr. Textúry sme v príslušnom panely nastavili iba pre podlahu, steny a strop chodby. Použili sme voľne dostupné textúry zo stránky http://www.textures.com/. Ostatným objektom sme nastavili vhodné farby v panely pre nastavenia materiálov.

3.1.11 Duplikovanie objektov

Na záver sme v rámci scény duplikovali nasledovné objekty: lištu, pánty, kľučku, dvere, nástenku a lampu so zdrojom svetla. Pre duplikovanie sme použili skratku *Alt+D*, ktorá slúži pre linkové duplikovanie. Pre texty násteniek sme použili klasické duplikovanie aby bolo možné text meniť nezávisle. Všetky objekty sme potom rozmiestnili po chodbe tak, aby celkový vzhľad chodby spolu s osvetlením vytvárali príjemný a realistický dojem.

Pre duplikovanie celej scény sme použili *Full Copy*, čím vznikla ďalšia scéna s rovnakou chodbou a so zachovanými vlastnosťami.



Obrázok 3. Vymodelované prostredie.

3.1.12 Premenovanie objektov

Po vytvorení všetkých modelov ich bolo potrebné premenovať. Pri vytvorení objektu sa jeho názov nezmení čo znamená, že ak vytvoríme objekt *Cube*, tak jeho názov, bez ohľadu na to ako objekt upravíme, bude "Cube". Ak vytvoríme ďalší objekt typu *Cube*, tak bude mať názov "Cube.001". S každým ďalším objektom rovnakého typu sa číslo v názve objektu zväčší o 1.

Ak neskôr napríklad pri tvorbe skriptu budeme potrebovať prístup k niektorému objektu, bude veľmi ťažké zistiť, ktorý objekt je ktorý, pretože je náročné zapamätať si, že napríklad postava je označená ako "Cube.004". Voľba vhodných názvov objektov dokáže veľmi uľahčiť prácu. Preto sme objektom dali jednoznačné názvy podľa toho, čo predstavujú.

3.2 Tvorba hernej logiky

V tomto momente sme sa už mohli pustiť do vytvárania hernej logiky. Ako prvé sme si zmenili rozloženie panelov z *Default* na *Game Logic* a zvolili sme *Blender Game Engine*. Sprístupnili sa tak nové funkcie, ktoré sme potrebovali pre ďalší postup.

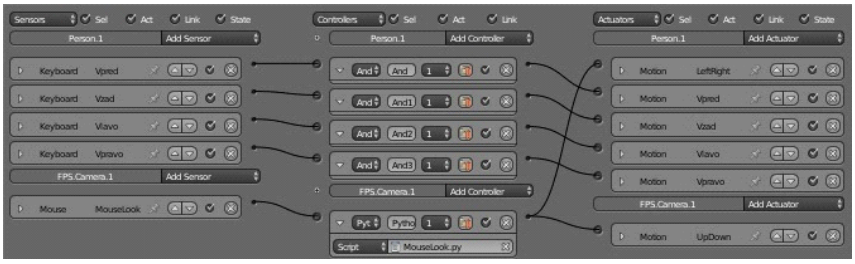
3.2.1 Nastavenia fyziky

So zvoleným Blender Game Engine sa zmenili aj nastavenia fyziky v príslušnom paneli. V ňom sme upravili niektoré nastavenia. Pre postavu sme označili políčko *Collision Bounds*. Potom sme zaklikli *Invisible* a ako *Physics Type* sme zvolili *Dynamic*. Ostatné objekty majú ako predvolený typ zvolený *Static*, čo nám pre všetky objekty vyhovovalo okrem ukazovadla. Tomu sme nastavili typ

Sensor, zaklikli sme *Invisible* a označili *Collision Bounds*. *Collision Bounds* bolo potrebné označiť aj pre každú z nástenieк a dvere na konci chodby.

3.2.2 Pohyb postavy

Najskôr bolo dôležité dať hráčovi možnosť pohybu po chodbe. Pre nastavenie pohybu sme označili objekt postavy a v logickom editore sme začali vytvárať logické bloky. Najskôr sme v prvom stĺpci pridali štyri snímače typu *Keyboard*. Každému z nich sme priradili jednu klávesu, konkrétne jednu šípku, ktorá bude predstavovať smer pohybu. V závislosti od smeru pohybu sme tieto snímače pomenovali (vpred, vzad, vľavo, vpravo). K nim sme pripojili štyri ovládače typu *And*, ktoré sme ponechali bez zmeny. Za nimi už nasledovali iba štyri *Motion* aktivátory. Každý aktivátor sme nastavili tak, aby vykonával posun objektu po jednej osi. Pre pohyb dopredu sme v riadku*Linear Velocity* nastavili *Y* hodnotu na *-1*. To vzhľadom k súradniciam chodby znamená pohyb vpred. Pre ďalší aktivátor predstavujúci pohyb opačným smerom sme ako hodnotu *Y* zvolili *1*. Pre posun do ľavej strany sa *X* muselo rovnať *1* a pre posun do pravej strany *-1*. V závislosti od smeru pohybu sme si aktivátory pomenovali (vpred, vzad, vľavo, vpravo) a spojili sme ich s príslušnými ovládačmi.



Obrázok 4. Logika postavy.

3.2.3 Otáčanie postavy

Pre otáčanie postavy sme potrebovali zvoliť také nastavenie, aby sa postava otáčala horizontálne a kamera vertikálne. Preto sme pridali jeden *Motion* aktivátor, ktorý slúži konkrétne pre otáčanie postavy. Potom sme označili kameru. Pre ňu sme pridali jeden snímač typu *Mouse*, jeden *Python* ovládač a jeden *Motion* aktivátor. Tento aktivátor sa bude starať o vertikálne otáčanie kamery. Aby to celé fungovalo museli sme spojiť spomínané dva aktivátory s *Python* ovládačom a ten s *Mouse* snímačom. Do ovládača sme pridali takzvaný *MouseMove* skript, ktorý sa stará o snímanie a prevod súradníc myši. Tento skript odporúča aj stránka Blenderu a je voľne dostupný na adrese http://riyuzakisan.weebly.com/mousemove-script.html.

3.2.4 Funkcie ukazovadla

Keď sme mali hotovú ovládateľnú postavu, potrebovali sme nastaviť funkcie ukazovadla. To predstavuje prostriedok slúžiaci pre komunikáciu s nástenkami a dverami. Pridali sme snímač *Mouse*, v ktorom sme ako udalosť nastavili kliknutie ľavého tlačidla myši. Ďalej sme pridali snímač *Collision*, v ktorom sme ako kolízny materiál zvolili nástenku. Potom nasledoval *Python* ovládač, pre ktorý sme museli vytvoriť skript v textovom editore.

V skripte sme najskôr importovali potrebné moduly. Následne sme potrebovali definovať cestu k textovému súboru, v ktorom budú umiestnené pozitívne výroky. Ďalej nasledovalo sprístupnenie obsahu tohto súboru. Potom sme načítali snímače a vytvorili sme podmienku. Ak je ukazovadlo v kontakte s nástenkou a zároveň bolo stlačené ľavé tlačidlo myši, tak na danej nástenke zamení výrok za ten, ktorý je pre danú nástenku určený v textovom súbore s pozitívnymi výrokmi. Na záver sme oba snímače spojili s *Python* ovládačom a ukazovadlo bolo funkčné.

3.2.5 Dynamický text

Na nástenkách sa predvolene nachádzajú textové objekty, ktoré majú iba definičnú hodnotu. To znamená že na prvej nástenke sme spravili objekt typu *Text* v tvare "Nástenka 1". Pre ďalšiu nástenku objekt v tvare "Nástenka 2" atď. Podľa toho vieme zistiť, ktorá nástenka je ktorá. Aby sme tieto

textové objekty nahradili dynamickým textom, konkrétne teda negatívnymi výrokmi z príslušného textového súboru, potrebovali sme vytvoriť skript, ktorý ich načíta.

Ten sme sa rozhodli vytvoriť v rámci ukazovadla, pretože podobný skript sa v ňom už nachádza. Pridali sme snímač typu *Keyboard* a zvolili tlačidlo *Enter*, pre načítanie. Pridali sme nový ovládač typu *Python*, ktorý sme spojili s týmto snímačom. V textovom editore sme si vytvorili nový skript. Opäť sme najskôr importovali potrebné moduly. Zadefinovali sme cestu k súboru s negatívnymi výrokmi a obsah súboru sme sprístupnili. Potom už stačilo načítať pre každú nástenku priradený negatívny výrok a skript uložiť.

3.2.6 Funkcia dverí

V prvej chodbe sme pravým kliknutím zvolili ukazovadlo. V logickom panely sme k ostatným snímačom pridali ešte jeden typu *Collision*. V ňom sme ako kolízny objekt nastavili dvere. Pridali sme *And* ovládač, do ktorého sme pripojili existujúci *Mouse* snímač spolu s týmto snímačom *Collision*. V treťom stĺpci sme pridali jeden aktivátor typu *Scene*. V časti *Mode* sme vybrali *Set Scene* a v časti *Scene* sme zvolili druhú chodbu. Takže keď sa ukazovadlo dostane do kontaktu s dverami a dôjde ku stlačeniu ľavého tlačidla myši, načíta sa druhá chodba.

Pre druhú chodbu sme nastavenia zopakovali, ale miesto aktivátora typu *Scene* sme vybrali *Game*. Tam sme v sekcii *Game* vybrali *Quit Game*. Keď sa teda ukazovadlo dostane do kontaktu s dverami v druhej chodbe a počas toho sa stlačí ľavé tlačidlo myši, hra sa ukončí.

3.2.7 Vytvorenie Runtime

Keď všetko bolo nastavené a fungovalo tak, ako sme požadovali, mohli sme vyexportovať hru do formátu *.exe*. Do priečinku s vyexportovanou hrou sme pridali skriptya hra bola pripravená.

Záver

Podarilo sa nám vytvoriť interaktívne prostredie - hru, ktorá má všetky predpoklady pre využitie v praxi. Hra obsahuje všetky funkcie, ktoré terapeut požadoval. A po jej vyexportovaní do formátu *.exe* je spustiteľná na bežnom počítači bez nutnosti inštalácie či prítomnosti programu *Blender 3D* v danom počítači. Vďaka tomu terapeut môže počas konzultácie s pacientom toto prostredie pripraviť pre potreby konkrétneho pacienta. Ten si potom nastavené prostredie zoberie so sebou na prenosnom médiu, napríklad USB kľúči, so sebou do práce alebo domov. Keď bude pociťovať úzkosť môže si zahrať túto krátku hru, ktorá má pomôcť pri prekonaní úzkosti. A v prípade, že sa pacient nemôže dostaviť do ambulancie na terapiu, môže z pohodlia domova pokračovať v terapii napríklad pri telefonickej asistencii terapeuta alebo podľa vopred dohodnutých pokynov.

Poďakovanie

Ďakujem Ing. Dane Horváthovej, PhD. za jej odborné konzultácie, metodickú pomoc a cenné rady, ktoré mi poskytovala pri vypracovávaní práce. Ďakujem psychoterapeutovi Mgr. Jánovi Záskalanovi za usmernenie a cenné informácie. Ďakujem tvorcom programu *Blender 3D* za ich prácu a za to, že sa rozhodli pre *Open Source*.

Literatúra

[1]Blender. *Manual*. [online]. [cit:2016-04-01]. Dostupné na internete: <http://wiki.blender.org>

[2]Rothbaum, B.O., Hodges, L.F., Ready, D., Graap, K., Alarcon, R.D. 2016. *Virtual Reality Exposure Therapy for Vietnam Veterans With Posttraumatic Stress Disorder*. In *The Journal of Clinical Psychiatry*, Physicians Postgraduate Press, Inc., 2016, Online ISSN: 1555-2101. Dostupné na internete: <http://www.psychiatrist.com/JCP/article/Pages/2001/v62n08/v62n0808.aspx>

[3]Rothbaum, B.O., Hodges, L.F., Smith, S., Lee, J.H., Price, L. 2000. *A Controlled Study of Virtual Reality Exposure Therapy for the Fear of Flying*. In *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 2000, vol.68, No.6. Dostupné na internete:<http://homepage.psy.utexas.edu/HomePage/class/Psy394Q/Behavior%20Therapy%20Class/Assigned%20Readings/Fear%20Mechanisms/Rothbaum00.pdf>

[4]Rothbaum, B.O., Price, M., Jovanovic, T., Norrholm, S.D., Gerardi, M., Dunlop, B., Davis, M., Bradley, B., Duncan, E.J., Rizzo, A., Ressler, K.J. 2014. *A randomized, double-blind evaluation of D-cycloserine or alprazolam combined with virtual reality exposure therapy for posttraumatic stress disorder in Iraq and Afghanistan War veterans*. In *PMC*, 2015. Dostupné na internete: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4115813/>

[5]USC Institute for Creative Technologies. *Bravemind: Virtual Reality Exposure Therapy*, 2005. [online]. [cit:2016-04-01]. Dostupné na internete: <http://ict.usc.edu/wp-content/uploads/overviews/Post%20Traumatic%20Stress%20Disorder_Overview.pdf>

[6] Zdroj - Textúry. *Textures.com*. [online]. [cit:2016-04-01]. Dostupné na internete: <http://www.textures.com/>

[7] Riyuzakisan. *MouseMove Script*. [online]. [cit:2016-04-01]. Dostupné na internete: <http://riyuzakisan.weebly.com/mousemove-script.html>

Ros a filtrovanie údajov zo senzorov

Marek SÚKENÍK, Michal VAGAČ

Katedra informatiky FPV UMB, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica,
e-mail: m45sukenik@gmail.com

Abstract: ROS and filtering data from sensors: *The aim of this article is to introduce to a reader system ROS (Robotics operating system) and its use. Firstly, we are going to talk about what ROS is and how it was created. Secondly, we are going to talk about the structure of this system and basic principles of its application. Then, we are going to talk about Kalman's filter algorithm. In the end, we will combine our knowledge with an arduino microcontroller and with sensors and we will filter the data we get from sensors.*

Keywords: *ROS, Kalman filter, arduino, sensor noise*

Úvod

V poslednej dobe zaznamenávame veľký pokrok v oblasti robotiky, či už v oblasti priemyselných, mobilných alebo humanoidných robotov. Vďaka technologickému pokroku, ako sú výkonnejšie počítače, kvalitnejšie senzory a nižšej cene súčiastok je možné vytvoriť pomerne výkonného a spoľahlivého robota pre reálne využitie. Avšak na to, aby sme mohli robota používať na plnenie úloh potrebujeme pre neho vyvinúť softvér. Vývoj softvéru je pomerne nákladná záležitosť, či už z pohľadu finančných alebo časových zdrojov. Preto v tejto oblasti vzniká veľké množstvo projektov, ktoré majú za snahu urýchliť a zjednodušiť vývoj softvéru pre robotiku. V tomto článku sa budeme zaoberať systémom ROS.

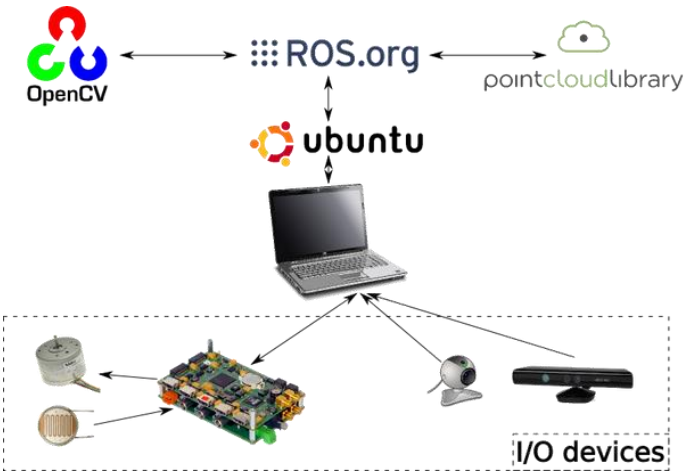
Čo je to ROS?

ROS (Robotický operačný systém) je open source framework na tvorbu robotických aplikácií. V súčasnosti je najpoužívanejšou platformou na vývoj softvéru pre robotiku. Ide o sadu vývojových nástrojov, ovládačov a knižníc, ktoré slúžia na zjednodušenie a zrýchlenie vývoja robotických aplikácií. História ROS začína v roku 2007 na Standfordovej univerzite, kde bolo vytvorené jadro Switchyard, ktoré je dodnes používané v ROS systéme a tvorí jeho základ. Po prvotnom ohlase tohto systému prevzal ďalší vývoj robotický startup Willow Garage. V súčasnosti vývoj prešiel pod značku OSRF (Open source robotics foundation). Táto firma zabezpečuje vývoj hlavných častí systému, vydáva jednotlivé verzie a udržuje aktuálnu dokumentáciu. Jednotlivé verzie ROS vychádzajú s určitým časovým odstupom. Zatiaľ vyšli verzie Box Turtle, Cturtle, Diamondback, Electric, Fuerte, Groovy, Hydro, Indigo a posledná verzia Jade. V našom prípade budeme používať verziu ROS Indigo. ROS je open source, vydaný pod licenciou BSD. Tento fakt nám umožňuje bezplatne stiahnuť systém a všetky jeho súčasti, ľubovoľne ich meniť a následne aj komerčne predávať a využívať. To znamená že vstupné náklady na nákup softvéru pre vývoj aplikácie sú veľmi nízke[1][2].

Štruktúra ROS

Architektúra ROS je postavená na objektovom princípe a používateľ má možnosť vyskladať aplikáciu z existujúcich modulov nazývaných nodes. Tieto komponenty môže používateľ buď naprogramovať sám alebo použiť už vytvorené. V súčasnosti je publikovaných viac ako 3000 balíkov, ktoré sa dajú stiahnuť a používať. Po stiahnutí potrebného modulu je potreba upraviť jednotlivé komunikačné kanály nazývané topic, pomocou ktorých nody medzi sebou komunikujú. Vďaka modulárnej štruktúre systému nemusíme celý systém vytvárať od začiatku ale môžeme použiť už vytvorené otestované časti a môžeme sa sústrediť priamo na vývoj vlastnej aplikácie. ROS je optimalizovaný pre použitie v kombinácii s linuxovou distribúciou Ubuntu, momentálne verzia 14.04

LTS. V minulosti bolo možné ROS používať aj na systémoch Windows a iných, avšak neskôr sa od toho upustilo a došlo k zjednoteniu na platforme Ubuntu. Je potreba spomenúť, že ROS nie je sám o sebe operačným systémom, ale skôr nadstavbou nad už existujúcim operačným systémom. Na plnohodnotné používanie ROS je potreba ovládať linuxový terminál (konzolový jazyk Bash) a vedieť programovať buď v jazyku C++ alebo v Python[3].



Obr. 1 ROS

ROS základy

Ako prvý krok pre prácu zo systémom ROS a vývojom aplikácií pre robotiku je potrebné nainštalovať operačný systém Ubuntu 14.04 na svoj počítač poprípade virtuálny stroj. Pre inštaláciu ROS je ideálne si pozrieť pokyny na stránke, celá inštalácia prebieha v termináli ovládaná príkazmi v jazyku Bash. Je vhodné si vybrať inštaláciu *ros-indigo-desktop*, tým docielime nainštalovanie aj grafických nástrojov, ktoré môžu výrazne zjednodušiť vývoj a ovládanie softvéru. Po nainštalovaní ROS je potrebné vytvoriť hlavný adresár s názvom *catkin_ws*. V tomto adresári budeme vyvíjať našu aplikáciu a budeme v ňom mať uložené všetky externé balíky, ktoré budeme potrebovať. Vzhľadom na to, že projekty v ROS sú pomerne zložité je potrebné ich určitým spôsobom spravovať a buildovať. Na toto má ROS zaujímavý nástroj a tým je Catkin. Catkin slúži na buildovanie našich projektov podobne ako Maven alebo Gradle na iných platformách. V prípade že vytvoríme náš prvý ROS program, ideálne pomocou tutoriálu na oficiálnej stránke pomocou príkazu *catkin_make*. Pokiaľ nám build zbehol bez chýb, môžeme pristúpiť ku spusteniu programu. Dôležitým krokom je spustenie systému ROS, to prevedieme pomocou príkazu *roscore*. Po nabehnutí jadra systému už môžeme spustiť náš program a to pomocou príkazu *rosrun názov_balíku názov*.

Kalmanov filter

Kalmanov filter je dataspracujúci rekurzívny algoritmus vytvorený Rudolfom Kalmanom v roku 1960. V našich príkladoch bol použitý pre jednoduchosť implementácie. Pozostáva z dvoch fáz, ktoré sa opakujú pri každom meraní. Jednou je fáza predpovede a druhou fáza korekcie merania. V našom príklade je použitá najjednoduchšia verzia tohto algoritmu a budeme pracovať v jednej dimenzii pretože naším cieľom je odstránenie šumu z meraní senzormi. [4]

Fáza predpovede:

$x_{k-1} = x_{k-1}$- predchádzajúci stav

$P_{k-1} = P_{k-1} + Q$ - dôveryhodnosť predpovede

Fáza korekcie merania:

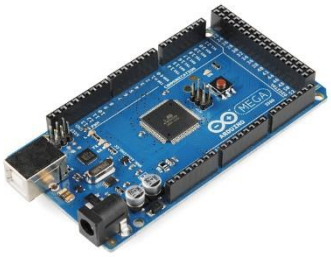
$K_k = P_{k-1}/(P_{k-1} + R)$- výpočet kalmanovho zosilnenia (R je množstvo šumu zo senzora)
$x_k = x_{k-1} + K_k * (z_k - x_{k-1})$ - korekcia nového stavu (z_x je aktuálne meranie zo senzora)
$P_k = (1 - K_k) * P_{k-1}$- korekcia predpovede

Filtrovanie údajov zo senzorov

Základnou schopnosťou senzorov je meranie fyzikálnych vlastností na elektrické napätie a následne toto napätie prevádzať na číselné údaje. Avšak problémom každého takéhoto merania je chybovosť, pretože žiaden senzor nie je dokonalý.[5] V našom príklade by sme chceli práve tento šum zo senzorov minimalizovať a to pomocou Kalmanovho filtra. Na meranie údajov sme použili dva typy senzorov. Prvý je ultrasonický senzor SR04, funguje na princípe meraní odozvy odoslaných a prijatých ultrasonických impulzov odrazených od prekážok. Pracuje na frekvencii 40 kHz a umožňuje merať vzdialenosti v rozsahu od 2 cm do 400 cm, jeho merací uhol je 35 stupňov.[6] Jeho nevýhody spočívajú hlavne pri meraní prekážok, ktoré sú z materiálu ktoré pohlcujú zvuk. Druhý sme použili infračervený senzor GP2Y0A02YK0F. Tento je optický a funguje na princípe vyžarovania infračerveného svetla a následného merania odrazeného svetla od prekážky. Môže merať vzdialenosti v rozsahu od 20 cm do 150 cm.[7] Taktiež má určité nevýhody, jednou z nich je napríklad keď sa prekážka nachádza veľmi blízko senzora, ďalší problém nastáva keď je prekážka z priehľadného materiálu.

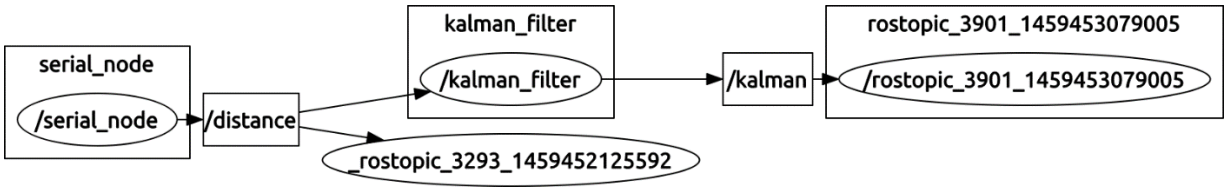
Obr. 2 SR04

Obr. 3 GP2Y0A02YK0F



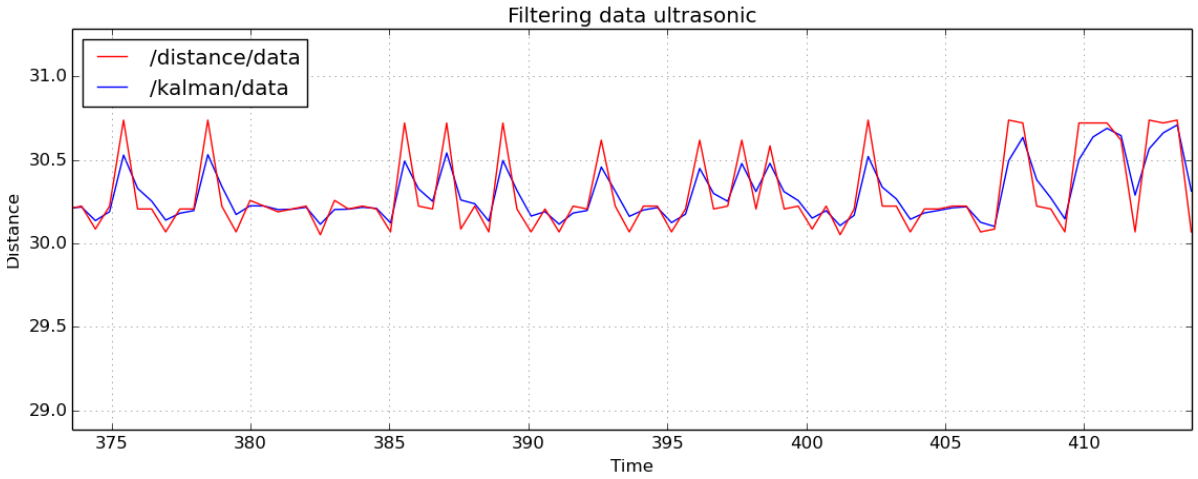
Obr. 4 Mega 2560

Merania pomocou senzorov sme prevádzali vždy iba pomocou jedného senzoru. Ako meracie zariadenie sme použili mikrokontrolér arduino Mega 2560. Je potrebné spomenúť, že sme nepoužili externé knižnice na meranie vzdialenosti, hlavne z dôvodu, že sme potrebovali nepresnejšie dáta, ktoré následne môžeme filtrovať. Na to, aby sme mohli komunikovať so systémom ROS bolo potrebné nahrať špeciálnu knižnicu *ros_lib*. Pomocou tejto knižnice sme vytvorili komunikačný topic s názvom *distance* a následne pomocou sériovej komunikácie cez USB kábel sme posielali namerané údaje zo senzora do ROS systému. V spustenom node *kalman_filter* sme topic *distance* čítali a spracovávali údaje pomocou Kalmanovho filtra, následne údaje, ktoré sme dostali sme posielali do ďalšieho topic s názvom *kalman*. Následne údaje z topic *kalman* a *distance* čítame v programe *rqt_plot*, ktorý slúži na zobrazovanie údajov v grafe. Štruktúru vytvorenej aplikácie môžeme vidieť na obrázku číslo 5 nižšie. Obrázok bol vygenerovaný pomocou nástroja *rqt_graph* ktorý obsahuje systém ROS.



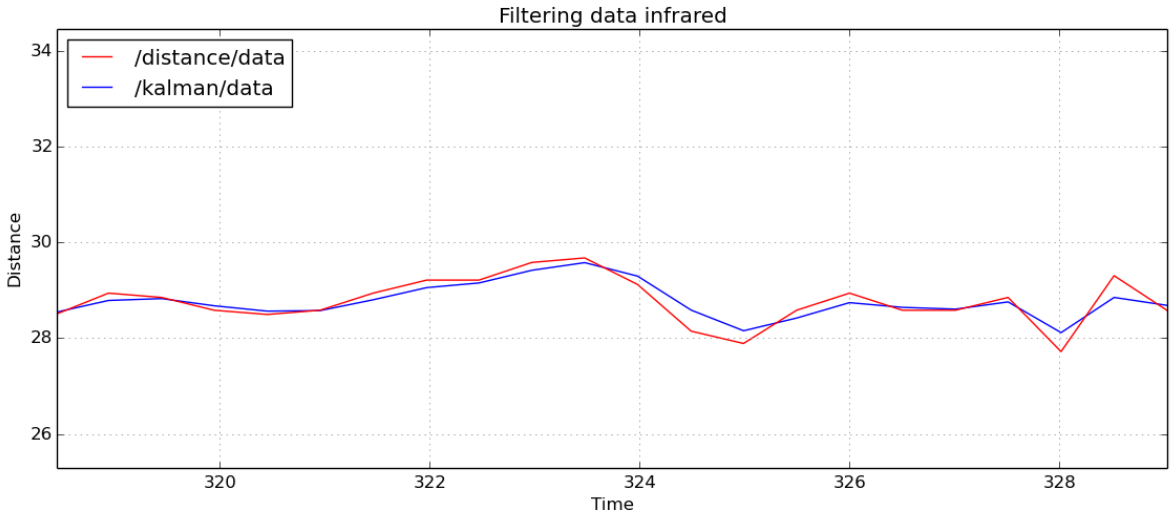
Obr. 5 Štruktúra aplikácie v ROS

Na obrázku číslo 6 môžeme vidieť výsledný graf, ktorý sme dostali z aplikácie pri zapojení s ultrasonickým senzorom. Naše meranie prebiehalo zo vzdialenosti 30 cm. Červenou farbou sú zobrazené dáta priamo namerané z arduina, modrou farbou sú dáta, ktoré nám vypočítal Kalmanov filter. Na grafe môžeme vidieť, že Kalmanov filter najväčšie výkyvy v meraní vyhladil a poskytol nám lepšie údaje ako sme namerali bez filtrovania.



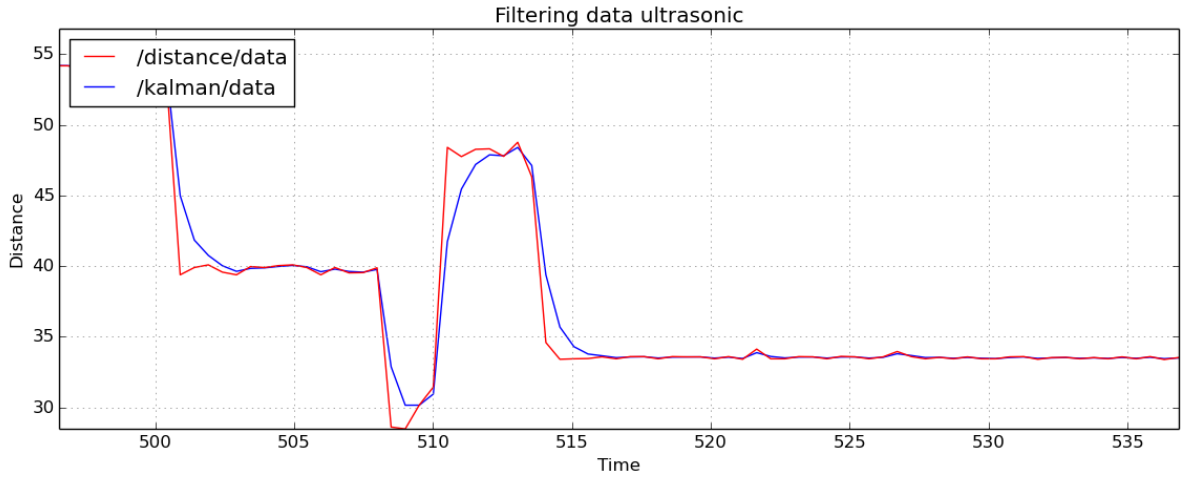
Obr. 6 Porovnanie filtrovaných dát z SR04

Na obrázku číslo 7 môžeme vidieť výsledný graf, ktorý sme dostali z aplikácie pri zapojení s optickým infračerveným senzorom. Naše meranie prebiehalo taktiež zo vzdialenosti 30 cm. Červenou farbou sú zobrazené dáta priamo namerané z arduina, modrou farbou sú dáta ktoré nám vypočítal Kalmanov filter.



Obr. 7 Porovnanie filtrovaných dát z GP2Y0A02YK0F

Na obrázku číslo 8 môžeme vidieť ako sa systém správal pri rýchlej zmene vzdialenosti. Údaje namerané zo senzorov majú ostré hrany, zatiaľ čo údaje po spracovaní Kalmanovým filtrom majú plynulejší priebeh.



Obr. 8 Správanie sa KF pri rýchlej zmene vzdialenosti

Záver

Tento text by mal slúžiť ako pomocný text pri porozumení systému ROS a jeho praktickému využitiu. Snahou bolo uviesť čitateľa do problematiky s vývojom softvéru pre robotiku a uviesť základné pojmy z ROS. ROS ako platforma na vývoj softvéru má určitú budúcnosť vzhľadom na veľkú komunitu ľudí, ktorá tento projekt podporuje a vyvíja ho. Pri praktickom príklade sme si ukázali meranie údajov z dvoch typov senzorov a následne ich filtrovanie pomocou Kalmanovho filtra. Nedá sa povedať, že by jeden alebo druhý senzor dával lepšie údaje, pretože obidva typy je vhodné používať spoločne kvôli rozdielnej povahe reálneho prostredia. Veľkým problémom nášho pokusu boli práve spomenuté senzory, pretože dávali väčšie odchýlky ako by mali. Ale bohužiaľ, iné neboli k dispozícii. Informácie a skúsenosti z tohoto článku a aplikácia môžu byť využité pri konštrukcii reálneho mobilné robota, pričom vďaka filtrovaniu údajov získame presnejšie údaje zo senzorov.

Poďakovanie

Chcel by som sa poďakovať prof. Dr. Ing. Jozefovi Suchému a Mgr. Michalovi Vagačovi, Phd. za podporu a navedenie na štúdium zaoberajúce sa systémom ROS.

Literatúra

[1] About ros. *Oficiálna stránka ROS.org*. Dostupné na: http://www.ros.org/about-ros/

[2] Ros history. *Oficiálna stránka ROS.org*. Dostupné na: http://www.ros.org/history/

[3] Jason, M., O'Kane. 2014: A Gentle Introduction to ROS, University of South Carolina, ISBN 978-14-92143-23-9

[4] Welch, G., Bishop, G. 2006: An Introduction to the Kalman Filter, University of North Carolina at Chapel Hill.

[5] Winkler,Z.: Meranie rýchlosti. *Portál zaoberajúci sa robotikou*. Dostupné na: http://robotika.cz/guide/filtering/cs

[6] Datasheet SR04. *Parametre senzora SR04*. Dostupné na: http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf

[7] Datasheet infrasensor. *Parametre senzora GP2Y0A02YK0F*. Dostupné na: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Infrared/gp2y0a02yk_e.pdf

Mnohorozmerná analýza rozvrhovania vo vysokovýkonných počítačových systémoch

Martin TRNIK, Jarmila ŠKRINÁROVÁ

Katedra informatiky FPV UMB, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica,
e-mail: mtrnik@studenti.umb.sk

Abstract: Multidimensional analysis of scheduling in high performance computer systems: *The paper deals with analysis of scheduling in Clusters for High Performance Computing (HPC). Clusters for HPC are very important parts of scientific workplaces. They offer powerful computing power and capacious storages. In the article, we are analysing one of these systems. We focus on finding the best schedule for this system in view of the lowest power consumption of the system. Power consumption data are based on measurement from system Zabbix. We also have data about executed jobs from TORQUE logs. Hadoop system and MapReduce framework are used for analysing the data. We make analysis of this job, we design a solution and, finally, we create three Java MapReduce programs in which we parse the input data and find the best distribution of jobs on nodes of the cluster in view of the lowest power consumption. For visualization of the result of analysis we use Tableau.*

Keywords: *Hadoop, MapReduce, HPC, Log analysis, Power consumption.*

Úvod

Vysokovýkonné výpočtové klastre (ďalej „*HPC klastre*“, *Clusters for High Performance Computing; často aj ako HPCC*) sú dnes jednou z dôležitých súčastí mnohých vedeckých pracovísk. Sú určené na vykonávanie masívnych a dlhotrvajúcich výpočtov, ktoré nie je možné vykonávať na obyčajných personálnych počítačoch buď z pamäťových, alebo výpočtových dôvodov. Každý z takýchto HPC klastrov sledujú rôzne monitorovacie nástroje, vďaka ktorým vieme posúdiť napríklad správnu funkčnosť všetkých uzlov HPC klastra alebo jeho aktuálne vyťaženie. Údaje z týchto monitorovacích nástrojov sme sa rozhodli použiť pri našej analýze spotreby elektrickej energie *HPC klastra na Univerzite Mateja Bela* [1]. Cieľom našej práce je hľadať také rozloženie a rozvrhovanie úloh na HPC klastri, ktoré vedie k čo najnižšej spotrebe elektrickej energie. Ďalším cieľom je navrhnúť a vytvoriť algoritmy a skripty, ktoré budú používať softvérové nástroje pre analýzu mnohorozmerných údajov týkajúcich sa HPC systémov s cieľom ušetriť energiu.

1 Analýza úlohy

Na nájdenie optimálneho rozloženia a rozvrhovania úloh na jednotlivé servery klastra z hľadiska minimálnej spotreby potrebujeme:

- Údaje o vykonávaných úlohách (*čas začiatku vykonávania úlohy; čas ukončenia vykonávania úlohy; číslo uzla, na ktorom bola úloha vykonávaná*) za skúmané časové obdobie.
- Údaje o spotrebe jednotlivých uzlov HPC klastra za skúmané časové obdobie.
- Vhodný algoritmus, ktorý nám spracuje veľké množstvo rôznorodých vstupných údajov v súlade so špecifikovaným cieľom.

Všetky potrebné údaje o vykonávaných úlohách získavame vďaka systému *TORQUE* [2], ktorý vykonáva plánovanie a správu úloh na HPC klastri a ukladá všetky údaje o svojej činnosti do *záznamov* (angl. *log*) priamo na klastri.

Údaje o spotrebe uzlov HPC klastra získavame z monitorovacieho systému *Zabbix* [3], ktorý monitoruje HPC klaster v pravidelných minútových intervaloch a namerané údaje ukladá do relačnej databázy.

Vzhľadom na veľké množstvo vstupných údajov je potrebné nájsť algoritmus, ktorý sa k špecifikovanému cieľu dopracuje dostatočne efektívne. Najlepšou možnosťou je využiť výhody paralelného programovania. Paralelné programovanie ale prináša aj viaceré problémy týkajúce sa ukladania údajov a ich prenosu k výpočtovým zdrojom. V našom prípade je údajov veľké množstvo, takže sa ich prenos na výpočtové uzly stáva najpomalšou a najproblematickejšou časťou spracovania.

Podobné problémy už riešili viaceré veľké korporácie, ako napr. *Google* alebo *Yahoo*. V roku 2003 bol publikovaný článok o *Google File System* [4], distribuovanom systéme na ukladanie údajov. *Jeffrey Dean* a *Sanjay Ghemawat* zo spoločnosti Google o rok neskôr publikovali článok *MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters* [5]. Práve na princípoch, uvedených v týchto článkoch, vznikol v spolupráci spoločností Apache a Yahoo systém *Hadoop* – systém na distribuované spracovanie údajov, ktoré je založené na programovacej paradigme *MapReduce*. [6]

2 Programovacia paradigma MapReduce a systém Hadoop

MapReduce je programovacia paradigma pre distribuované spracovanie veľkého množstva údajov, ktoré sa fyzicky môžu nachádzať na stovkách počítačov. Za distribúciu výpočtov a údajov medzi týmito počítačmi zodpovedá systém *Hadoop*. *MapReduce* je veľmi silný nástroj, ale neponúka riešenie na všetky typy problémov, ktoré sa pri práci s veľkým množstvom údajov môžu vyskytnúť. [7]

2.1 Programovacia paradigma MapReduce

Programovacia paradigma *MapReduce* rozdeľuje úlohu do 2 fáz:

- fáza *priradenia* (angl. *Map*),
- fáza *redukcie* (angl. *Reduce*).

Fáza *priradenia* vykonáva načítanie, filtrovanie, transformáciu a priradenie vstupných údajov do dvojíc ***(kľúč : hodnota)***. Systém *Hadoop* sa postará o to, aby sa všetky *hodnoty* prislúchajúce k jednému *kľúču* dostali do zoznamu v tvare ***(kľúč : zoznam_prislúchajúcich_hodnôt)***. Takto *priradené* údaje sa odosielajú do fázy *redukcie*. Vo fáze *redukcie* sa nachádza logika výpočtu. Na prijatých údajoch sú vykonávané rôzne matematické alebo štatistické výpočty v závislosti od toho, čo je cieľom výpočtu. [7]

2.2 Systém Hadoop

Hadoop je systém, ktorý vykonáva *MapReduce* programy. Môžeme si ho predstaviť ako jadro distribuovaného operačného systému, v ktorom sú vytvárané distribuované aplikácie. Medzi jeho základné úlohy patrí distribuovanie úloh a údajov na jednotlivé uzly klastra a kontrola správnej funkcionality každého uzla. Tvoria ho 2 základné zložky. [7]

2.2.1 Hadoop YARN

Yet Another Resource Negotiator je systém manažovania zdrojov *Hadoop klastra*. Prideľuje úlohy na jednotlivé uzly *Hadoop klastra* tak, aby boli vykonávané na tých uzloch, na ktorých sa nachádzajú údaje, s ktorými majú výpočty prebiehať. Uplatňuje sa tu princíp „výpočet k údajom“. [6]

2.2.2 Distribuovaný súborový systém HDFS

Hadoop Distributed File System (ďalej „*HDFS*“) je distribuovaný súborový systém, ktorý je určený na manipuláciu s ukladacím priestorom *Hadoop klastra*. Vytvára vrstvu nad lokálnymi súborovými systémami s vlastným menným priestorom. Pracuje na princípe *master* (nadriadený) – *slave* (podriadený) *architektúry*. Medzi jeho najväčšie výhody patrí jednoduchá škálovateľnosť, vysoká robustnosť a lokálny prístup k dátam. [6]

3 Návrh riešenia úlohy

V zmysle výsledkov analýzy úlohy v záujme efektívnejšej práce s veľkým množstvom vstupných údajov navrhujeme riešenie tejto úlohy pomocou systému *Hadoop* a programovacej paradigmy *MapReduce*. Riešenie je potrebné dekomponovať do niekoľkých krokov:

krok 1. Vyextrahovať údaje zo záznamov systému *TORQUE* uložených na HPC klastri.

krok 2. Prekopírovať získané údaje z HPC klastra do *HDFS*.

krok 3. Vytvoriť *MapReduce* programy, ktoré sú určené na dosiahnutie špecifikovaného cieľa.

3.1 Návrh extrahovania údajov zo záznamov systému TORQUE

Záznamy o úlohách sa v systéme nachádzajú v textových súboroch po dňoch vo viacerých priečinkoch:

- */var/log/torque/**server_logs**/20160101,*
- */var/log/torque/server_logs/20160102,*
- ...
- */var/log/torque/server_logs/20160229,*
- */var/log/torque/**sched_logs**/20160101,*
- */var/log/torque/sched_logs/20160102,*
- ...
- */var/log/torque/sched_logs/20160229,*

Každá úloha má pridelené svoje jedinečné identifikačné číslo, pod ktorým je v systéme evidovaná. Systém *TORQUE* obsahuje príkaz `tracejob`, ktorý má ako parameter toto identifikačné číslo úlohy. Pri zavolaní tohto príkazu sa vyhľadá identifikačné číslo úlohy v záznamoch systému *TORQUE* a z tých záznamov, ktoré identifikačné číslo úlohy obsahujú sa vypíše celá chronológia spracovania úlohy od jej vstupu do systému až po jej definitívne ukončenie. Navrhujeme vytvoriť skript, ktorý na analyzovanom HPC klastri pre všetky úlohy, ktorých vykonávanie začalo v skúmanom časovom intervale zavolá príkaz `tracejob` a jeho výstup zapíše pre každú úlohu do osobitného textového súboru.

3.2 Návrh kopírovania údajov z HPC klastra do HDFS

Kopírovanie údajov z HPC klastra do *HDFS* sa skladá z 2 krokov:

- Kopírovanie údajov z HPC klastra do lokálneho súborového systému.
- Kopírovanie údajov z lokálneho súborového systému do *HDFS*.

Na kopírovanie údajov z HPC klastra do lokálneho súborového systému navrhujeme použiť linuxový program `scp` na bezpečné kopírovanie medzi uzlami v sieti. Na kopírovanie údajov z lokálneho súborového systému do HDFS navrhujeme použiť program `hadoop fs` s prepínačom `-copyFromLocal`, ktorý je implementovaný v systéme *Hadoop*.

3.3 Návrh MapReduce programov v súlade so špecifikovaným cieľom

Z podstaty *MapReduce* programov vyplýva, že majú vždy za úlohu len jednu konkrétnu činnosť, na ktorú sú špecifikované. Nie sú schopné sa v rámci jedného programu postarať napríklad o rôzne typy vstupných alebo výstupných dát. Preto na riešenie požadovanej úlohy musíme navrhnúť viacero *MapReduce* programov, ktoré sa postupne približujú k odpovedi na špecifikovaný cieľ:

- Program na zistenie spotreby HPC klastra v špecifikovaných časoch.
- Program na zistenie počtu vykonávaných úloh v špecifikovaných časoch.

- Program na zlúčenie výstupov z dvoch vyššie uvedených programov.

3.3.1 Návrh programu na zistenie spotreby HPC klastra

Ako sme uviedli už v analýze úlohy, výsledky pravidelných meraní systému *Zabbix* sa ukladajú do relačnej databázy. Odtiaľ ich vieme vyexportovať vo formáte *.csv*. Ukážku takýchto údajov môžeme vidieť na obrázku č. 1. Úlohou programu na zistenie spotreby HPC klastra je očistiť údaje od nepotrebných stĺpcov a spočítať spotrebu všetkých uzlov v skúmanom časovom intervale. My za skúmaný časový interval navrhujeme zvoliť 1 minútu, keďže aj merania systému *Zabbix* sa uskutočňujú v minútových intervaloch.

```
comp01;Average power consumption;108;1451602848;2016-01-01 00:00:48
comp01;Average power consumption;108;1451602908;2016-01-01 00:01:48
comp01;Average power consumption;108;1451602968;2016-01-01 00:02:48
comp01;Average power consumption;108;1451603028;2016-01-01 00:03:48
comp01;Average power consumption;112;1451603088;2016-01-01 00:04:48
comp01;Average power consumption;120;1451603148;2016-01-01 00:05:48
comp01;Average power consumption;124;1451603208;2016-01-01 00:06:48
comp01;Average power consumption;108;1451603268;2016-01-01 00:07:48
comp01;Average power consumption;108;1451603328;2016-01-01 00:08:48
comp01;Average power consumption;108;1451603388;2016-01-01 00:09:48
```

Obrázok 1 Údaje o spotrebe uzla 1
(názov uzla; skúmaná veličina; aktuálna spotreba [Wh]; UNIX timestamp; čitateľný dátum a čas)

Navrhujeme MapReduce program, ktorý vo fáze *priradenia* načítava vstup po riadkoch a z každého riadku zahodí všetko okrem aktuálneho času a aktuálnej hodinovej spotreby daného uzla. Aktuálny čas vo forme *UNIX timestamp* zaokrúhli na celé minúty nadol a vytvorí z neho *kľúč*. Aktuálna hodinová spotreba daného uzla je v rámci *MapReduce* riešenia tejto čiastkovej úlohy ku *kľúču* priradenou *hodnotou*. Navrhovaný výstup z fázy *priradenia*:

((UNIX timestamp DIV 60) * 60) : aktuálna hodinová spotreba uzla

Navrhovaná fáza *redukcie* vypočíta sumu všetkých aktuálnych hodinových spotrieb uzlov prislúchajúcich k zaokrúhleným časovým údajom a vytvorí konečný výstup čiastkového programu v tvare:

((UNIX timestamp DIV 60) * 60) [tab] ∑(aktuálna hodinová spotreba uzlov)

3.3.2 Návrh programu na zistenie počtu vykonávaných úloh

Z údajov získaných skriptom navrhnutým v bode *3.1* je potrebné zistiť, kedy a na ktorých uzloch boli úlohy vykonávané. Navrhujeme program, ktorý bude vo fáze *priradenia* vo vstupných súboroch hľadať tri údaje:

- čas začiatku vykonávania úlohy (*UNIX timestamp začiatku*),
- uzol, na ktorom sa úloha vykonávala,
- čas ukončenia vykonávania úlohy (*UNIX timestamp konca*).

Rovnako ako v programe na zistenie spotreby HPC klastra, aj v tomto programe navrhujeme skúmať počty aktuálne vykonávaných úloh v minútových intervaloch. Fázu *priradenia* je potrebné vytvoriť tak, aby sme z časov začiatku a ukončenia vykonávania úlohy zistili, v ktorých minútach bola úloha vykonávaná. Každú takúto minútu funkcia, ktorá realizuje *fázu priradenia* vyberie ako *kľúč*, ku ktorému priradí *hodnotu*, ktorou je uzol vykonávania danej úlohy. Každá skúmaná úloha bola vykonávaná vždy len na 1 uzle. V prípade jej paralelizmu bola vykonávaná na viacerých procesoroch daného uzla. Na ďalšie spracovanie *fáza priradenia* odošle *n* výstupov (pozri *vzťah 1*):

$$\boldsymbol{n = t_k - t_z + 1} \qquad (1)$$

kde t_k = *((UNIX timestamp konca DIV 60) * 60),*

t_z = *((UNIX timestamp začiatku DIV 60) * 60),*

n = počet výstupov v tvare:

((UNIX timestamp DIV 60) * 60) : číslo_výpočtového_uzla_HPC_klastra

Fáza redukcie je navrhnutá tak, aby spočítala všetky záznamy prislúchajúce k rovnakým *kľúčom* a za ich počet vypíše čísla výpočtových uzlov HPC klastra, na ktorých boli aktuálne vykonávané úlohy.

Návrh formátu výstupného súboru:

((UNIX timestamp DIV 60) * 60) [tab] ∑1 [medzera] zoznam_výpočtových_uzlov_oddelených_medzerami

3.3.3 Návrh programu na zlúčenie výstupov

Úlohou tohto programu je zlúčiť výstup z programov na *zistenie spotreby* a *zistenie počtu vykonávaných úloh* skúmaného HPC klastra. Vstupom pre tento program sú výstupné súbory z nich. Fázu *priradenia* je potrebné vytvoriť tak, aby odoslala všetko, čo načíta do fázy *redukcie v tvare:*

UNIX timestamp : všetky_ostatné_údaje

Systém *Hadoop* sa postará o to, aby sa ku *kľúčom* priradil *zoznam prislúchajúcich hodnôt*, v našom prípade všetkých ostatných údajov, medzi ktorými sú aj údaje z programu na *zistenie spotreby* HPC klastra, aj údaje z programu na *zistenie počtu vykonávaných úloh*. Fázu *redukcie* je potrebné vytvoriť tak, aby už len upravila výstup do tvaru:

UNIX timestamp [tab] aktuálna_spotreba [medzera] počet_aktuálne_vykonávaných_úloh [medzera] zoznam_uzlov_na_ktorých_bola_úloha_vykonávaná

4 Implementácia riešenia úlohy

Použili sme údaje o úlohách, ktorých vykonávanie začalo od 1. 1. 2016 00:00 do 29. 2. 2016 23:59.

4.1 Extrahovanie údajov zo záznamov systému TORQUE

Na vyextrahovanie údajov zo záznamov systému *TORQUE* sme v zmysle návrhu riešenia úlohy vytvorili *skript č. 1*. Jeho úlohou je pre všetky úlohy od úlohy číslo ***74360***, ktorá bola prvou úlohou, ktorej vykonávanie začalo v januári 2016 až po poslednú februárovú úlohu číslo ***78554*** vykonať príkaz ***tracejob*** s číslom úlohy ako parametrom a výstup tohto príkazu presmerovať do súboru s názvom ***suborXY.txt***, kde *XY* je číslo aktuálne vyhľadávanej úlohy. Ukážku takéhoto súboru môžeme vidieť na obrázku č. 2.

```
Job: 74360.batch.grid.umb.sk

01/01/2016 02:25:43  S    enqueuing into batch, state 1 hop 1
01/01/2016 02:25:43  S    Job Modified at request of root@batch.grid.umb.sk
01/01/2016 02:25:43  S    Job Run at request of root@batch.grid.umb.sk
01/01/2016 02:25:43  A    queue=batch
01/01/2016 02:25:44  L    Job Run
01/01/2016 02:25:44  S    Not sending email: User does not want mail of
                          this type.
01/01/2016 02:25:44  A    user=_            group=
                          account
                          jobname=_  _    _ _ - _           queue=batch
                          ctime=1451611543 qtime=1451611543
                          etime=1451611543 start=1451611544
                          owner=            login.grid.umb.sk
                          exec_host=comp01/0+comp01/1+comp01/4+comp01/5+comp01/6+comp01/7
                          Resource_List.mem=4000mb
                          Resource_List.neednodes=1:ppn=6:standard
                          Resource_List.nodect=1
                          Resource_List.nodes=1:ppn=6:standard
                          Resource_List.walltime=3256:00:00
01/01/2016 02:26:19  S    Exit_status=0 resources_used.cput=00:00:00
                          resources_used.mem=0kb resources_used.vmem=0kb
                          resources_used.walltime=00:00:36
01/01/2016 02:26:19  S    Not sending email: User does not want mail of
                          this type.
01/01/2016 02:26:19  S    on_job_exit valid pjob: 74360.batch.grid.umb.sk
                          (substate=50)
01/01/2016 02:26:19  A    user=             group=
                          account=
                          jobname=                          queue=batch
                          ctime=1451611543 qtime=1451611543
                          etime=1451611543 start=1451611544
```

Obrázok 2 Ukážka súboru vytvoreného skriptom č. 1

Ukážka kompletného životného cyklu úlohy od jej vstupu do systému po jej výstup zo systému spolu so zhrnutím

4.2 Kopírovanie údajov z HPC klastra do HDFS

Na kopírovanie údajov o úlohách z HPC klastra do HDFS sme použili príkazy:

```
~$ scp -r mtrnik@login.grid.umb.sk:jobyJanuarFebruar .
```

```
~$ hadoop fs -copyFromLocal jobyJanuarFebruar
/user/hduser/svk2016/input/jobyJanuarFebruar
```

Na kopírovanie údajov o spotrebe uzlov z HPC klastra do HDFS sme použili príkazy:

```
~$ scp mtrnik@login.grid.umb.sk:power_consumption.csv .
```

```
~$ hadoop fs -copyFromLocal jobyJanuarFebruar
/user/hduser/svk2016/input/power_consumption.csv
```

4.3 Implementácia MapReduce programov

Na spracovanie vstupných údajov sme v zmysle návrhu použili programovaciu paradigmu *MapReduce* s využitím *Java Hadoop API*. Celý riešený problém sme rozdelili do niekoľkých častí. Vytvorili sme 3 programy, s využitím ktorých sme sa postupne blížili k riešeniu.

Úlohou *programu č. 1* je zosumarizovať údaje o spotrebe serverov HPC klastra podľa času. Vyhodnocovanie aktuálnej hodinovej spotreby každého servera vykonáva systém *Zabbix* každú minútu. Preto sme sa rozhodli sumarizovať spotrebu takisto podľa minút. Pre každú minútu bolo nutné spočítať údaje o aktuálnej hodinovej spotrebe všetkých 23 skúmaných serverov HPC klastra, o ktorých

máme k dispozícii údaje o spotrebe a výsledok vypísať do výstupného súboru. Ukážku výstupného súboru môžeme vidieť na obrázku č. 3.

1451602800	2152
1451602860	2136
1451602920	2112
1451602980	2124
1451603040	2108
1451603100	2160
1451603160	2148
1451603220	2144
1451603280	2168
1451603340	2172

Obrázok 3 Ukážka výstupného súboru po ukončení programu č. 1
(UNIX timestamp; spotreba energie [Wh])

Úlohou *programu č. 2* je zosumarizovať počet aktuálne vykonávaných úloh podľa minút zo súborov, ktoré sme získali *skriptom č. 1*. Zo vstupných súborov sme vyextrahovali čas začiatku vykonávania úlohy, čas ukončenia vykonávania úlohy a číslo uzla, na ktorom bola úloha vykonávaná. Pokiaľ uzol, na ktorom sa úloha vykonávala patril medzi tie, o ktorých máme údaje o spotrebe, tak sme pokračovali v spracovaní záznamu, inak sme ho nebrali do úvahy, aby nám neskreslil výsledok. Z času začiatku a času ukončenia vykonávania úlohy sme zistili, v ktorých minútach bola úloha vykonávaná. Pre každú minútu sme potom spočítali počet aktuálne vykonávaných úloh, ku ktorým sme vypísali uzly, na ktorých boli úlohy vykonávané. Do výsledného súboru sme vypísali len minúty, v ktorých počet vykonávaných úloh presiahol 15, pretože sme sa v tejto práci venovali hľadaniu optimálneho rozloženia úloh pri najväčšom zaťažení systému. Výsledok sme vypísali do výstupného súboru, ktorého ukážku môžeme vidieť na obrázku č. 4.

1452070680	16	hosts 1 3 1 1 3 1 1 1 1 1 3 1 1 1 3 3
1452090600	17	hosts 1 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 6 6 6 1 3 3
1452090660	21	hosts 3 1 1 1 1 1 3 1 3 6 1 1 1 7 7 7 1 10 1 6 6
1452090720	21	hosts 6 3 1 3 1 1 1 1 6 7 7 7 1 1 6 3 1 1 1 10 1

Obrázok 4 Ukážka výstupného súboru po ukončení programu č. 2
(UNIX timestamp; počet vykonávaných úloh; výpis serverov, ktoré úlohy vykonávajú)

Úlohou *programu č. 3* je spojiť výsledky *programov č. 1* a *2* a vytvoriť výstupný súbor, ktorý obsahuje aktuálnu minútu, aktuálnu spotrebu a počet aktuálne vykonávaných úloh spolu so zoznamom uzlov, na ktorých tieto úlohy boli vykonávané. Výstupný súbor môžeme vidieť na obrázku č. 5.

1452070440	2004	16	hosts 1 3 1 1 3 3 3 1 1 1 1 1 3 1 1 1
1452070680	1980	16	hosts 1 3 1 1 3 1 1 1 1 1 3 1 1 1 3 3
1452090600	2440	17	hosts 1 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 6 6 6 1 3 3
1452090660	2440	21	hosts 3 1 1 1 1 1 3 1 3 6 1 1 1 7 7 7 1 10 1 6 6
1452090720	2448	21	hosts 6 3 1 3 1 1 1 1 6 7 7 7 1 1 6 3 1 1 1 10 1
1452090780	2432	21	hosts 1 1 3 6 1 1 3 1 10 3 6 1 7 1 7 6 1 7 1 1 1
1452090840	2412	21	hosts 1 3 1 1 1 1 6 3 1 6 7 1 6 1 3 10 7 1 1 7 1

Obrázok 5 Ukážka výstupného súboru po ukončení programu č. 3
(UNIX timestamp; spotreba energie [Wh]; počet vykonávaných úloh; výpis serverov, ktoré úlohy vykonávajú)

Výsledky

Na vizualizáciu výsledkov sme použili nástroj *Tableau* [8], ktorý je ďalším zo softvérových nástrojov určených pre prácu s mnohorozmernými údajmi. Na obrázku č. 6 môžeme vidieť z hľadiska spotreby elektrickej energie najlepšie rozloženia úloh na uzloch skúmaného HPC klastra. Na obrázkoch č. 7 a 8 môžeme vidieť porovnanie medzi rozložením úloh na uzloch HPC klastra pri

najnižších spotrebách elektrickej energie (*obrázok 7*) a najvyšších spotrebách elektrickej energie (*obrázok 8*) .

1 452 070 680	1980	16	hosts 1 3 1 1 3 1 1 1 1 1 3 1 1 1 3 3
1 452 070 200	1988	16	hosts 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3 3 3 1 3 3
1 452 070 440	2004	16	hosts 1 3 1 1 3 3 3 1 1 1 1 1 3 1 1 1
1 452 106 740	2144	17	hosts 1 3 1 7 1 10 1 1 1 6 1 3 1 1 6 1 1
1 452 106 680	2180	17	hosts 1 1 10 1 7 1 1 3 1 6 1 3 1 1 1 6 1
1 452 106 320	2236	19	hosts 1 1 3 1 10 7 1 1 1 1 6 1 3 1 6 7 1 6 1
1 452 106 620	2260	17	hosts 3 1 1 7 1 10 1 1 1 1 1 3 1 1 6 6 1
1 452 106 500	2264	17	hosts 1 1 1 7 1 10 1 1 1 6 1 3 1 3 1 6 1
1 452 103 500	2268	20	hosts 1 1 10 3 6 7 1 7 1 1 6 3 7 1 1 1 1 1 1 6

Obrázok 6 Najlepšie rozloženia úloh na uzloch HPC klastra z hľadiska spotreby elektrickej energie
(UNIX timestamp; spotreba energie [Wh]; počet vykonávaných úloh; výpis serverov, ktoré úlohy vykonávajú)

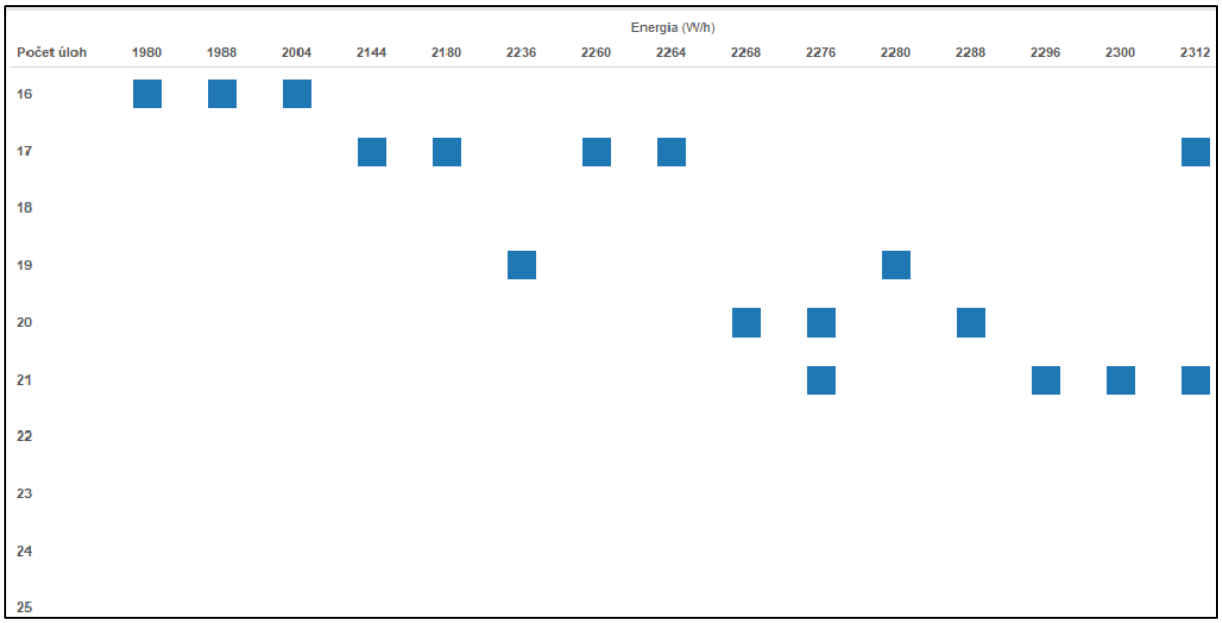
1 452 070 680	1980	16	hosts 1 3 1 1 3 1 1 1 1 1 3 1 1 1 3 3
1 452 070 200	1988	16	hosts 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3 3 3 1 3 3
1 452 070 440	2004	16	hosts 1 3 1 1 3 3 3 1 1 1 1 1 3 1 1 1

Obrázok 7 Tri rozloženia šestnástich úloh na uzloch HPC klastra s najnižšími spotrebami elektrickej energie
(UNIX timestamp; spotreba energie [Wh]; počet vykonávaných úloh; výpis serverov, ktoré úlohy vykonávajú)

1 452 114 720	2620	16	hosts 1 14 1 3 1 7 1 10 1 1 1 6 1 1 1 1
1 452 115 980	2624	16	hosts 1 1 1 1 1 1 7 1 6 14 1 10 3 1 1 1
1 452 116 100	2640	16	hosts 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 7 10 6 14

Obrázok 8 Tri rozloženia šestnástich úloh na uzloch HPC klastra s najvyššími spotrebami elektrickej energie

Na obrázku č. 9 môžeme vidieť počty úloh, ktoré boli vykonávané pri 15 najnižších zistených spotrebách HPC klastra.



Obrázok 9 Počty úloh vykonávaných pri 15 najnižších spotrebách
(x- spotreba energie [Wh]; y- počet vykonávaných úloh)

Na obrázku č. 10 môžeme vidieť celý obraz spotreby HPC klastra s počtami vykonávaných úloh a spotrebami elektrickej energie za obdobie od 1. 1. 2016 do 29. 2. 2016. Čím tmavšia červená farba, tým vyššia spotreba. Najnižšia zistená spotreba HPC klastra pri viac ako 15 súčasne vykonávaných úlohách predstavuje 1980 Wh (*v stredu 6. januára 2016 o 8:58 bolo vykonávaných 16 úloh na 2 rôznych uzloch s číslami 1 a 3*). Najvyššia zistená spotreba HPC klastra pri viac ako 15 súčasne vykonávaných úlohách predstavuje 2912 Wh (*v piatok 8. januára 2016 o 14:58 bolo vykonávaných 21 úloh na 5 rôznych uzloch s číslami 1, 6, 7, 10, 14*). Najväčší počet súčasne vykonávaných úloh na 23 skúmaných uzloch HPC klastra bol 25.

Obrázok 10 Celý obraz systému
(x- spotreba energie [Wh]; y- počet vykonávaných úloh)

Z uvedenej analýzy vyplýva, že spotrebu elektrickej energie HPC klastra ovplyvňujú rôzne faktory, ako napríklad počet vykonávaných úloh, ich rozloženie na uzloch klastra, ich výpočtové a pamäťové nároky. Porovnaním obrázkov 11 až 15 sme zistili, že rozloženie vykonávaných úloh na uzloch klastra ovplyvňuje spotrebu elektrickej energie viac ako ju ovplyvňuje ich počet. Vo všeobecnosti je možné

povedať, že najmenej energie HPC klaster spotrebuje, keď sa úlohy vykonávajú na čo najmenej uzloch. Samozrejme, neplatí to pre každý prípad, pretože HPC klaster na Univerzite Mateja Bela je heterogénny, takže nie všetky uzly majú rovnaké energetické nároky a takisto rôzne úlohy môžu byť rôzne energeticky náročné. Výsledky analýzy môžu byť skreslené aj filtrovaním úloh, ktoré boli vykonávané na uzloch, o ktorých spotrebe elektrickej energie nemáme záznamy (pre viac podrobností pozri *bod 4.3.2*). Ďalším možným skreslením sú úlohy, ktoré začali byť vykonávané na konci decembra 2015 a ich vykonávanie pokračovalo aj na začiatku roka 2016, pretože začiatok ich vykonávania sa nachádza v záznamoch z roku 2015 a tie *skript č. 1* neprehľadával, takže tieto úlohy sa vo vyextrahovanom zozname vykonávaných úloh nenachádzajú, napriek tomu, že môžu ovplyvňovať spotrebu elektrickej energie.

Záver

Táto práca predstavuje príspevok k hľadaniu optimálneho rozloženia úloh (rozvrhu) na vysokovýkonnom počítačovom klastri s cieľom čo najnižšej spotreby elektrickej energie. V práci sme použili nástroje pre analýzu mnohorozmerných údajov, na báze *Hadoop* a *MapReduce*. Vďaka vytvoreniu jedného linuxového skriptu a troch *Java MapReduce* programov s využitím *Java Hadoop API* sme urobili analýzu spotreby elektrickej energie HPC klastra na *Univerzite Mateja Bela*. Z výsledku analýzy vyplýva, že spotrebu elektrickej energie ovplyvňuje niekoľko faktorov, ako napríklad počet vykonávaných úloh, ich rozloženie na uzloch HPC klastra, ich pamäťové a výpočtové nároky. Vo väčšine prípadov najnižšiu spotrebu HPC klaster dosahuje vtedy, keď manažovací systém *TORQUE* umiestňuje vykonávané úlohy na procesory, ktoré sa nachádzajú v rámci najmenšieho počtu uzlov. Tieto uzly sú vtedy využité maximálne. Samozrejme, to nie je vždy možné kvôli nárokom úloh na využitie pamäťového priestoru alebo počtu procesorov. Výsledky analýzy sme vizualizovali pomocou nástroja *Tableau*. Výsledky práce by boli zaujímavejšie, keby sme mohli analyzovať údaje všetkých uzlov HPC klastra, kde by sa prejavila ich rôznorodosť, pretože HPC klaster na *Univerzite Mateja Bela* je heterogénny. Údaje o spotrebe sme mali k dispozícii len o 23 uzloch, hoci úlohy boli vykonávané aj na ďalších a preto sme tieto úlohy museli filtrovať, aby neovplyvnili výsledky analýzy. V ďalšej práci by sme po získaní ďalších údajov radi pokračovali v tejto analýze.

Literatúra

[1] „*High Performance Computing Center*,“ [Online]. Dostupné na: *http://hpcc.umb.sk*

[2] „*TORQUE Resource Manager*.“ [Online]. Dostupné na: *http://www.adaptivecomputing.com/products/open-source/torque/*

[3] „*Zabbix: The Ultimate Enterprise-class Monitoring Platform*.“ [Online]. Dostupné na: *http://www.zabbix.com/*

[4] GHEMAWAT, S. - GOBIOFF, H. - LEUNG, S., „*The Google File System*.“ Október 2003. [Online]. Dostupné na: *http://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/sk//archive/gfs-sosp2003.pdf*

[5] DEAN, J. - GHEMAWAT, S., „*MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters*.“ December 2004. [Online]. Dostupné na: *http://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/sk//archive/mapreduce-osdi04.pdf*

[6] WHITE, T. *Hadoop: The Definitive Guide, Štvrtá ed.* Sebastopol: O'Reilly, 2015, 805 s. ISBN 978-1-491-90163-2

[7] SHOOK, A. - MINER, D., *MapReduce Design Patterns*. Sebastopol: O'Reilly, 2013, 251 s. ISBN 978-1-449-32717-0

[8] „*Business Inteligence and Analytics | Tableau Software*.“ [Online]. Dostupné na: *http://www.tableau.com/*

Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela

ŠVK 2016

SEKCIA BIOLÓGIA A EKOLÓGIA

Recenzenti:
prof. RNDr. Peter BITUŠÍK, CSc.
doc. RNDr. Roman ALBERTY, CSc.
doc. RNDr. Svetlana GÁPEROVÁ, PhD

Breeding biology of Common Kingfisher (*Alcedo atthis*)

Matej FERENČÍK

Katedra biológie a ekológie PFV UMB, Tajovského 60, 97401 Banská Bystrica, e-mail: ferencik.mato@gmail.com

Abstrakt: Hniezdna biológia rybárika riečneho (Alcedo atthis). *Práca vznikla na základe iniciatívy autora, ktorý viac rokov po sebe pozoroval rozdielne stavy populácie rybárika riečneho na záujmovom území regiónu Kysuce. Prioritné bolo teda zistenie, či poskytuje toto územie dostatočné hniezdne možnosti pre druh Alcedo atthis na základe jeho ekologických nárokov. Zisťovali a merali sme rôzne parametre a premenné, ktoré vplývajú na úspešnosť výstavby hniezda, či na hniezdenie samotné. Pomocou aplikovania kombinácie kvantitatívnych ornitologických metód sme tiež podrobne zmapovali územie regiónu Kysuce a stanovili výšku populácie rybárika na základe dohľadaných obsadených hniezd.*

Kľúčové slová: *rybárik riečny, Alcedo atthis, Kysuce, hniezdo, monitoring*

Introduction

Common Kingfisher is nesting across paleo-arctic and indo-malayan region in the south-east Asia (CRAMP 1990) except tundra and desert areas (VOOUS & THOMSON 1960). CEPÁK (2008) considers the Central-European population to be partly migratory. In Slovakia its range covers almost whole country (ATLAS.VTAKY.SK). The Kingfisher nests in nesting holes in vertical parts of banks (HUDEC & ČERNÝ 1983). Habitat is one of the most important factors which determine the distribution and organisation of the species (PARTRIDGE 1981). It was FERIANC (1965) who defined for the first time the favourable biotope conditions for breeding of Kingfisher in Slovakia to be clayed of sandy banks of backwaters and running watercourses. The banks should have sufficiently large dimension to dig up nests. The banks should be covered by trees or shrubs. HAGEMEIJER & BLAIR (1997) claim, that the Common Kingfisher needs the tree vegetation, because it uses it as a raised stand while hunting. KAŇUCH (2000) propose the Common Kingfisher to serve as an indicator of naturalness of watercourses. This claim has become a hypothesis and motivation for our research. The next hypothesis was estimated of population abundance, which is according to KORŇAN (in verb 2015) 40 individuals.

Kysuce is a region in north-western part of Slovakia, with surface 936 km^2, what is approximately 2% of the surface area of Slovakia. The majority of this region is created by flysch belt, and typical feature of flysch belt are the slope movements and landslides (STRAŇAN 2001). This process is tightly connected to Common Kingfisher and its nest building. The most important water stream for the Common Kingfisher in this area is **Kysuca** river. Its spring is under the peak Veľký Javorník (TARÁBEK 2008) and its length is 66.3 km (STRAŇAN 2001).

Material and methods

The primary task of this research was to perform monitoring within the study area. The monitoring should concern accurate population count and evaluation of both natural and modified habitats. The author focused on the river Kysuca and its relatively large tributaries Bystrica, Čierňanka, Predmieranka, Nelušanka, Vadičovský potok. The monitoring took place mainly from January to May 2015. Six relatively large rivers, collectively 123 km of streams, and two dams (Neslušská priehrada and Nová Bystrica) with the overall 22 km coast line were explored over the course of time. The parts of the streams that had good breeding condition for the Common Kingfisher to create nests were targeted. The watercourse length and the observed watercourse length are noted in the table one.

Table 1. The list of studied watercourses

Watercourse name	Watercourse length (km)	Observed watercourse length (km)	Observed watercourse length (%)
Kysuca	66.3	60	90
Bystrica	31.2	25	80
Čierňanka	21.6	18	83
Predmieranka	14.7	10	68
Neslušanka	13.1	5	38
Vadičovský potok	14.8	5	34
in total	161.7	123	76

Our study combined multiple methods. A linear method is one of them. The birds were counted by method described by JANDA & ŘEPA (1986) using transect parallel to the riverbank. KOLEČEK (2012) states, that linear method is capable of defining the absolute estimation number. The second method was direct searching for nests. The numbers of species was established according to the quantity of occupied nests. This method is one of the most time demanding techniques (KOLEČEK 2012). It is ten times more demanding that the linear method. We choose this technique because we consider it essential in the proper bird count.

When a nest was found, preselected parameters were evaluated. We used following parameters and consequent methods of measurements. The height and width of the entering hole were measured with a device with accuracy of one millimetre, other parameters such as distance of the hole to the bank top, distance of the hole to the water level were determined by a pocked ruler. The location was recorded by a GPS device GARMIN OREGON 300 with accuracy of 5m.

Trampled paths that lead to the nest entrance can be used to detect the number of Kingfishers inhabiting a particular nest. They are depicted in the figure number one.

Fig 1. One of residential features of occupied nest is trampled paths (photo M. Ferenčík 2015)

Results

Character of nests

When a nest was found, there were a lot of nest measurements taken for better understanding of the Common Kingfisher's breeding. In the table two there is a summary of the titles of the nests. The title consists of a letter and a number. The letter represents the first letter of the river: K - Kysuca, C - Čierňanka, P - Predmieranka, B - Bystrica, N - Neslušanka. The number stands for the order as the nests were discovered up the stream. Moreover, it includes the name of the nearest town or a town part where the nest is situated, the height and width of the nest entrance.

There is an abbreviation ND - no data next to the nest C3. This nest is located near the town Čierne in the tear off shore with high risk of erosion. Any attempt to measure the parameters could induce a shore tear or the shore damage itself as well as the nest destruction. The breeding pair was spotted several times in this locality in different phases of breeding.

Table 2. Titles of nests and heights and widths of nest entrances

title	locations	height of nest entrance (cm)	width of nest entrance (cm)
K1	Brodno	7.0	6.0
K2	Kysucké Nové Mesto	9.0	9.8
K3	Krásno nad Kysucou	5.5	5.2
K4	Krásno nad Kysucou	8.2	7.0
K5	Oščadnica	6.7	5.6
K6	Čadca-Horelica	6.4	5.2
K7	Čadca	6.8	5.1
K8	Čadca	8.2	5.1
K9	Raková	8.3	7.1
K10	Podvysoká	8.4	9.2
C1	Čadca-Podzávoz	7.1	5.1
C2	Svrčinovec	8.1	6.0
C3	Čierne	ND	ND
P1	Klokočov	6.0	6.2
P2	Klokočov	9.5	7.2
B1	Krásno nad Kysucou	8.3	5.7
B2	Stará Bystrica	9.3	5.8
N1	Rudinka	7.2	8.5
N2	Rudina	5.7	4.7

The distance of the hole to the bank top was one of the measured parameters. The measurements are inscribed in the figure 2. This distance is really important when talking about the safety precautions against predators such as a fox. The smallest distance of the hole to the bank top was 25cm. 90cm was discovered as the greatest distance.

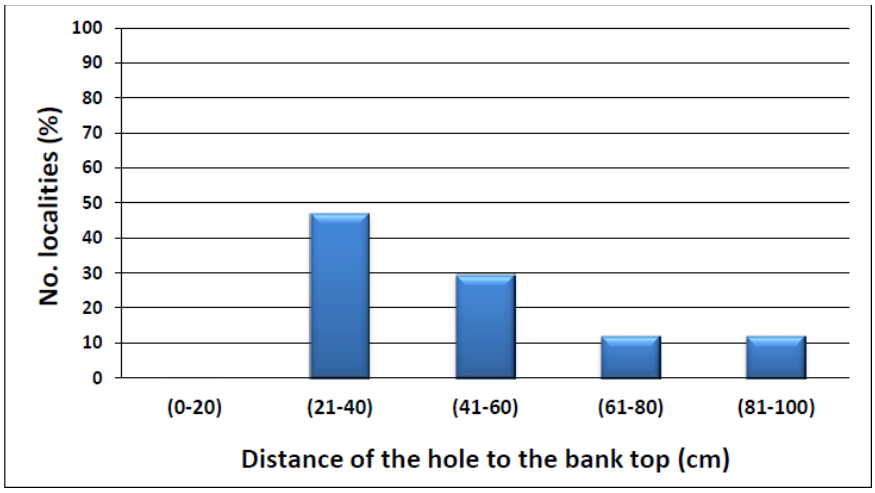


Fig 2.

The distance of the hole to the water level is fairly significant parameter when talking about the nest safety. It should be taken into account in places where the water level rises easily.
The lowest nest was placed just 70cm above the water level. There is a fair chance that the nest could be flooded out when it is situated this close to the river. The highest nest was spotted 240 cm above the water level. All of the information about the distance of the hole to the water level are mentioned in the figure 3.

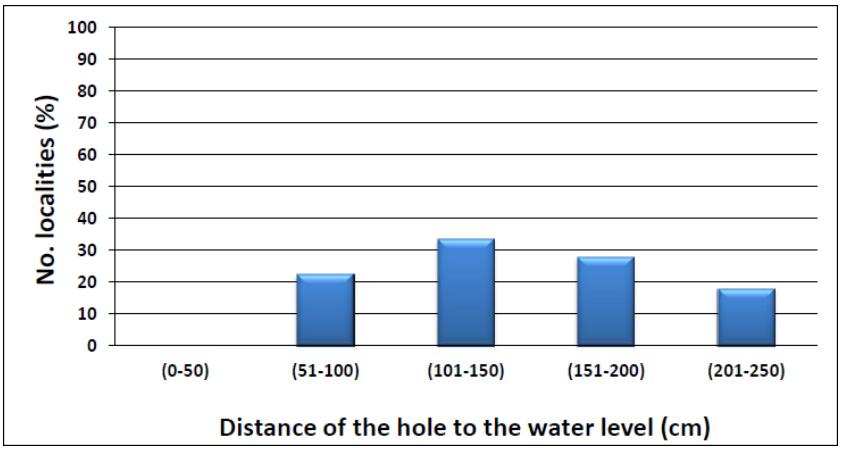


Fig 3.

It is not possible to determine a correlation between a nest orientation and cardinal directions. However, the majority of the nests were oriented to the south, exactly ten nests (53%). Four nests were turned to the north (21%). A question arises, whether the selection of the direction of the nest holes could be conditioned by only the location and direction of the river flow from EW and NS. In our opinion, it depends on the greater chance of better breeding conditions and the orientation according to the cardinal points does not play an important role in this case. The relationship between the nest orientation and the cardinal directions is pictured in the figure 4.

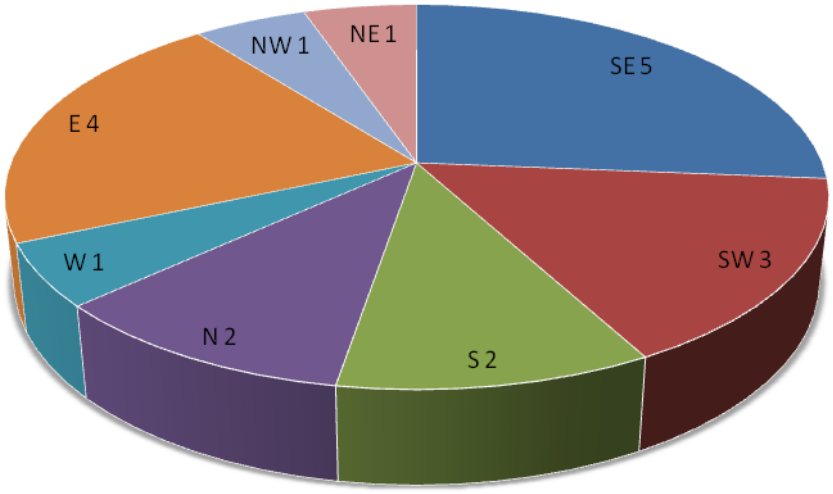


Fig 4. Orientation of the nests

Results of monitoring

The greatest fraction of the nests was recorded along the stream of the Kysuca river, which makes altogether ten. Given the overall watercourse of 60 km, it could be said that we can find a nest every six km. Čierňanka was another observed river. There were three nests found. Given the length of 18 km, this river exerts the same case as the Kysuca river, figuratively one nest for every six km. The next stream was Predmieranka. There were two nests spotted in ten km section which makes one nest per five km. Two nests in five km can be found in Neslušanka. This means one nest per two and half

km. Bystrica has the worst nest kilometres ratio. Along the watercourse of 25 km there were two nests found. This means one nest every 12.5 km. The mapped stream of Vadičovský potok with the length of five km did not show any signs of Kingfisher breeding. In spite of monitoring 20 km of Nová Byrtrica dam there was not a single nest found. Figure 5. shows the numbers of the nests for each watercourse.

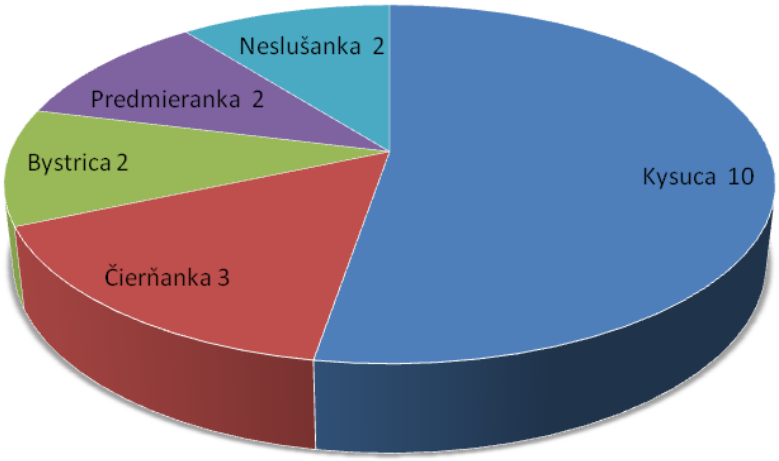


Fig 5. Numbers of the nests for each watercourse

The breeding pair was not found in all the recorded nests. 14 of them were occupied by breeding pair. The rest, five nests, were occupied by a single individual (Fig 6.).

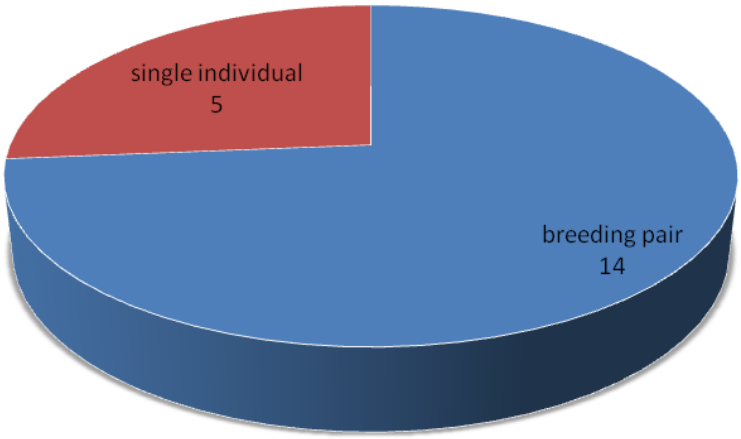


Fig 6. Graph of occupied nest by breeding pair and single individual

The presence of wood close to the nests seems to play an important role in attaining safety and stability. The root system strengthens the river bank and prevents it from erosion. The vegetation close to the river serves as a good place to be seated while hunting. The presence of wood was noted in the majority of the nest wall surroundings. There were only three exceptions that showed no wood, for instance the nests N2 and B1. In these cases, there is a higher risk of erosion of soil, or the destruction of the nest wall, especially during spring or heavy rain. White Willow (*Salix alba*) appears to play the most important role in stability of the river banks. It was found near 7 nests. Moreover, Green Alder (*Alnus viridis*) was spotted next to three nests. Black Poplar (*Populus nigra*) was present in two cases. Despite Norway Spruce's (*Picea abies*) shallow root system, this tree was found in three cases. One nest was built next to Common Hazel (*Corrylus avellana*). Figure 6. shows the summary of the trees found in the direct nest surroundings that contribute to the riverbank stability.

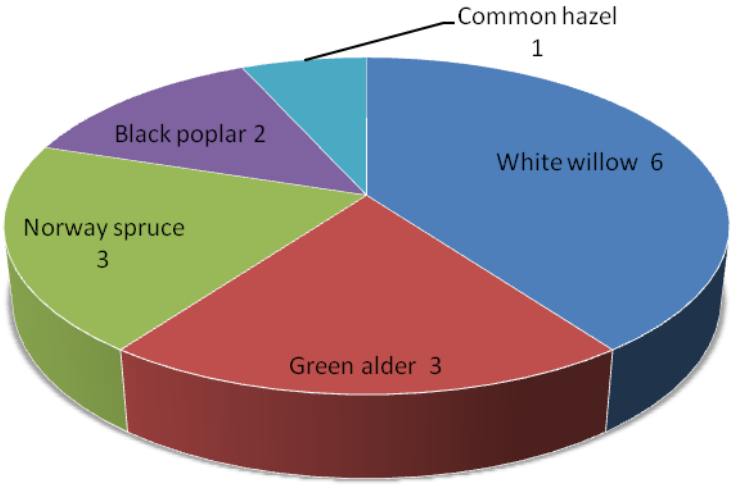


Fig 6. Important trees

The nests seemed to be placed into the environment according to their requirements. The majority of the nests were found in tear off shores, 11 total. Three nests recorded in regulated bank (in between a group of boulders) seemed to be really unusual. Three nests were found in the root system of the trees. Both of the nests found in the Predmieranka river had the origin right in the root system. The last two nests were situated in the meander cliff. Figure 7. represents the locations of the nests of Common Kingfisher.

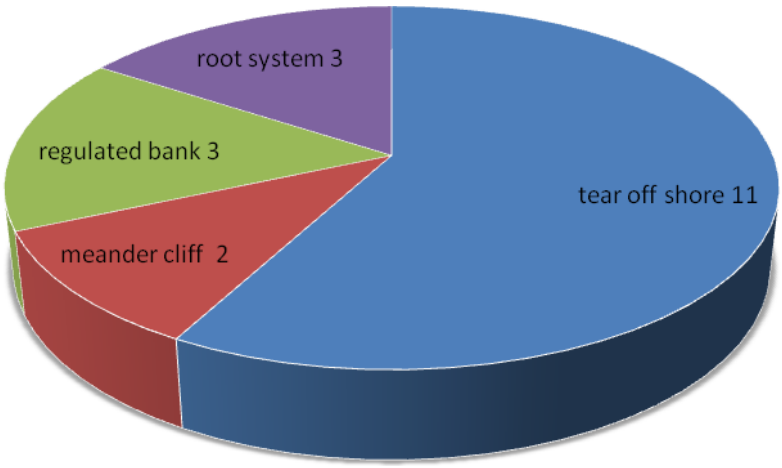


Fig 7. Location of the nests

Evaluation of population abundance

Based on the monitoring of the Common Kingfisher in 2015 we can determine the population count relatively accurately. A breeding pair was discovered in 14 cases. Lone individuals were found in five cases. A young individual was seen multiple times in Turzovka -Predmier. However, the observer was not able to find its nest. Regarding those information it can be concluded that the population of the Common Kingfisher in Kysuce region in the first half of 2015 was 34 to 40 individuals. These numbers might correlate in the future.

There have been 19 occupied nests found and recorded till the day of May 12, 2015. In the figure 8. there are all the nests marked as they were found and noted to the GPS device until May 12, 2015.

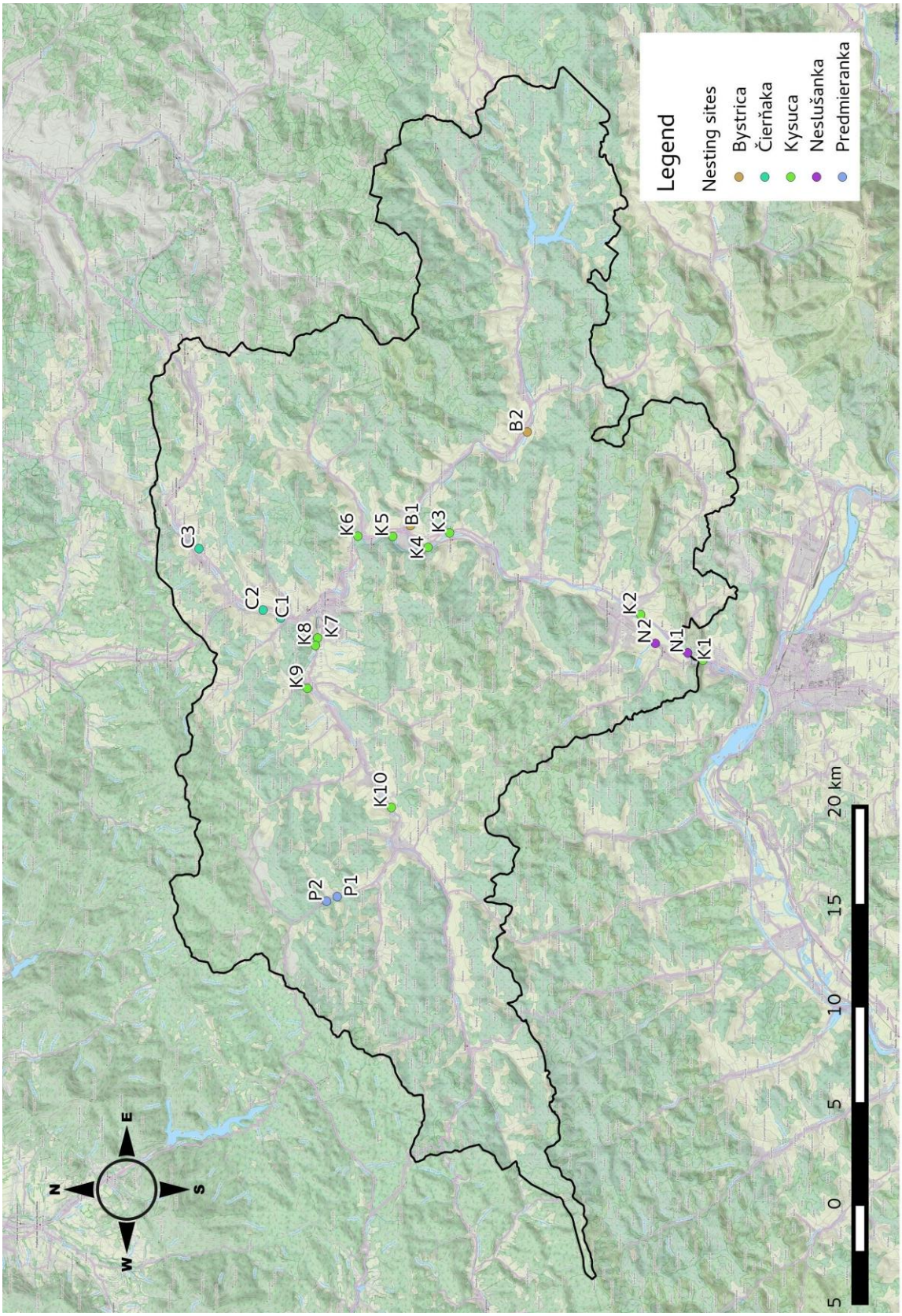


Fig 8. Map of study area with nesting sites

Resumé

Zmeny podmienok prostredia, a to jednak prirodzené, ako záplavy, zosuvy brehov, ale aj umelé, ako regulácia brehov, odstraňovanie brehovej vegetácie, či znečisťovanie tokov majú za následok rozdielne stavy tohto druhu ako počas roka, tak aj v porovnaní jednotlivých rokov. Preto sme si dali za úlohu zmapovať územie regiónu Kysuce, najmä väčšie toky, ale aj ich menšie prítoky a zistiť, aké poskytujú podmienky pre výskyt a hniezdenie rybárika. Snažili sme sa tiež potvrdiť, respektíve vyvrátiť hypotézu o tom, že na záujmovom území sa nachádza 40 jedincov druhu *Alcedo atthis*. S využitím kvantitatívnych ornitologických metód sme túto hypotézu potvrdili, čo zároveň možno považovať za najvýznamnejší prínos tejto práce. V Slovenskej republike nebol podobný typ monitoringu doposiaľ vykonávaný. S tohto dôvodu sme získané dáta porovnávali s podobnými výskumami zo zahraničia. Nami namerané hodnoty: vzdialenosť nory od hornej hrany brehu a výška nory nad vodnou hladinou sa s nimi z veľkej časti zhodovali. Výraznejšie odchýlky sa prejavili pri porovnaní orientácie hniezd voči svetovej strane, čo však nemusí súvisieť len so smerom toku S-J resp. V-Z ale najmä s ponukou vhodných hniezdnych možností. Taktiež sme zaznamenali korelácie pri porovnaní s prácami zo zahraničia v otázke umiestnenia hniezd. V nami študovanej oblasti sa 3, z celkového počtu 19 hniezd nachádzali v čiastočne zregulovanom brehu medzi skupinami veľkých balvanov, čo môže tiež vypovedať o slabšej ponuke hniezdnych možností pre rybárika. Napriek skutočnosti, že rybárik nie je v našej krajine z hľadiska ochrany prírody prioritným vtáčím druhom, odporúčame vykonávať pravidelné obhliadky existujúcich hniezdísk. Z toho dôvodu sme získané dáta poskytli príslušnému orgánu ochrany prírody.

References

ATLAS.VTÁKY.SK: http://atlas.vtaky.sk/atlasvtakov.php?id=druh&num=39_0

CEPÁK J. *et al*. 2008: Atlas migrace ptáků České republiky a Slovenska. Aventinum, Praha.

CRAMP J. S. 1990: Birds of the Western Palearctic. Vol. 4. *Oxford Univ. Press, Oxford.*

FERIANC O. 1965: Stavovce Slovenska III, Vtáky 2. - Vydavatelstvo SAV, Bratislava, 455 pp.

HAGEMEIJER J.M. & BLAIR M. J. 1997: The EBCC Atlas of European Breeding Birds: their distribution and abundance, T & A D Poyser, London.

HUDEC K. & ČERNÝ W. 1983: Fauna ČSSR, Ptáci 3 (I a II). *Academia, Praha.*

JANDA J. & ŘEPA P. 1986: Metódy kvantitatívniho výskumu v ornitologii. – Státní zemědelské nakladatelství, Praha, 157 pp.

KAŇUCH P. 2000: Bioindikácia ornitocenóz pri hodnotení brehových porastov. – Tichodroma, 13: 78 – 88.

KOLEČEK J. 2012: Základní metody v aplikované ornitologii, 11 pp.

KORŇAN J. 2015: Personal communication, Administration of Landscape Protected Area Kysuce, U Tomali 1511, 02201 Čadca (30.3.2015)

PARTRIDGE L. 1981: Habitatwahl. Pp. 273–291. *In:* KREBS J. R. & DAVIES N.B. (eds): Öko-Ethologie. Scientific Publications. Oxford. London.

STRAŇAN M. 2001: Kysucké Nové Mesto. RUN reklamná agentúra, Žilina 176 pp. ISBN 80-968501-0-5

TARÁBEK J. 2008: Kysucká vrchovina ako prirodzený celok. Kysucké Nové Mesto 97 pp. ISBN 978-80-969970-5-3

VOOUS K. H. & THOMSON S. A. L. 1960: *Atlas of European birds*. Nelson.

Rozmanitosť plodov domácich a cudzokrajných semenných rastlín

Monika MIKOVÁ, Svetlana GÁPEROVÁ

Katedra biológie a ekológie, FPV UMB, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica, e-mail: monika.mikova@studenti.umb.sk, e-mail: Svetlana.Gaperova@umb.sk

Abstract: Fruit variation in both autochthonous and allochthonous seed-producing plants: *Seed-producing plants may produce different types of fruits. The purpose of this paper is to describe and classify 86 fruits of both autochthonous and allochthonous seed-producing plants. These are classified into several types: 38 pulpy fruits, 15 dry unpopping fruits, 12 dry popping fruits, 8 seed fruits, 1 crumbly fruit, 1 separate fruit, 6 multiple fruits, and 6 collective fruits.*

Keywords: *fruits, seed plants, autochthonous plants, allochthonous plants*

Úvod

Semenné rastliny sú najviac diverzifikovanou líniou medzi cievnatými rastlinami. Zaraďujeme k nim približne 270 000 žijúcich druhov. Patria sem rastliny nahosemenné (Gymnospermae) a kvitnúce rastliny (Angiospermae), ktoré vytvárajú najpočetnejšiu vetvu semenných rastlín (Mártonfi 2007). U nahosemenných rastlín vajíčka nie sú obalené plodolistom a preto zrelé semená nie sú obalené oplodím (Kuna, Košťál 2006). Krytosemenné rastliny sú najdokonalejšou vývojovou skupinou v rámci rastlinnej ríše. Prispôsobenie sporofytu suchozemskému životu (väčšia reprodukcia gametofytu), posunulo ich fylogenézu na vyšší evolučný stupeň. Základným poznávacím a odlišovacím znakom sú na okrajoch zrastené plodolisty, ktoré vytvárajú dutý semenník. V ňom sú vajíčka, neskôr semená dokonale chránené v porovnaní s nahosemennými rastlinami (Baranec et al. 1998).

Plod (*fructus*) je útvar vznikajúci len u krytosemenných rastlín. Vzniká premenou piestika (gyneceum) alebo iných pridružených kvetných častí súčasne s premenou vajíčok na semená (Košťál et al. 1998). Je to neobyčajne rozmanitý útvar, ktorý uzatvára jedno, alebo viac semien. Jeho úlohou je chrániť semená počas zrenia, prispievať k ich rozširovaniu a zabezpečovať ich výživu v období zrelosti (Bobák et al. 1992). Plody vzniknuté premenou piestika sa označujú ako pravé plody, tie ktoré vzniknú premenou aj iných kvetných častí sú nepravé plody (Slavíková 2002). Podľa genetických, morfologických a funkčných vlastností delíme plody do rôznych skupín. Existujú odlišné kategorizácie, v ktorých však sa jednotlivé plody nezaraďujú vždy rovnako (Nowak, Schultzová 2002, Votrubová, 2010). Pri klasifikácii plodov sa vychádza z rozdielov v kvalite oplodia, z morfologických kritérií stavby gynecea, zo spôsobu otvárania plodov, počtu plodolistov, semien a pod. (Gáperová, Roth 2013). Najčastejšie používanou kategorizáciou plodov je klasifikácia s podrobným popisom plodov a ich súčastí podľa Dostála (Dostál et al. 1966) uvádzaná v diele Flóra Slovenska I. Aj keď sú tieto poznatky 60 rokov staré, doposiaľ žiadne dielo svojim rozsahom a komplexným zosumarizovaním poznatkov ho na Slovensku nepresiahlo.

Variabilita semenných plodov, s ktorou sa každodenne stretávame v prírode, je veľmi veľká a preto správna charakteristika a kategorizácia plodov má význam pri morfologických štúdiách taxónov semenných rastlín. Cieľom našej práce je charakterizovať a kategorizovať vybrané domáce a cudzokrajné semenné plody, vytvoriť z vybraných zástupcov herbár a digitálnu zbierku z nami získaných autochtónnych a alochtónnych plodov.

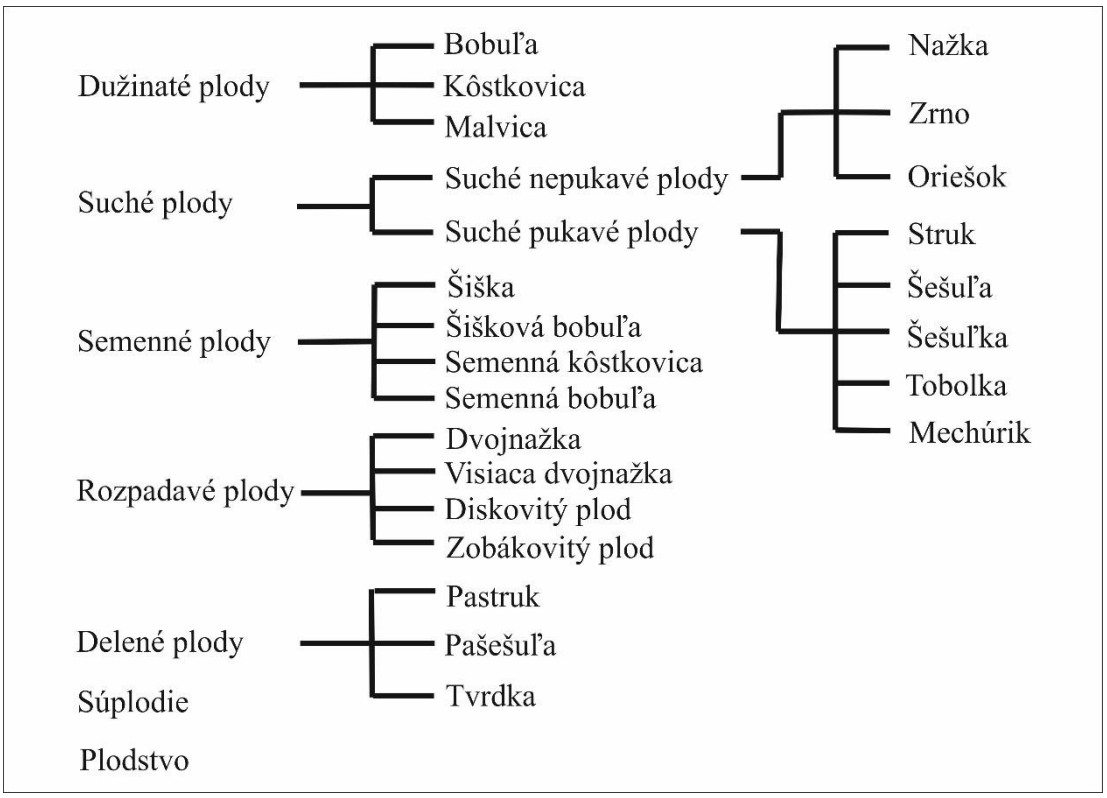
Materiál a metodika

Terénny výskum – odber plodov semenných rastlín sme realizovali vo vegetačnom období roku 2015. Odoberali sme rôzne druhy plodov domácich semenných rastlín z lokalít: JZ Podunajskej pahorkatiny (okolie vidieckej obce Žlkovce), v oblasti Žilinskej kotliny (okolie mesta Rajec) a na úpätnici Lúčanskej časti Malej Fatry (okolie vidieckej obce Ďurčiná). Plody cudzokrajných rastlín,

nevyskytujúce sa v našich podmienkach sme zakúpili v sieti hypermarketov. Plody sme v laboratóriu rozrezali, aby boli viditeľné anatomické štruktúry, popísali anatomicko-morfologické štruktúry a urobili fotodokumentáciu. Celé plody alebo podľa potreby narezané časti plodov sme sušili v sušičke na ovocie pri teplote 60°C niekoľko dní. Po vysušení sme plody uložili do vzduchotesných vreciek s popisom a uložili do herbárovej zbierky Katedry biológie a ekológie FPV UMB v Banskej Bystrici. Urobili sme opis nami získaných plodov podľa Dostála (Dostál et al. 1966). Na základe dostupnej literatúry (Dostál et al. 1966, Bobák et. al. 1992, Kuna, Košťál 2006, Slavíková 2002, Votrubová 2010) sme spracovali kategorizáciu plodov, do ktorej sme zaradili nami získané plody. Kategorizáciu plodov sme doplnili o vlastné schémy vybraných plodov z danej kategórie. Výsledky opisu plodov uvádzame v tabuľkách, kde pod príslušným evidenčným číslom (H – herbárová položka, F – fotodokumentácia) uvádzame pomenovanie plodu, opisujeme jeho anatomicko-morfologickú štruktúru a uvádzame vedecký názov rastliny z ktorej bol plod získaný. Z fotodokumentácie plodov sme vytvorili (v PowerPointovej prezentácii) „Digitálnu zbierku plodov semenných rastlín“ využiteľnú aj vo výchovno-vzdelávacom procese. Nomenklatúru autochtónnych rastlín sme upravili podľa diel Marhold, Hindák (eds.) 1998 a Lhotská et al. 1985, nomenklatúru alochtónnych rastlín podľa Mladá, Procházka 1987, Nowak, Schultzová 2002.

Výsledky

Získané plody semenných rastlín sme charakterizovali a zatriedili do nami vytvorenej kategorizácie plodov semenných rastlín (obr. 1). Celkovo sme získali 86 plodov, z toho 38 dužinatých (26 bobúľ, 10 kôstkovíc a 2 malvice); 15 suchých nepukavých plodov (12 nažiek, 1 oriešok a 2 zrná); 12 suchých pukavých plodov (7 strukov, 1 šešuľka a 4 tobolky); 8 semenných plodov (6 šišiek, 1 šišková bobuľa a 1 semenná kôstkovica); 1 rozpadavý plod; 1 delený plod; 6 plodstiev a 6 súplodí. Každý plod má priradené evidenčné číslo herbárovej položky (H) a číslo fotodokumentácie (F). Súčasťou našej práce je herbár a digitálna zbierka 86 plodov semenných rastlín.



Obr. 1 Kategorizácia plodov semenných rastlín (upravené podľa Dostál et. al. 1966 a Bobák et al., 1992)

Dužinaté plody (tab. 1, obr. 1) majú oplodie (sarcocarpium) buď celé, alebo čiastočne dužinaté. Výraz dužina je používaný všeobecne pre dužinaté časti plodov, parenchymatické mäsité vrstvy oplodia, kde bunky obsahujú veľké množstvo vody. Ako dreň (pulpa) sa označujú všetky mäkké, šťavnaté, alebo vodnaté časti plodov. Typy dužinatých plodov: bobuľa (bacca), kôstkovica (drupa), malvica (pomum). Bobuľa je jedno, alebo viacsemenný typ dužinatého plodu s blanitým exokarpom, šťavnatým mezokarpom a endokarpom. Kôstkovica je typ dužinatého plodu, ktorého exokarp tvorí blanitá šupka, mezokarp šťavnatá dužina a endokarp charakteristická veľmi tvrdá kôstka. Malvica je dužinatý plod s blanitým exokarpom, mäsitým, dužinatým mezokarpom a vnútorným blanitým endokarpom tvoreným puzdrami so semenami. Výsledky opisu dužinatých plodov z našej herbárovej a digitálnej zbierky uvádzame v tab. 1.

Tab. 1 Dužinaté plody semenných rastlín v herbárovej a digitálnej zbierke

Evidenčné čísla	Charakteristika a zaradenie plodu	Taxón v herbárovej zbierke
H 001, F 001	**mäsitá bobuľa** (bacca carnosa) exokarp – blanitý (šupka) mezokarp – dužinatý endokarp – šťavnatý so semenami	*Lycopersicon esculentum*
H 002, F 002	**vysychavá bobuľa** (bacca exsicca) exokarp – blanitý (šupka) mezokarp – dužinatý endokarp – suchý so semenami	*Capsicum annuum*
H 003, F 003		*Capsicum frutescens*
H 004, F 004	**partenokarpná bobuľa** exokarp – vonkajší hladký (šupka), vnútorný biely, hubovito nekompaktný mezokarp – mäsitý endokarp – mäsitý bez, alebo so semenami	*Musa paradisiaca*
H 005, F 005	**mnohosemenná bobuľa** (bacca polysperma) exokarp – blanitý (šupka), môžu sa vyskytovať výbežky (chĺpky a i.) mezokarp – dužinatý endokarp – šťavnatý so semenami	*Vaccinium myrtillus*
H 006, F 006		*Physalis alkekengi*
H 007, F 007		*Physalis peruviana*
H 008, F 008		*Carica papaya*
H 009, F 009		*Hylocereus undatus*
H 010, F 010		*Averrhoa carambola*
H 011, F 011		*Actinidia deliciosa*
H 012, F 012		*Cyphomandra betacea*
H 013, F 013		*Solanum muricatum*
H 014, F 014		*Diospyros kaki*
H 015, F 015		*Punica granatum*
H 016, F 016	**bobuľa – pepónium** (peponium) exokarp – blanitý (šupka), môžu sa vyskytovať výbežky (tvrdé výbežky, pichľavé chĺpky a i.) mezokarp – dužinatý, mäsitý endokarp – dužinatý, mäsitý so semenami	*Solanum melongena*
H 017, F 017		*Cucurbita pepo*
H 018, F 018		*Cucurbita moschata*
H 019, F 019		*Cucumis sativus*
H 020, F 020		*Cucumis melo*
H 021, F 021		*Cucumis metuliferus*
H 022, F 022	**bobuľa – hesperídium** (hesperidium) exokarp – vonkajšie aromatické, povoskované flavedo, vnútorné biele, hubovité albedo mezokarp – dužinatý, mäsitý endokarp – dužinatý so semenami	*Citrus limon*
H 023, F 023		*Citrus paradisi*
H 024, F 024		*Citrus aurantifolia*
H 025, F 025		*Citrus reticulata*
H 026, F 026		*Citrus maxima*
H 027, F 027	**vysychavá kôstkovica** (drupa exsucca) exokarp – matný (šupka) mezokarp – mäsitý endokarp – suchý, tvrdý so semenom	*Amygdalus communis*
H 028, F 028	**pukavá kôstkovica** (tryma) exokarp – matný (šupka)	*Juglans regia*

	mezokarp – mäsitý endokarp – suchý, tvrdý so semenom	
H 029, F 029	**kôstkovica s drsnou kôstkou** (drupa putamen asperum) exokarp – blanitý (šupka) mezokarp – mäsitý, dužinatý endokarp – tvrdý, kamenný so semenom	*Prunus domestica*
H 030, F 030		*Prunus spinosa*
H 031, F 031		*Cocos nucifera*
H 032, F 032		*Prunus persica*
H 033, F 033		*Pistacia vera*
H 034, F 034	**kôstkovica s hladkou kôstkou** (drupa putamen leve) exokarp – blanitý (šupka) mezokarp – mäsitý, dužinatý endokarp – tvrdý, kamenný so semenom	*Persea americana*
H 035, F 035		*Mangifera indica*
H 036, F 036		*Litchi chinensis*
H 037, F 037	**malvica** (pomum) exokarp – blanitý (šupka) mezokarp – dužinatý, mäsitý endokarp – blanitý, semenné puzdra so semenami	*Malus domestica*
H 038, F 038		*Pyrus communis*

Suché nepukavé plody (tab. 2, obr. 1, 2) obsahujú obvykle jedno semeno, ktoré v čase zrelosti zostáva uzavreté v oplodí. Plody sa neotvárajú, ich semená sa uvoľňujú až po rozpadnutí oplodia, alebo po jeho narušení živočíchmi. Typy suchých nepukavých plodov: nažka (camara), zrno (caryopsis), oriešok (nux). Nažka (camara) je suchý nepukavý plod, ktorého oplodie tesne prilieha k semenu, ale nezrastá s ním. Zrno (caryopsis) je jednoplodolistový plod tráv, pre ktorý je typické zrastenie osemenia a oplodia. Oriešok (nux) je suchý nepukavý plod, so sklerokarpickým, alebo pergamenovým oplodím zvyčajne voľne obopínajúcim semeno.

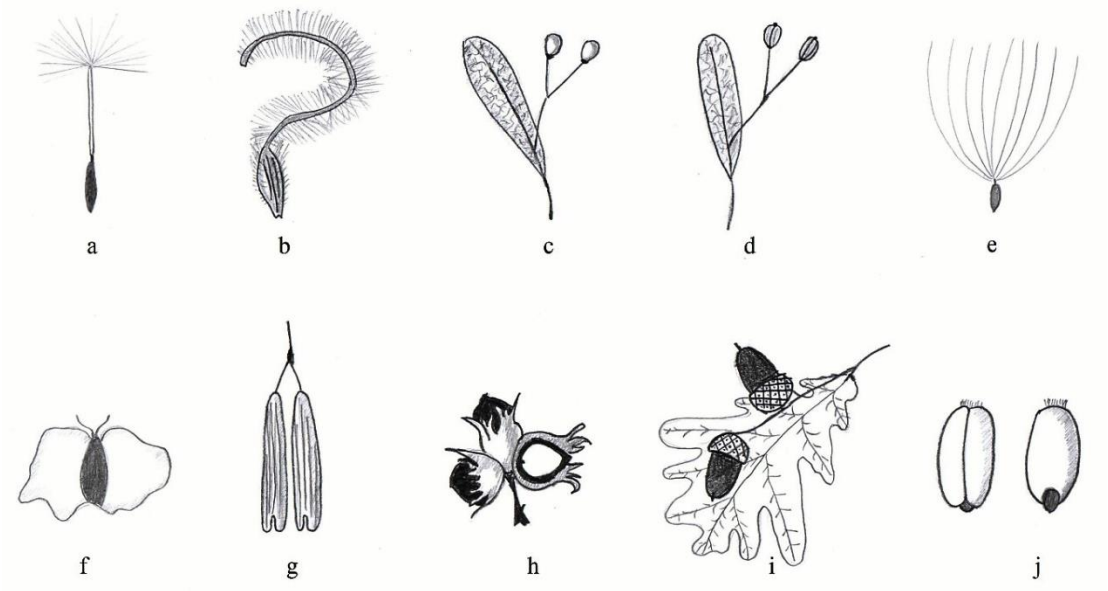
Suché pukavé plody (tab. 2, obr. 1, 3) sú zvyčajne viacsemenné a v čase zrelosti sa otvárajú. Najčastejšie semená vypadávajú ešte na samotnej rastline. Otvorenie plodu môže zapríčiniť roztrhnutie plodového obalu, odpadnutie viečka, vytvorenie otvorov v oplodí, alebo rozštiepenie, či samotné rozlomenie plodu. Typy suchých pukavých plodov: struk (legumen), šešuľa (siliqua), šešuľka (silicula), tobolka (capsula), mechúrik (folliculus). Struk (legumen) je suchý pukavý plod, ktorý sa otvára dvoma chlopňami od vrcholu na dol. Šešuľa (siliqua) je suchý pukavý plod, uprostred ktorého sa nachádza rámik, v ktorom je blanitá prepážka (diafragma). Plod sa otvára na švoch dvoma chlopňami. Šešuľka (silicula) má všetky znaky takmer rovnaké ako šešuľa, plod je ale približne taký dlhý ako široký. Tobolka (capsula) je suchý pukavý plod, ktorý sa môže otvárať rôznymi spôsobmi. Mechúrik (folliculus) je suchý pukavý plod, ktorý sa otvára štrbinou (fissura) na brušnom šve.

Tab. 2 Suché plody semenných rastlín v herbárovej a digitálnej zbierke

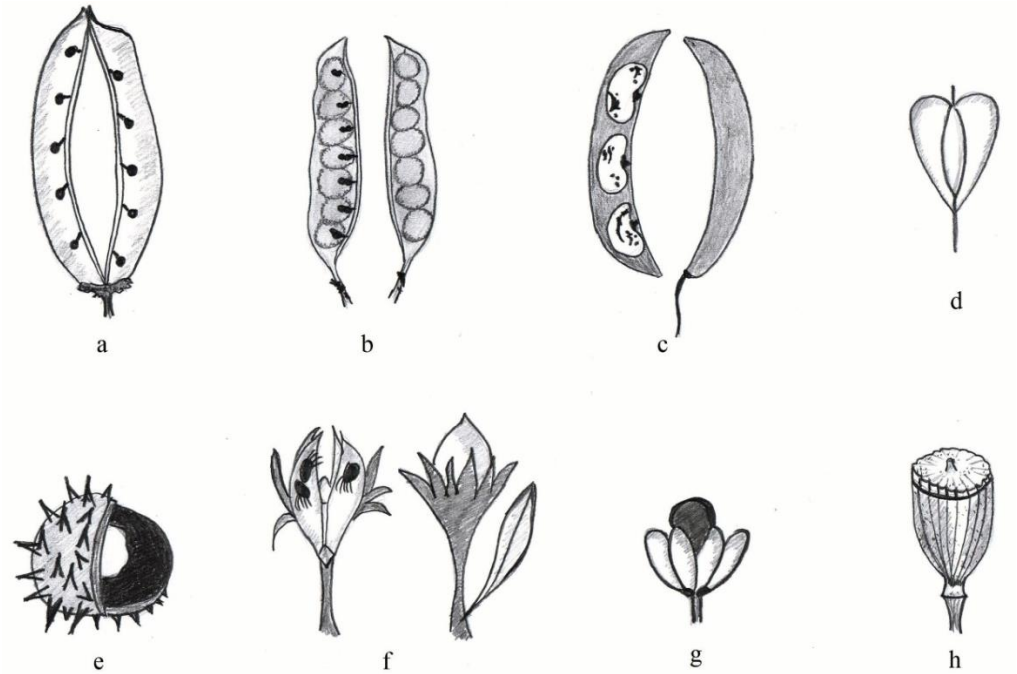
Evidenčné čísla	Charakteristika a zaradenie plodu	Taxón v herbárovej zbierke
H 039, F 039	**sediaca nažka** (camara sessilis) suchý nepukavý plod z jedného plodolistu s blanitým, alebo kožovitým oplodím	*Carduus crispus*
H 040, F 040	**stopkatá nažka** (camara stipitata) suchý nepukavý plod z jedného plodolistu s blanitým, alebo kožovitým oplodím	*Taraxacum officinale*
H 041, F 041	**chvostíkatá nažka** (camara caudata) suchý nepukavý plod z jedného plodolistu s blanitým, alebo kožovitým oplodím, s dlhým, chlpatým zvyškom čnelky	*Clematis vitalba*
H 042, F 042	**viacplodolistová nažka** (achenium) suchý, nepukavý plod z dvoch, alebo viacerých plodolistov s blanitým, alebo kožovitým oplodím	*Alnus glutinosa*
H 043, F 043		*Lactuca sativa*
H 044, F 044		*Beta vulgaris*
H 045, F 045		*Quercus robur*
H 046, F 046		*Tilia cordata*
H 047, F 047		*Tilia platyphyllos*
H 048, F 048	**krídlatá viacplodolistová nažka** (samara,	*Betula pendula*

H 049, F 049	pterodium) nažka z viacplodolistového spodného semenníka s bočnými krídlami	*Fraxinus excelsior*
H 050, F 050	**trojboká viacplodolistová nažka** (achenium triangulare) suchý, nepukavý plod z dvoch, alebo viacerých plodolistov s blanitým, alebo kožovitým oplodím trojbokého tvaru	*Fagus sylvatica*
H 051, F 051	**oriešok** (nux) suchý nepukavý plod so sklerokarpickým, alebo pergamenovým oplodím s jedným semenom	*Corylus avellana*
H 052, F 052	**zrno** (caryopsis) nažka tráv, ktorej osemenie a oplodie zrástlo v blanitý obal, tesne obopínajúci obsah semena	*Triticum aestivum*
H 053, F 053		*Panicum miliaceum*
H 054, F 054	**ohnutý struk** (legumen curvatum) suchý jednoplodolistový plod, pukajúci v dobe zrelosti na brušnom i chrbtovom šve odhora nadol na dve chlopne, so semenami v dvoch radoch	*Phaseolus vulgaris*
H 055, F 055		*Phaseolus coccineus*
H 056, F 056		*Ceratonia siliqua*
H 057, F 057	**mnohosemenný struk**(legumen polyspermum) suchý pukavý plod, v dobe zrelosti na brušnom i chrbtovom šve odhora nadol s viacerými semenami	*Robinia pseudoacacia*
H 058, F 058	**žilkovaný struk** (legumen venosum) suchý pukavý plod, v dobe zrelosti na brušnom i chrbtovom šve odhora nadol, s jemným žilkovaním vo vnútri struku	*Pisum sativum*
H 059, F 059	**nepukavý struk** (legumen indehiscens) suchý pukajúci plod, ktorý v dobe zrelosti nepuká, v opisnej morfológii označovaný ako viacsemenná nažka	*Arachis hypogaea*
H 060, F 060	**struk vyplnený pulpou** (legumen pulpa succulenta farctum) suchý pukajúci plod, so semenným puzdrom vyplneným šťavnatým, alebo dužinatým pletivom, ktoré vzniklo zo zbujného endokarpu alebo placenty	*Tamarindus indica*
H 061, F 061	**mnohosemenná šešuľka** (silicula polysperma) suchý, pukavý komisurálne (v švoch), asi tak dlhý ako široký plod z dvoch plodolistov, s nepravou priehradkou (diafragma) s viacerými semenami	*Capsella bursa-pastoris*
H 062, F 062	**dierkatá tobolka** (opecarpium) suchý, pukavý plod z viac ako jedného plodolistu, s blanitým, kožovitým, papierovitým, kamenným, alebo mäsitým oplodím, otvárajúca sa niekoľkými otvormi, ktorými sa vysýpajú semená	*Papaver somniferum*
H 063, F 063	**dužinatá tobolka** (capsula succulenta) suchý, pukavý plod z viac ako jedného	*Euonymus europaeus*
H 064, F 064		*Aesculus hippocastanum*

	plodolistu, s mäsitým oplodím, ktoré v dobe plnej zrelosti semien vysychá	
H 065, F 065	**lokulicídna tobolka** (capsula loculicida) suchý, pukavý plod s karinálnym švom, (na mieste strednej žilky plodolistu), každá chlopňa sa skladá z dvoch polovíc susedných plodolistov	*Hibiscus trionum*



Obr. 2 Schémy suchých nepukavých plodov: a – stopkatá nažka, b – chvostíkatá nažka, c – viacplodolistová nažka, d – viacplodolistová nažka, e – sediaca nažka, f – viacplodolistová po bokoch krídlatá nažka, g – viacplodolistová jednokrídla nažka, h – oriešok, i – viacplodolistová nažka s pergamenovým oplodím, j – nahé zrno (nákres M. Miková)



Obr. 3 Schémy suchých pukavých plodov: a – žilkovaný struk, b – mnohosemenný struk, c – ohnutý struk, d – mnohosemenná šešuľka, e – dužinatá tobolka, f – lokulicídna tobolka, g – dužinatá tobolka, h – dierkatá tobolka (nákres M. Miková)

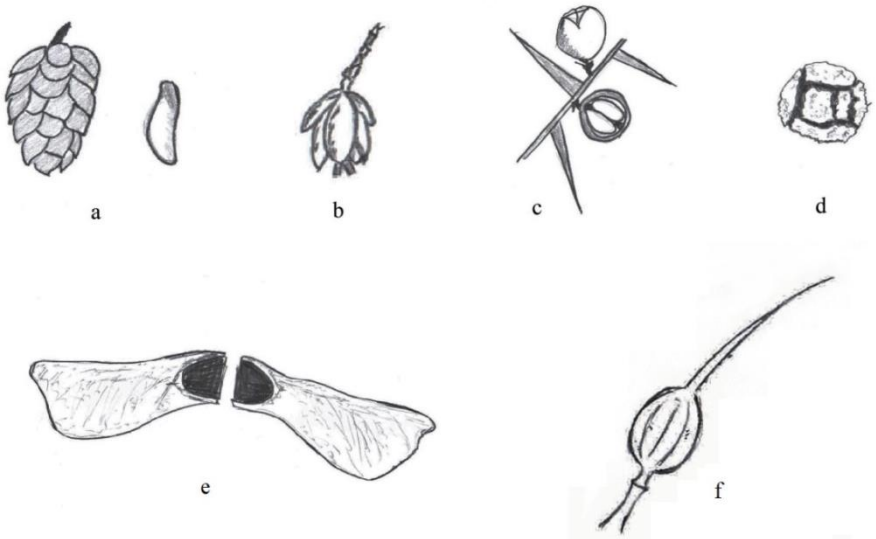
Semenné plody (tab. 3, obr. 1, 4) sú plody bez oplodia vyskytujúce sa u nahosemenných rastlín. Analogické útvary k plodom krytosemenných rastlín napr. bobuľa, kôstkovica, nažka a i. Typy semenných plodov: šiška (conus), šišková bobuľa (galbulus), semenná kôstkovica (spermodrupa), semenná bobuľa (spermobacca).

Rozpadavé plody (tab. 3, obr. 1, 4) sú suché viacsemenné plody zvyčajne vznikajúce z viacplodolistového gynecea. V čase zrelosti sa rozpadajú na jednosemenné diely tzv. plôdiky (monachenium). Delia sa na plody poltivé a lámavé. Typy rozpadavých plodov: dvojnažka (biachenium), visiaca dvojnažka (cremocarpium), diskovitý plod (coccocarpium), zobákovitý plod (regma).

Delené plody (tab. 3, obr. 1, 4) sú suché viacsemenné plody, ktoré vznikajú z jednoplodolistového, alebo viacplodolistového gynecea. V období zrelosti sa delia priečnymi priehradkami na jednosemenné dieliky, ktoré zodpovedajú iba časti plodolistu. Typy delených plodov: pastruk (lomentum), pašešuľa (bilomentum), tvrdka (carcerulus).

Tab. 3 Semenné, rozpadavé a delené plody semenných rastlín v herbárovej a digitálnej zbierke

Evidenčné čísla	**Charakteristika a zaradenie plodu**	**Taxón v herbárovej zbierke**
H 066, F 066	**semenný plod – šiška** (conus) klas so zdrevnateným vretenom aj listeňmi, ktoré majú v puzdrách sediace kvety (súkvetie viacerých nahosemenných rastlín)	*Pinus sylvestris*
H 067, F 067		*Pinus nigra*
H 068, F 068		*Pinus ponderosa*
H 069, F 069		*Picea abies*
H 070, F 070		*Larix decidua*
H 071, F 071		*Thuja occidentalis*
H 072, F 072	**semenný plod – šišková bobuľa** (galbulus) súbor semien na semenných šupinách, ktoré časom zrástli a zdužnateli	*Juniperus communis*
H 073, F 073	**semenný plod – semenná kôstkovica** (spermodrupa) rozšírenie vajíčkového obalu na tri vrstvy, podobné oplodiu kôstkovice	*Chamaecyparis lawsoniana*
H 074, F 074	**rozpadavý plod – dvojnažka** (biachenium) suchý, dvojplodolistový rozpadavý plod, na dva jednosemenné diely, z ktorých každý odpovedá jednému plodolistu a pripomína nažku	*Acer platanoides*
H 075, F 075	**delený plod – zobáčikovitá pašešuľa** (bilomentum rostratum) šešuľa deliaca sa priečnymi priehradkami na jednotlivé plôdiky	*Raphanus sativus*



Obr. 4 Schémy vybraných typov semenných plodov: a – šiška so semenom, b – šiška, c – šišková bobuľa, d – semenná kôstkovica; schéma vybraného typu rozpadavých plodov: e – dvojnažka; schéma vybraného typu delených plodov: f – pašešuľa (nákres M. Miková)

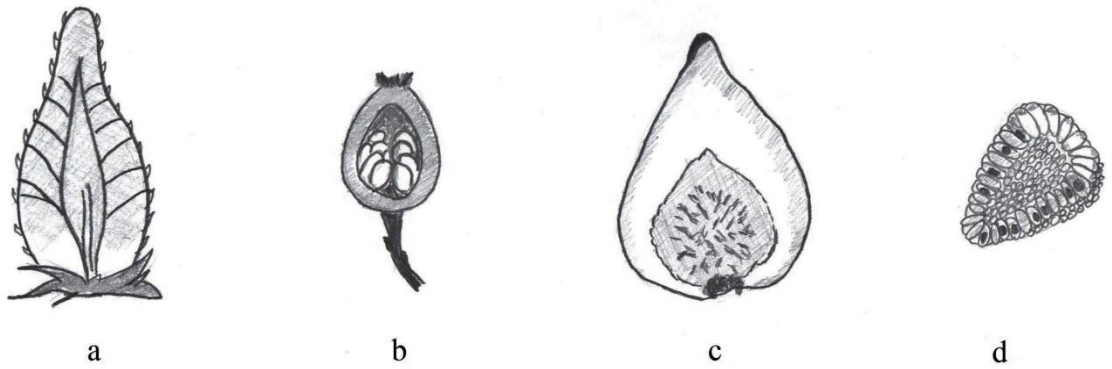
Plodstvo (tab. 4, obr. 1, 5) je súbor plodov jedného typu, ktorý vzniká z apokarpného gynecea jedného kvetu. Rozoznávame: voľné plodstvo (concarpium conjunctum), u ktorého sú jednotlivé plody nespojené, voľne odpadávajúce a spojené plodstvo (concarpium connatum), u ktorého sú jednotlivé plody navzájom spojené – tesne k sebe priložené a plodstvo opadáva ako celok, alebo spojené zväčšeným kvetným lôžkom.

Súplodie (tab. 4, obr. 1, 6) je súbor plodov jedného typu, ktorý vzniká zo súkvetia. Môže vzniknúť trvalým spojením apokarpných plodov miskovito rozšíreným kvetným lôžkom, alebo druhotným zrastom.

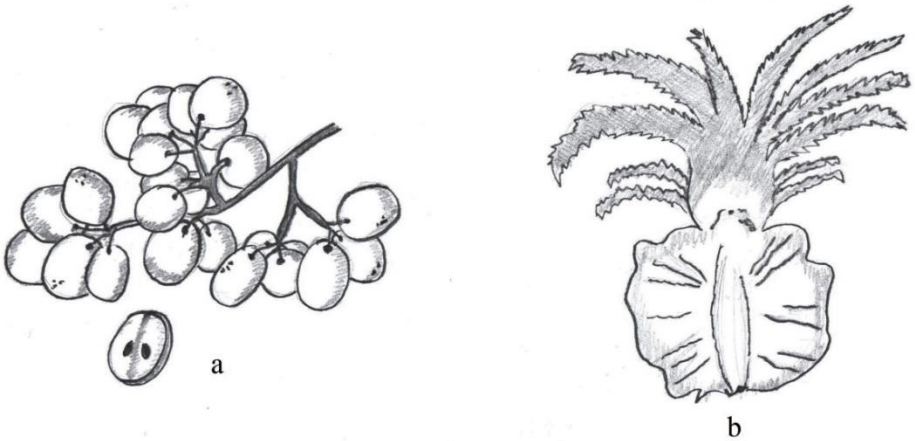
Tab. 4 Plodstvá a súplodia semenných rastlín v herbárovej a digitálnej zbierke

Evidenčné čísla	Charakteristika a zaradenie plodu	Taxón v herbárovej zbierke
H 076, F 076	**plodstvo bobúľ** (synkarpium) voľné plodolisty tvoriace jednotlivé bobule, zrastajú do kompaktného plodu, niekedy sú rozlíšiteľné steny bobúľ obsahujúce semená	*Rhus typhina*
H 077, F 077	**plodstvo nažiek na združenom lôžku** (concarpium toro succulento) jednotlivé plody spojené zväčšeným kvetným lôžkom	*Fragaria vesca*
H 078, F 078	**plodstvo nažiek v hypantiu** (concarpium hypanthio suffultum) súplodie nažiek nezrastené, spojené miskovite rozšíreným kvetným lôžkom	*Rosa canina*
H 079, F 079	**sykónium** (syconium) hruškovito zhrubnutá stonková časť súkvetia, v dutine ktorej sú uložené drobné nažky	*Ficus carica*
H 080, F 080	**plodstvo kôstkovičiek** (concarpium drupaceum) jednotlivé plody spojené, tesne k sebe priložené, plodstvo opadáva ako celok	*Rubus idaeus*
H 081, F 081		*Rubus fruticosus*
H 082, F 082	**spojené súplodie bobúľ** súbor zrastených bobúľ, ktorý vzniká zo súkvetia a opadáva bez kvetného lôžka	*Ananas comosus*
H 083, F 083	**voľné súplodie bobúľ** súbor voľných bobúľ, ktorý vzniká zo	*Sorbus aucuparia*
H 084, F 084		*Vitis vinifera*

H 085, F 085	súkvetia a opadáva bez kvetného lôžka	*Ligustrum vulgare*
H 086, F 086	**súplodie nažiek** súbor nažiek, ktorý vzniká zo súkvetia	*Helianthus annuus*



Obr. 5 Schémy vybraných typov plodstiev: a – plodstvo nažiek, b – plodstvo nažiek, c – sykónium, d – plodstvo kôstkovičiek (nákres M. Miková)



Obr. 6 Schémy vybraných typov súplodí: a – voľné súplodie bobúľ, b – spojené súplodie bobúľ (nákres M. Miková)

Diskusia

Pri štúdiu literatúry za účelom popisu plodov a ich kategorizácie sme zistili, že názory sa na túto problematiku veľmi rôznia. Niektorí autori, ako napr. Košťál et al. (1998) plynule nadväzuje a rozširuje poznatky Bobáka a spoluautorov (Bobák et al. 1992) a spoločne si za základ zobrali dielo Flóra Slovenska I. (Dostál et al. 1966). Iní autori vytvárajú nové, špeciálne, veľmi podrobné, niekedy až neprehľadné kategorizácie plodov (Slavíková, 2002).

Uvediem niekoľko nezrovnalostí pri domácich plodoch. Struk – nejednotnosť v názoroch je na počet plodolistov a spôsob otvárania plodu v čase zrelosti. Kuna a Košťál (2006) uvádzajú, že je to jednoplodolistový plod, ktorý sa otvára dvoma chlopňami od vrcholu na dol. Každá chlopňa zodpovedá polovici plodolistu. Podľa Bobáka a spoluautorov (Bobák et al. 1992) je struk plod, ktorý vzniká z dvoch plodolistov. K tomuto názoru sa prikláňa aj Slavíková (2002), ktorá dodáva, že každá chlopňa zodpovedá jednému plodolistu. Vo väčšine kategorizácií sú malvice zaradené k dužinatým plodom. Slavíková (2002) neuvádza malvice ako samostatnú kategóriu, lebo si zvolila za kritérium klasifikácie plodov typ gynecea a tak malvice zaraďuje do kategórie súplodia. Ďalším príkladom, ktorý môžeme uviesť je zaradenie plodov lipy *Tilia cordata* Mill. a *Tilia platyphyllos* Scop. Podľa Dostála a spoluautorov (Dostál et al. 1966) sú to viacplodolistové nažky, podľa Bobáka a spoluautorov (Bobák et al. 1992) sú to oriešky, ktoré napr. u *Tilia cordata* Mill. vznikajú z vrchného semenníka.

Záver

Vytvorili sme herbárovú a digitálnu zbierku plodov domácich a cudzokrajných rastlín. V tabuľkách pre jednotlivé kategórie plodov uvádzame vlastné charakteristiky, založené na ich anatomicko-morfologickom pozorovaní a pozorovaní herbárového materiálu. Naše praktické bádania boli postavené na rôznych teoretických publikáciách autorov ako Bobák et al. 1996, Mártonfi 2007, Slavíková 2002, Votrubová 2010 a iní, kľúčovou publikáciou pre nás bola Flóra Slovenska I (Dostál et. al. 1966).

Fotografická a herbárová zbierka autochtónnych a alochtónnych plodov semenných rastlín sa dá použiť ako názorná, praktická pomôcka pri výučbe morfológie plodov rastlín v rámci predmetu Anatómia a morfológia rastlín na vysokých školách prírodovedného zamerania, ale jej vybrané časti aj na hodinách biológie na gymnáziách a základných školách. Do budúcna však zostávajú mnohé otázky otvorené. Je potrebné predovšetkým vyriešiť nejednotnosť v kategorizáciách a charakteristikách niektorých plodov.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol s podporou projektu KEGA 049UMB-4/2016.

Zoznam použitej literatúry

BARANEC, T. – POLÁČIKOVÁ, M. – KOŠŤÁL, J. *Systematická botanika.* 1. vyd. Nitra : Vydavateľstvo UNIVERSUM v spolupráci s Nadáciou Ochrana genofondu rastlín, 1998. 206 s. ISBN 80-967111-2-1.

BOBÁK, M. – HUDÁK, J. – LUX, A. – SEKERKA, V. – SLADKÝ, Z. – ZÁBORSKÝ, J. *Botanika: Anatómia a morfológia rastlín.* Bratislava : Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1992. 397 s. ISBN 800-80-0687-0.

DOSTÁL, J. – FUTÁK, J. – NOVÁK, F. *Flóra Slovenska I.* 1. vyd. Bratislava : Slovenská akadémia vied, 1966. 602 s. ISBN 802-24-0189-7.

GÁPEROVÁ, S. - ROTH, P. *Anatómia a morfológia rastlín.* 2. upravené vyd. Banská Bystrica : Univerzita Mateja Bela, Fakulta prírodných vied, 2011. (na CD) 119 s. ISBN 978-80-557-0126-4.

KOŠŤÁL, L. – BOBÁK, M. – IKRÉNYI, I. – ĎURIŠOVÁ, Ľ. *Štrukturálna botanika.* Nitra : Vydavateľstvo UNIVERSUM v spolupráci s Nadáciou Ochrana genofondu rastlín, 1998. 152 s. ISBN 80-967949-0-6.

KUNA, R. – KOŠŤÁL, L. *Terminologický slovník biológie rastlín I. Cytológia, anatómia, morfológia.* Nitra : Fakulta prírodných vied UKF v Nitre, 2006. 120 s. ISBN 80-8094-069-X.

LHOTSKÁ, M. – KROPÁČ, Z. – MAGET, J. *Kapesní atlas semen/plodů a klíčních rostlin.* 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1985. 548 s. ISBN 14-120-85.

MÁRTONFI, P. *Systematika cievnatých rastlín.* 3. vyd. Košice : Vydavateľstvo UPJŠ, 2007. 220 s. ISBN 978-80-7097-694-4.

MLADÁ, J. – PROCHÁZKA, F. *Atlas cizokrajných rostlin.* 1. vyd. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1987. 342 s. ISBN 03/15-07-117-87.

NOWAK, B. – SCHULTZOVÁ, B. *Tropické plody.* Bratislava : Vydavateľstvo Ikar, a. s., 2002. 240 s. ISBN 80-551-0318-6.

SLAVÍKOVÁ, Z. *Morfologie rostlin.* 1. vyd. Praha : Karlova univerzita, 2002. 195 s. ISBN 80-246-0327-6.

VOTRUBOVÁ, O. *Anatomie rostlin.* 3. vyd. Praha : Karlova univerzita, 2010. 186 s. ISBN 978-80-246-1867-8.

MARHOLD, K. – HINDÁK, F. (eds.) 1998. *Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska*. [online]. Bratislava : VEDA, 1998. 2005 p. [cit 2016.02.21.] Dostupné na internete: http://ibot.sav.sk/checklist/. ISBN 80-224-0526-4.

Štruktúra a diverzita spoločenstiev pakomárov (Diptera: Chironomidae) malých vodných nádrží

Marcela PŘIDALOVÁ

Katedra biológie a ekológie PFV UMB, Tajovského 60, 97401 Banská Bystrica, e-mail: pridalova.marcelitta@gmail.com

Abstract: *Small and shallow waterbodies – ponds – are not very well known ecosystems that have been neglected by aquatic ecologists for a long time. The latest international research that had pointed out the role of ponds as biodiversity hotspots has resulted in increased interest in pond research also in Slovakia. Chironomidae represent the dominant part of makrozoobenthos in freshwater ecosystems, therefore they can serve as good model group for studying changes in pond biodiversity. The aim of the present study is to bring new knowledge on the distribution of non-biting midges (Diptera: Chironomidae) in selected ponds all over Slovakia, as well as the analysis of diversity changes in relation to main environmental gradients, such as altitude and size. Samples of makrozoobenthos were collected from 42 ponds from mid-April to late September 2013. In total, 2237 larvae of Chironomidae were recorded, belonging to 59 taxa of 5 subfamilies: Tanypodinae, Diamesinae, Prodiamesinae, Orthocladiinae and Chironominae. Chironomus plumosus gr. (occurring in 43% of sites), Procladius (Holotanypus) sp. (40%) and Cricotopus sylvestris gr. (29%) were occurring most frequently. The average diversity was six taxa per site and the number of taxa recorded in one pond ranged from 16 (Stráňany) to one (Boľkovce, Radôstka, Kováčovce a Horný Badín). The correlation between biodiversity and altitude shows a slightly increasing trend. Indeed, it is surprising and does not confirm the globally accepted trend of declining biodiversity with altitude. Our results also show an increase of diversity with increasing pond size. This is consistent with the theory of island biogeography which states that with increasing size of an island (or other isolated biotope) the potential diversity is rising as well. However, previous works devoted to biodiversity of ponds have usually not confirmed this relationship.*

Keywords: *Chironomidae, ponds, biodiversity, environmental gradients, larvae*

Úvod

Larvy pakomárov predstavujú významnú časť spoločenstva bentických bezstavovcov z hľadiska produkcie a druhovej bohatosti. Napriek tomu, že za ich evolučne pôvodný habitat sú považované studené prúdy vôd, dnes obývajú zástupcovia tejto čeľade rôzne typy tečúcich a stojatých vôd, ktoré sú v širokej škále abiotických podmienok. Niektoré druhy sú striktne viazané na určité stanovištia, iné sú ubikvistické. V tejto práci sa zaoberám biodiverzitou čeľade pakomárovitých v malých vodných nádržiach. Záujem o výskum malých vodných nádrží v poslednom čase vzrástol, pretože sa k nim objavili mnohé informácie (Céréghino 2014). Napriek tomu, že až 90% všetkých stojatých vôd má menšiu rozlohu ako 2ha im na Slovensku stále nie je prikladaný veľký význam (Hamerlík et al., 2013). Cieľom práce je vyhodnotenie druhového zloženia prostredníctvom determinácie lariev čeľade pakomárovitých a následná analýza zmien biodiverzity pozdĺž hlavných enviromentálnych gradientov.

1 Rozbor problematiky

1.1. Malé vodné nádrže

Malé vodné nádrže, v angličtine označované ponds, sú plytké vodné plochy s veľkosťou od 25 m^2 do 2 ha, ktoré trvalo alebo dočasne zadržiavajú vodu (Biggs et al. 2005). Ich maximálna hĺbka nie je väčšia ako 8 m (Oertli et al. 2000). Na rozdiel od jazier sú zvyčajne menšie a chýba im afotická zóna (Forel et al. 1904), a keďže v nich nie je vyvinutá profundálna zóna má to za následok potenciálne zarastanie celého dna vodným rastlinstvom (Sondergaard et al. 2005). Vznikli antropogénne alebo pôsobením prírodných síl a ich výskyt je celosvetovo rozsiahly. Nachádzajú sa prakticky vo všetkých suchozemských oblastiach, od polárnych púští až po tropické dažďové pralesy (Céréghino 2008). Celosvetovo existuje podľa odhadov 277 400 000 nádrží s veľkosťou menšou ako 1ha a ďalších 24 120 000 väčších ako 1ha. To znamená, že viac ako 90% stojatých vôd predstavujú malé vodné nádrže (Downing et al. 2006). Napriek ich početnému a rozsiahlemu výskytu boli ešte donedávna ignorované alebo považované za jazerá (E.P.C.N. 2007). Súčasné výskumy zamerané na ekosystémovú štruktúru a funkciu malých vodných nádrží však naznačujú, že sa malé vodné nádrže dajú na rozdiel od jazier vnímať ako odlišné ekosystémy . Hamerlík et al., 2014). Vzhľadom k tomu sa počas posledných rokov ich spoločenská hodnota čoraz viac menila, a dostávala sa do podvedomia (E.P.C.N. 2007).

V systéme fungovania existujú medzi malými, plytkými nádržami a väčšími vodnými plochami určité rozdiely. Bližší kontakt so suchozemským prostredím im umožňuje väčšiu výmenu hmoty a organizmov medzi sebou. V porovnaní s jazerami, majú bližšie k charakteru ostrova a sú izolovanejšie. Arktické pondy počas zimy vykazujú absenciu rýb a preto sú predátori zo skupiny bezstavovcov v týchto vodách významnejšími. Ich celková biodiverzita je vyššia, pretože ako celok predstavujú heterogénne prostredie, kde sa môže jeden pond výrazne líšiť od druhého. Povrch malých vodných nádrží môže byť celý pokrytý vegetáciou, pretože sú plytké a chránené pred vetrom (Søndergaard et al. , 2005).

Dôležitosť týmto nádržiam pridáva fakt, že sú významným miestom pre rastliny a živočíchy. Výskum vodných ekosystémov potvrdil, že v nich žije omnoho viac jedinečných a vzácnych druhov, ako v iných typoch vodných útvarov (Oertli et al. 2000), čím do veľkej mieri prispievajú k regionálnej biodiverzite sladký vôd (Williams et al. 2004). Na diverzitu malých vodných nádrží môže mať vplyv aj obsah kyslíka vo vode alebo ich poloha. Napríklad menšiu druhovú diverzitu má vodná nádrž vo vyššej nadmorskej výške, ako tá s výskytom v nižšej nadmorskej výške (Bitušík et al. 2006).

Malé vodné nádrže vďaka malému rozmeru zachytávajú viac uhlíka ako svetový oceán a tým zohrávajú dôležitú úlohu v globálnom uhlíkovom cykle. Okrem toho majú aj iné funkcie v oblastiach vzdelávania, hydrológie, kultúry a hospodárstva. Za posledných 100 rokov sa ich počet rapídne znížil (Søndergaard et al., 2005) a vplyvom poľnohospodárskej činnosti v krajine sa zredukovala vzájomná prepojenosť týchto biotopov (Hull 1997). Prepojenosť a hustota sietí malých vodných nádrží je dôležitá pre pretrvávanie metapopulácií vzácnych druhov. Na dynamiku malých vodných nádrží pôsobia niektoré regionálne a lokálne faktory. Medzi regionálne patrí napríklad morfológia, geológia (Johnson et al., 2004) a využívanie krajiny (De Meester et al., 2005). Pod lokálnymi faktormi rozumieme biotické interakcie, akými sú mutualizmus, kompetícia, predácia, ktoré pôsobia na štruktúru lokálnej diverzity zoobentosu.

Pre ľudí sú malé vodné nádrže významné z hľadiska rekreácie, rybolovu, vzdelávania, výskumu a iných prospešných činností (Hansson et al. 2005). Aj to je jedným z dôvodov na to, aby sa zvýšila ochrana týchto biotopov. Treba mať na vedomí, že ide o komplexný celok, nie len o ochranu konkrétneho, vlajkového druhu.

1.2. Bentos

Bentos je spoločenstvo organizmov, ktoré je viazané na dno tečúcich a stojatých vôd. Patria sem mikroorganizmy, rastliny a živočíchy žijúce na povrchu dne alebo v sedimente. Môžeme ho rozdeliť na fytobentos, ktorý tvorí rastlinnú zložku a zoobentos pod ktorý spadá živočíšna zložka. Ďalej sa rozdeľuje podľa veľkosti na mikrobentos (organizmy menšie ako 0,1mm), meiobentos (od 0,1mm do 1mm) a makrobentos, ktorý zahrňuje organizmy väčšie ako 1mm.

Medzi najčastejšie živočíchy, ktoré obývajú dno stojatých a tečúcich vôd patria larvy pakomárov (Diptera: Chironomidae) a iného vodného hmyzu, ale aj ploskulice (Turbellaria), máloštetinavce (Oligochaeta), kôrovce (Crustacea) a iné skupiny zahrnuté do makrobentosu. Larvy hmyzu sú viazané na vodu, ale štádium dospelca (imága) sa zvyčajne viaže na terestrické prostredie, preto počas roka ich početnosť vo vode výrazne kolíše. Ako príklad sa dá uviesť pokles počtu pakomárov behom sezóny z dôvodu vylietania dospelcov (imág). Zástupcov vodného hmyzu považujeme za sekundárne hydrobionty. Niektoré z nich sú druhovo zastúpené v malom počte, zatiaľ čo iné tvoria bohatstvo bentickej mikrofauny. V malých vodných nádržiach, patria k tým najbohatším práve pakomáre.

1.3. Charakteristika čeľade Chironomidae

Čeľaď pakomárovitých (Diptera: Chironomidae) patrí k najrozšírenejšej, najviac druhovo zastúpenej a najbohatšej čeľadi sladkovodného dvojkrídleho hmyzu (Diptera). Často tvorí v mnohých ekosystémoch dominantnú zložku všetkých živých organizmov. Ich ekologická valencia zahŕňa takmer všetky vodné ekosystémy a ich rola v trofickom reťazci je nenahraditeľná. Majú vysokú toleranciu k hydrologickým a ekologickým podmienkam (Armitage et al. 1995). Vďaka tomu je ich výskyt početný aj na stanovištiach s nepriaznivými podmienkami, ako je nízky obsah kyslíka. V takomto nepriaznivom biotope sú niekedy jedinou zastúpenou čeľaďou bezstavovcov, ktorá tu prežíva. Existujú druhy, ktoré obývajú biotopy s extrémnymi podmienkami, čo sa týka teploty, pH, hĺbky alebo rýchlosti prúdenia. Niektoré druhy sú natoľko rezistentné, že dokážu prežiť na ľadovcoch alebo vo veľkých nadmorských výškach (Kohshima et al. 1984, Saether &Willassen 1987). Ich pomerne úzka špecializácia a celosvetové rozšírenie, ich robia výbornými indikátormi znečistených vôd. Tiež sú významné v paleolimnologických rekonštrukciách minulých environmentálnych podmienok, na čo sa používajú hlavové kapsuly lariev uložené z jazerných sedimentoch (Cranston et al. 1995). Pre čeľaď Chironomidae je charakteristická rozmanitá druhová diverzita. Opísaných bolo približne 5000 druhov (Cranston & Martin 1989), ale celosvetovo sa ich počet odhaduje na 15 000 (Cranston et al. 1995). Čeľaď je rozdelená na11 podčeľadí: Aphroteniinae, Buchonomyiinae, Chilenomyinae, Chironominae, Diamesinae, Orthocladiinae, Podonominae, Prodiamesinae, Tanypodinae, Telmatogetoninae a Usambaromyiinae.

Pakomáre majú dokonalú premenu, ktorá sa skladá zo 4 životných štádií: vajíčko, larva, kukla a imágo (Pinder 1986). Po oplodnení samcom nakladie samica vajíčka s veľkosťou od 0,15 do 0,6 mm. Môže ich byť až 2000 a sú samičkou umiestňované na vodné rastliny, kamene, korene a iné substráty alebo priamo na vodnú hladinu. Samotné vajíčko je umiestnené v rôsolovitom obale, ktorý ho chráni pred vonkajším poškodením. Farba, tvar a veľkosť vajíčok je variabilná. Rýchlosť vývoja zárodku vo vajíčku závisí od teploty a trvá zvyčajne niekoľko hodín až niekoľko dní (Losos 1996, Lobinske et al. 2002, Vallenduuk & Moller Pillot 2007). Z vajíčka sa vyliahne larva prvého instaru nazývaná larvula, ktorá na rozdiel od larvy žije planktonicky. Tento vývoj slúži k lepšiemu horizontálnemu rozptýleniu lariev vo vodnom ekosystéme. Počas larválneho vývoja prechádzajú larvy pakomárov až 4 instarami. Doba trvania jednotlivých instarov je rôzna a úzko súvisí s abiotickými a trofickými podmienkami. Čím je však instar vyšší, tým je jeho vývoj dlhší v porovnaní s predošlým instarom.

Telo larvy je podlhovasté, valcovité a je zložené z troch častí, ktorými sú hlava (caput), hruď (thorax; tri články) a bruško (abdomen; desať článkov). Na hlave, ktorá je plne sklerotizovaná sa nachádzajú hlavné determinačné znaky. Rozličné tvary morfologických znakov sú charakteristické pre určité druhy. Po obidvoch stranách hlavy majú zvyčajne dva alebo viac párov očí. Členité tykadlá vybiehajú na prednú časť hlavy. Zložité ústne ústrojenstvo sa skladá z horného pysku (labrum). Na ňom sú umiestnené brvy (setae) epifaringu, ktorý je ohraničený skleritom v tvare U (ungula). Po jeho bokoch vychádzajú postranné a spodné brvy (chaetulae laterales et basales). Dokopy tieto znaky tvoria tzv. pecten epipharyngis. V ústnej dutine nájdeme premandibuly (u lariev podčeľade Tanypodinae sú značne redukované), čeľuste (maxillae) a čeľustné makadlá, ktoré nesú zmyslové brvy. Spodný pysk (labium) zdola uzatvára ústny otvor a pod ním je umiestnený hypofarinx. Uvedené morfologické útvary sú determinačnými znakmi prostredníctvom ktorých vieme pakomáre zaradiť do podčeľadí, rodov a druhov (Bitušík 2000, Losos 1996, Rozkošný & Lellák 1980, Vallenduuk & Pillot 2007)

2 Materiál a metodika

2.1 Charakteristika sledovaných lokalít

Vzorky, ktoré boli súčasťou výskumu v predkladanej bakalárskej práci sa odoberali na rôznych lokalitách v rámci projektu BIOPOND. Sledované lokality zvolil riešiteľský tím projektu na základe širokého spektra geografických a ekologických podmienok malých vodných nádrží, umiestených po celom Slovensku.

V tejto práci sú zahrnuté vzorky zo 43 lokalít, z ktorých každá mala iné geografické podmienky. Z hľadiska nadmorskej výšky najnižšie položenou lokalitou je Hraň nachádzajúca sa 100 m n. m. naopak najvyššie položené je Roháčske pleso nachádzajúce sa 1651 m n. m. Priemerná rozloha sledovaných lokalít sa vymerala na 0,254 ha a priemerná hĺbka dosiahla hodnotu 84,74 cm. Na lokalite s názvom Radôstka dosahovala najmenšiu hĺbku 3,5 cm a najhlbším pondom bolo Pusté pole, kde hĺbka siahala až na 215 cm. Priemerná ročná teplota biotopov sa pohybovala okolo 6,6°C. Plocha povodí malých vodných nádrží je v rozmedzí od 0,02 do 15091 ha pričom priemer sa rovná hodnote 550 ha s priemerným sklonom 10,11 stupňov. Ostatné charakteristiky študovaných lokalít sú uvedené v tabuľke č.1.

V tabuľke č.2 sú uvedené geograficko-ekologické podmienky. Hodnoty pH študovaných malých vodných nádrží sa pohybovali v rozmedzí 5.61-9,16 pričom robili priemer 7,23. Z hľadiska chemických prvkov mal najväčšiu priemernú hodnotu fosfor.

Tab. 1: Súhrn charakteristík študovaných malých vodných nádrží a ich povodí (Novikmec et al., submitted).

premenné	Jednotky	Priemer	Min	Max
Fyzikálna štruktúra povodí				
Plocha povodia	ha	549,61	0,02	15091,2
Priemerný sklon	stupeň	10,11	0,44	27,52
Malé vodné nádrže: topografia				
Nadmorská výška	m	578,62	100	1651
Plocha	ha	0,254	0,0017	1,7025
Priemerná hĺbka	cm	84,74	3,5	215
Miestna klíma				
Ročné zrážky	mm	696,32	445	1485
Priemerná ročná teplota	°C	6,6	0,9	9,5

Tab. 2: Fyzikálno-chemické charakteristiky vody a pôdy študovaných malých vodných nádrží (Novikmec et al., submitted)

Premenné	Jednotky	Priemer	Minimum	Maximum
Voda				
pH		7,32	5,61	9,16
Vodivosť	$\mu S.cm^{-1}$	397	8	1803
NH4	$mg.l^{-1}$	0,45	0,01	2,40
NO3	$mg.1^{-1}$	0,57	<0,01	5,66
NO2	$mg.1^{-1}$	0,06	<0,01	0,34
PO4	$mg.1^{-1}$	0,27	<0,01	2,06
Ca	$mg.1^{-1}$	26,9	0,31	110
Fe	$\mu g.1^{-1}$	46,8	0,5	303
K	$mg.1^{-1}$	5,12	0,06	73,51
Mg	$mg.1^{-1}$	15,58	0,09	105,65
Na	$mg.1^{-1}$	10,69	0,17	95,27
P	$\mu g.1^{-1}$	108,2	0,5	862
S	$mg.1^{-1}$	14,43	0,5	126
Pôda				
pH		6,16	3,99	8,22
Vodivosť	$\mu S.cm^{-1}$	609,67	67,62	2348
NH4	$\mu g.1^{-1}$	58,89	10,6	213
NO3	$\mu g.1^{-1}$	1,53	<0,01	11,72
NO2	$\mu g.1^{-1}$	0,31	<0,01	1,71
PO4	$\mu g.1^{-1}$	44,05	5	176,8

2.2 Terénne práce

Odber dát spracovaných v predkladanej bakalárskej práci bol uskutočnený členmi projektu BIOPOND v období od polovice apríla do konca septembra 2013. Na každej lokalite sa pred odberom merali pomocou prístroja WTW Multi 340i fyzikálno-chemické parametre, akými sú: pH, teplota, obsah kyslíka, nasýtenie kyslíkom a vodivosť . Kvôli reprezentatívnosti údajov bolo potrebné odobrať dve vzorky materiálu na dvoch odlišných miestach pondu. Na odber bentických organizmov bola na všetkých lokalitách použitá modifikovaná metodika PLOCH (Oertli et al., 2005). Najprv sa pomocou siete s rozmermi 14 x 10cm s veľkosťou oka 0,5 mm na sledovaných lokalitách zistili proporcionálne zastúpenia jednotlivých typov habitatov. Neskôr sa získali čiastkové vzorky pomocou prehrabávania habitatu, počas 30-tich sekúnd bola získaná jedna vzorka. Pri odbere bolo zaznamenaných niekoľko habitatov v podobe rozličných foriem vodných makrofytov, depozície organického materiálu ale aj anorganického sedimentu. Od veľkosti jednotlivých pondov primárne záviselo množstvo čiastkových vzoriek a od ich pomerného zastúpenia sa odvodilo množstvo jednotlivých habitatov. Následne sa všetky čiastkové vzorky spojili do jednej kompozičnej vzorky ktorá sa konzervovala 4% formaldehydom. Následne bola vzorka prenesená do priestorov Prírodovedeckej Fakulty Univerzity Mateja Bela, kde boli ďalej spracovávané štandardnými postupmi.

2.3. Laboratórne práce

V laboratóriu bola vzorka ručne separovaná a pomocou binokulárnej lupy a rozdelená do skupín. Od celkového počtu čiastkových vzoriek kompozičnej vzorky závisela časová náročnosť separácie. Ak bola jedným človekom separovaná jedna čiastková vzorka, separácia trvala hodinu, zatiaľ čo pri vyššom počte ľudí by sa doba separácie úmerne skrátila. Na triedení organizmov sa podieľali študenti

FEE TU vo Zvolene a FPV UMB v Banskej Bystrici, ktorí sú súčasťou riešiteľského tímu projektu BIOPOND. Následne boli larvy pakomárov rozdelené do rovnakých taxonomických skupín a zakonzervované 75% roztokom etanolu. Pomocou binokulárnej lupy, preparačných ihiel, krycích sklíčok (22x22 mm) a Berlésehovho zalievacieho média boli vzorky pakomárov ukladané do trvalých preparátov. Na záver boli vzorky prostredníctvom svetelného mikroskopu determinované na najnižšiu možnú taxonomickú úroveň. Pri determinácií boli použité určovacie kľúče Wiederholm (1983), Bitušík (2000) a Bitušík a Hamerlík (2014). Diverzita pakomárov sa charakterizovala v závislosti od počtu taxónov, ktoré boli zaznamenané na jednotlivých pondoch.

2.4 Analýza údajov

Počet taxónov zaznamenaných na jednotlivých pondoch vyjadrujú celkovú diverzitu čeľade pakomárovitých. Vzťah diverzity malých vodných nádrží od rozlohy a nadmorskej výšky je v tejto práci vyjadrený pomocou lineárnej regresie.

3 Výsledky

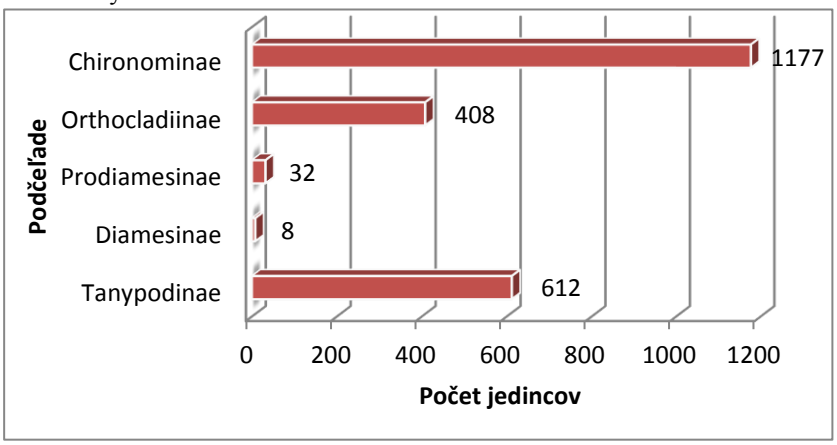
V predkladanej práci bolo spracovaných 2237 lariev pakomárov zo 42 pondov z územia celého Slovenska. Celkovo bolo určených 57 taxónov ktoré spadajú pod 5 čeľadí a to Chironominae (24 taxónov), Orthocladiinae (16 taxónov), Tanypodinae (15 taxónov), Prodiamesinae (1 taxón) a Diamesinae (1 taxón). Podčeľaď Chironominae bola v malých vodných nádržiach s počtom 1177 jedincov dominujúcou s percentuálnym vyjadrením 52,6% z celkového počtu jedincov. Medzi najčastejšie vyskytujúce sa taxóny patria *Chironomus plumosus* gr. (s výskytom v 43% lokalít), *Cricotopus sylvestris* (28,6%) a *Procladius* (*Holotanypus*) sp. (40%). Naopak taxónmi zastúpenými len na jednej lokalite boli *Clinotanypus* cf. *nervosus*, *Paramerina* sp., *Tanypus kraatzi*, *Tanypus vilipennis*, *Trissopelopia* sp., *Pseudodiamesa branickii*, *Brillia bifida*, *Cricotopus* cf. *cylindraceus*, *Cricotopus* sp., *Limnophyes* sp., *Orthocladius frigidus*, *Orthocladius oblidens/obumbratus*, *Cryptotendipes* sp., *Endochironomus* gr. *albipennis*, *Endochironomus* sp., *Phaenopsectra* sp., *Zavreliella marmorata* a *Cladotanytarsus mancus* gr. Tabuľka č.2 uvádza prehľad taxónov jednotlivých pondov. Priemerná diverzita bola 6 taxónov na lokalitu, pričom maximálny počet taxónov zistených na jednej lokalite bolo 16 (Stráňany) a minimálny jeden (Boľkovce, Radôstka, Kováčovce a Horný Badín. Zaznamenaný v nich bol jeden jedinec s výnimkou Horného Badína v ktorom sa našli dva jedince.

Diverzity zistené na jednotlivých lokalitách sme porovnávali vo vzťahu k nadmorskej výške a k rozlohe malých vodných nádrží.. Zistili sme, že taxonomické bohatstvo pakomárov s narastajúcou nadmorskou výškou mierne stúpa.

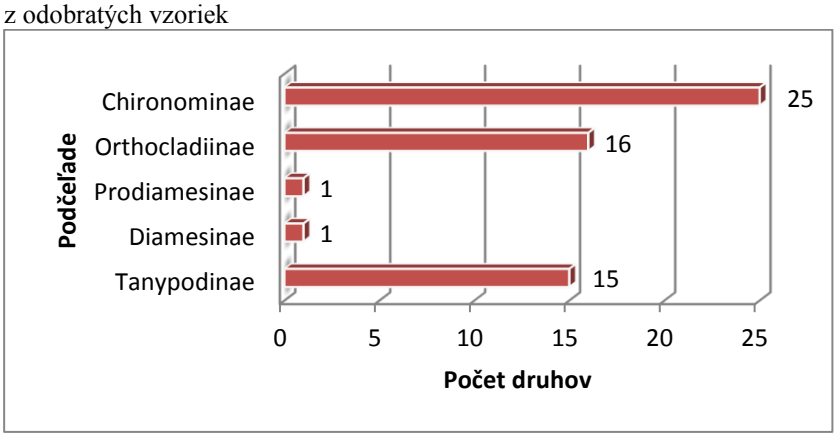
Tab. 3: Prehľad taxonomického zloženia pondov a ich abundancie.

BP kód	50	51	52	53	55	56	57	58	59	60	61	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86	87	88	89	90	91	92	93	94
Larvy	Bors ký	Bud ča	Ban ská	Čer v.	Det v.	Tiso vec	Polt ár	Veľ ký	Boľ kov	Holi ša	Háj nač	Ge m.	Zve rov	Rab ča	Rad ôst	Pár nica	Koš ť.	Blat nica	Koš	Pod ban	Rev úca	Pus té	Stra	Mur áň	Strá ňan	Hra ň	Ičo	Sla nec	Dvo ry	Ip. Pre	Kov áčo	Hor ný	Bab iná	Kun era	Kun era	Kun era	Mo ško	Čier .	Veľ. biel	Roh áč.	Vyš .rak	Smr ek.
	####	8.7.	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	13.7	13.7	13.7	13.7	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	21.5	###	26.8	26.8	###	###	###	###	###	###	###	###	###
Tanypodinae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ablabesmyia longistyla (Fittkau, 1962)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	13	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Ablabesmyia monilis (Linnaeus, 1758)/*phatta* (Egger, 1864	-	-	-	-	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apsectrotanypus trifascipennis (Fittkau, 1962)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clinotanypus cf. *Nervosus* (Meigen, 1818)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conchapelopia spp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Macropelopia spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	1	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	22	-	-	-
Monopelopia tenuicalcar (Fittkau, 1962)	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paramerina sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Procladius (Holotanypus) sp.	-	-	1	-	44	-	-	-	-	5	-	-	38	-	-	24	-	16	-	-	2	-	-	1	3	-	6	-	-	-	-	-	-	6	3	-	1	10	-	20	20	72
Psectrotanypus varius (Fabricius, 1787)	-	3	-	-	-	-	-	27	-	-	-	7	-	-	-	-	16	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tanypus kraatzi (Kieffer, 1912)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tanypus vilipennis (Kieffer, 1918)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trissopelopia sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xenopelopia cf. *falcigera* (Kieffer, 1911)	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zavrelimyia spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	8	-	12	-	-	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	4	-	28	-	1	8	-	-
Diamesinae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pseudodiamesa branickii (Nowicki, 1873)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodiamesinae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prodiamesa olivacea (Meigen, 1818)	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	8	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Orthocladiinae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acricotopus lucens (Zetterstedt, 1850)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	-	-	-	-	2	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brillia bifida (Kieffer, 1909)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corynoneura scutellata gr. (Winnertz, 1846)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Cricotopus cf. *cylindraceus* (Kieffer, 1908)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cricotopus fuscus gr. (Kieffer, 1909)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4	-	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
Cricotopus sylvestris gr. (Fabricius, 1794)	-	-	1	4	-	-	1	3	-	-	-	6	-	2	-	-	2	4	-	-	3	37	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Cricotopus sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heterotrissocladius marcidus (Walker, 1856)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chaetocladius piger gr. (Goetghebuer, 1913)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Limnophyes sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metriocnemus hygropetricus gr. (Holmgren, 1883)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Orthocladius frigidus (Zetterstedt, 1838)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orthocladius oblidens (Walker 1856) /obumbratus	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Psectrocladius (Allopsectrocladius) sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
Psectrocladius limbatellus gr. (Walker 1856)	-	-	-	-	28	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Psectrocladius sordidellus gr. (Zetterstedt, 1838)	-	-	-	11	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-
Chironominae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chironomini	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chironomus anthracinus typ 1 (Zetterstedt, 1860)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
Chironomus anthracinus typ 2 (Zetterstedt, 1860)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	188	72	12
Chironomus plumosus gr. (Linnaeus, 1758)	3	28	1	1	8	1	1	39	-	-	1	-	-	-	-	-	1	24	-	-	9	-	-	-	1	8	-	-	8	-	-	-	1	-	-	-	3	-	-	-	-	20
Cryptotendipes sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dicrotendipes lobiger (Kieffer, 1921)	-	-	-	10	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dicrotendipes nervosus (Stæger, 1839)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dicrotendipes notatus (Meigen, 1818)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endochironomus cf. *albipennis* (Meigen, 1830)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endochironomus cf. *tendens* (Fabricius, 1775)	-	-	-	-	-	-	1	-	-	7	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	36	4	-	32	1	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endochironomus sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Glyptotendipes spp.	3	-	-	8	-	-	-	-	-	45	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	16	-	-	-	1	-	-	4	7	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kiefferulus tendipediformis (Goetghebuer, 1921)	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microtendipes pedellus gr. (De Geer, 1776)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-	-	-	-	5	8	5	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	6	11	-
Parachironomus arcuatus gr. (Goetghebuer, 1936)	1	-	-	-	-	-	-	2	-	3	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	5	-	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Phaenopsectra sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polypedilum nubeculosum gr. 1 (Meigen, 1804)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	2	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Polypedilum nubeculosum gr. 2 (Meigen, 1804)	-	-	-	3	12	-	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Polypedilum sordens gr. (van der Wulp, 1874)	-	-	-	2	-	-	-	-	-	21	-	-	-	-	1	21	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Synendotendipes sp.	-	-	-	-	8	28	-	-	-	3	-	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	14	11	-	-	28
Zavreliella marmorata (van der Wulp, 1858)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tanytarsini	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cladotanytarsus mancus gr. (Walker, 1856)	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Micropsectra spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	1	-	11	-	-	-
Paratanytarsus spp.	-	-	-	4	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	16	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	1	-	-	-	-
Tanytarsus spp.	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	6	-	-	-	-	-	-	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-
Chironomidae indet.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celkový počet taxónov	5	2	6	9	7	3	4	4	1	11	3	4	4	3	1	10	8	9	2	6	14	10	15	12	16	9	3	2	4	2	1	1	3	8	4	2	10	6	7	4	3	4
Celková abundancia	10	31	6	44	180	31	6	71	1	107	6	62	99	4	1	114	30	176	8	96	80	96	65	90	65	34	8	9	17	2	1	2	5	36	9	2	58	28	90	222	103	132

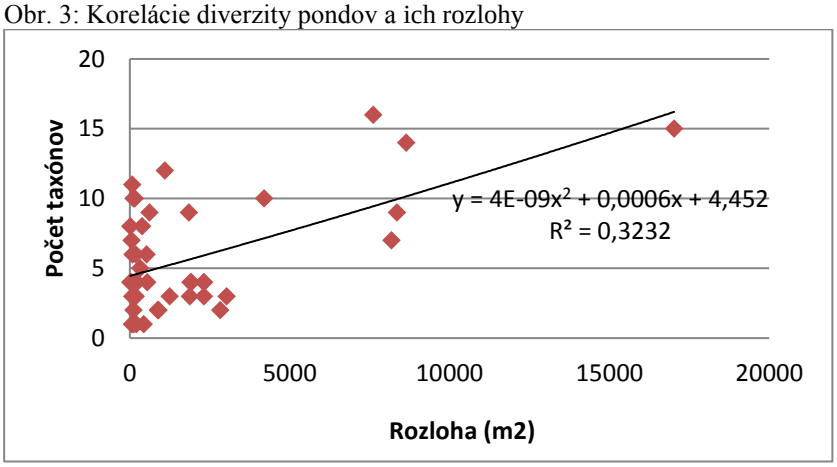
Obr. 1: Zastúpenie taxonomických skupín z hľadiska počtu jedincov získaných z odobratých vzoriek



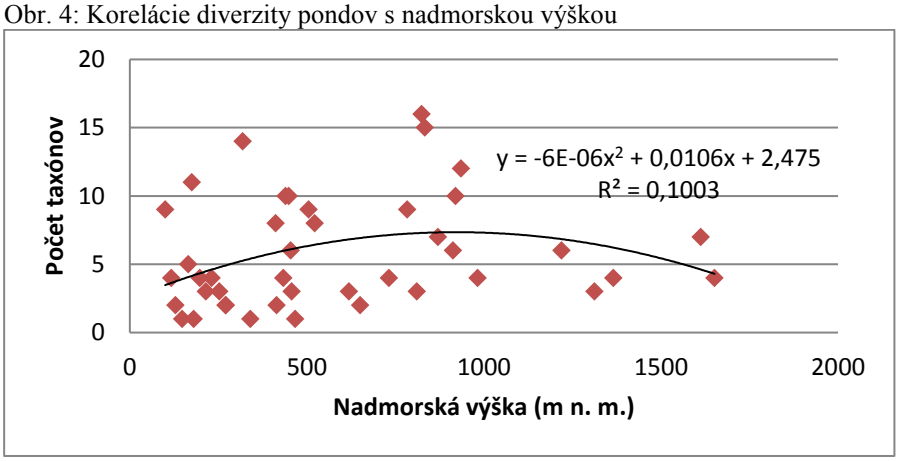
Obr. 2: Zastúpenie taxonomických skupín z hľadiska počtu druhov získaných z odobratých vzoriek



Obr. 3: Korelácie diverzity pondov a ich rozlohy



Obr. 4: Korelácie diverzity pondov s nadmorskou výškou



4 Diskusia

Čeľaď pakomárovitých (Diptera: Chironomidae) je najrozšírenejšou a najviac druhovo zastúpenou čeľaďou sladkovodného dvojkrídleho hmyzu (Diptera).V mnohých ekosystémoch tvorí dominantnú zložku všetkých živých organizmov (Armitage et al. 1995). V predkladanej práci sa najčastejšie vyskytovali taxóny *Chironomus plumosus* gr. a *Procladius* (*Holotanypus*) sp. Ich častý výskyt je spôsobený ich širokou ekologickou valenciou, keďže prostredia pondov je veľmi premenlivé a organizmy, ktoré ich osídľujú sa musia vyrovnať s výraznými zmenami teploty, kyslíkových pomerov, pH a pod. Navyše, environmentálne faktory sa menia signifikantne nie len počas roka, ale aj diurnálne Ďalším často vyskytujúcim druhom bol *Cricotopus sylvestris* gr..Jeho frekventovaný výskyt je odôvodnený viazanosťou na makrofyty (Moog 1995), ktoré sa hojne vyskytovaliv sledovaných pondoch. Veľmi početnou skupinou boli predátori (Tanypodinae). Ich početný výskyt v pondoch je prekvapujúci, ale Søndergaard et al. (2005) uvádzajú, že vďaka nadmernému vysychaniu a zimnému zamŕzaniu sa v pondoch často chýbajú ryby, čo spôsobuje zvýšený počet predátorov zo skupín bezstavovcov. Pondy sú rozlohovo a priori malé vodné telesá a teda pomer terestrického prostredia a vodného prostredia je u nich vysoký. Dôsledkom je, že semiterestrické druhy (napr. druhy rodov *Metricnemus, Limnophyes a Chaetocladius*) sú dôležitou súčasťou spoločenstiev pondov.

Spoločenstvá stojatých vôd sú zvyčajne tvorené limnofilnými až limnobiontnýmidruhy, avšak v skúmaných pondoch sa našlo relatívne veľa reofilných taxónov (napr. *Conchapelopia* sp., *Zavrelimyia* sp. a iné). Môže to byť spôsobené vplyvom silného prítoku ale aj slabím taxonomickým rozlíšením. Napr. väčšina druhov rodu *Zavrelimyia* je rheofilných, ale niektoré sú limnofilné (Moog 1995, Bitusik a Hamerlik 2003). Pri larválnej determinácii však nedokážeme rozlíšiť jednotlivé druhy a strácame ekologickú informáciu.

Malé vodné nádrže v nižšej nadmorskej výške majú chudobnejšiu rozmanitosť ako tie vo vyššej nadmorskej výške (Bitušík et al. 2006), avšak korelácie zahrnuté v tejto práci nepotvrdzujú známe klesanie diverzity pozdĺž nadmorskej výšky (Boggero et al., 2006). Pondy nachádzajúce sa vo vyššej nadmorskej výške majú v porovnaní s jazerami niekoľko odlišností (Catalan et al. 2009; Hamerlík et al., 2014),vzhľadom k svojej malej veľkosti na rozdiel od jazier predstavujú izolované a vysoko heterogénne systémy, ktoré sú citlivejšie na environmentálne zmeny, takže je pravdepodobné, že ich reakcia na gradient nadmorskej výšky je iná ako u jazier (Hinden, 2005;. Novikmec et al, 2013). Existuje niekoľko štúdií zameraných na druhovú bohatosť pondov pozdĺž nadmorskej výšky a sú pomerne rozporuplné. Niektoré hlásia prudký pokles druhovej bohatosti (Oertli et al, 2000;. Hinden et al 2005; Ilg & Oertli, 2014), iným sa nepodarilo nájsť vzťah medzi nadmorskou výškou a diverzitou (Martinez-Sanz et al., 2012). Diverzita čeľade Chironomidae sa výrazne zvyšovala so zväčšujúcou sa plochou pondu. To je v súlade s teóriou ostrovnej biogeografie, z ktorej vyplýva, že s veľkosťou ostrova (v našom prípade pondu) sa zvyšuje jeho druhová rozmanitosť, avšak doterajšie práce venované biodiverzite pondov tento vzťah zvyčajne nenašli.

5 Záver

Výskum prezentovanej práce sa zaoberá diverzitou čeľade pakomárovitých vybraných malých vodných nádrží na území Slovenska. V úvodnej časti sa zo 43 lokalít vyhodnotila Štruktúra spoloćenstiev pakomárov a ich celková diverzita. Určených bolo 2175 jedincov spadajúcich do 59 taxónov ktoré patrili celkovo do piatich podčeľadí: Tanypodinae, Diamesinae, Orthocladiinae a Chironominae. Následne prebehla analýza diverzity sledovaných lokalít vo vzťahu s rozlohou a nadmorskou výškou. Zistili sme, že biodiverzita čeľade pakomárovitých do istej nadmorskou výšky narastá a potom klesá, čo však nepotvrdzuje známe klesanie diverzity pozdĺž gradientu nadmorskej výšky (Boggero et al., 2006). Ďalej sa zistil pozitívny vzťah medzi rozlohou pondu a diverzitou. So zväčšujúcou sa veľkosťou plochy prudko narastala biodiverzita, čo je v súlade s teóriou ostrovnej biogeografie.

Literatúra

ARMITAGE P.D. & CRANSTON P.S. & PINDER L.C.V (eds) 1995: The Chironomidae: Biology and ecology of nonbiting midges. Chapman & Hall, London.

Boggero, A., L. Füreder, V. Lencioni, T. Simcic, B. Thaler, U. Ferrarese, A. F. Lotter & R. Ettinger, 2006. Littoral chironomid communities of Alpine lakes in relation to environmental factors. Hydrobiologia 562: 145–165.

BIGGS, J., WILLIAMS, P., WHITFIELD, M., NICOLET, P., WEATHERBY, A., 2005: 15 years of ponds assesment in Britain: results and lessons learned from the work of Pond Conservation. Aquatic Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst., 15: 693–714.

BITUŠÍK, P., SVITOK,M., KOLOŠTA P., HUBKOVÁ M., 2006: Classification of the Tatra Mountain lakes (Slovakia) using chironomids (Diptera, Chironomidae). Biologia, Bratislava, 18: 191–201

BITUŠÍK P. 2000: Príručka na určovanie lariev pakomárov (Diptera: Chironomidae) Slovenska. Technická univerzita ve Zvolenu, Zvolen

Catalan, J., M. G. Barbieri, F. Bartumeus, P. Bitušík, I. Botev, A. Brancelj, D. Cogălniceanu, M. Manca, A. Marchetto, N. Ognjanova-Rumenova, S. Pla, M. Rieradevall, S. Sorvari, E. Štefková, E. Stuchlík & M. Ventura, 2009. Ecological thresholds in European alpine lakes. Freshwater Biology 54: 2494–2517.

CÉRÉGHINO, R., BIGGS, J., OERTLI, B., DECLECK, S., 2008: The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. Hydrobiologia, 597(1): 1v6.

Cranston, P.S. 1995. Introduction. In: Armitge,P. D, Cranston, P.S. & Pinder, L.C.V. (eds) The Chironomidae. The biology and ecology of non–biting midges. Chapman & Hall, London, Glasgow, Weinheim, N.Y., Melbourne, Madras,1995, 2–7

DE MEESTER, L., DECLERCK, S., STOKS, R., LOUETTE, G., VAN DEMEUTTER, F., DE BIE, T., MICHELS, E. & BRENDOCK, L., 2005: Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 15(6): 715–725.

DOWNING J.A., PRAIRIE Y.T., COLE J.J., DUARTE J.M., TRANVIK L.J., STRIEGL R.G., MCDOWELL W.H., KORTELAINEN P., CARACO N.F., MELACK J.M. AND MIDDELBURG J.J., 2006: The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. Limnol. Oceanogr. 51, 2388–2397.

E.P.C.N. (European Pond Conservation Network) 2007: Developing the pond manifesto. Annales de Limnologie-Internat. J. Limnol. 43: 221–232.

FOREL, F.A.m 1904: Le Le´man. Monographie Limnologique, vol. 3. Slatkine reprints 1969: Geneva.

HAMERLÍK, L., SVITOK, M., NOVIKMEC, M., OČADLÍK, M., BITUŠÍK, P., 2013: Diversity patterns of benthic macroinvertebrates in high altitude waterbodies along hierarchical spatial scales: Do ponds differ from lakes? Hydrobiologia, 723: 41–52

Hamerlík L., Svitok M., Novikmec M., Očadlík M., & Bitušík P. 2014. Local, among-site, and regional diversity patterns of benthic macroinvertebrates in high altitude waterbodies: do ponds differ from lakes? Hydrobiologia, 723(1): 41-52.

HANSSON, L.A., BRONMARK, C., NILSSON, P.A., ABJORNSSON, K., 2005: Conflicting demands on wetland ecosystem services: nutrient retention, biodiversity or both? Freshwater Biology, 50: 705–714.

HULL, A., 1997: The pond life project: a model for conservation and sustainability. British Pond Landscape, Proceedings from the UK Conference of the Pond Life Project, Boothby J (ed.). Pond Life Project: Liverpool, pp.101–109

JOHNSON, R.K., GOEDKOOP, W., SANDIN, L. 2004: Spatial scale and ecological relationships between the macroinvertebrate communities of stony habitats of streams and lakes. Freshwater Biology, 49: 1179–1194

Kohshima, S. (1984): Novel cold-tolerant insect found in a Himalayan glacier. Nature, 310, 225-227.

LACHAVANNE, 2005: PLOCH a standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 15: 665–679.

LOSOS B. 1996: Klíč k určování larev pakomárovitých (Chironomidae). Masarykova Univerzita, Brno

LOBINSKE R.J. & Ali A. & FROUZ, J. 2002: Laboratory Estimation of Degree-Day Developmental Requirements of Glyptotendipes paripes (Diptera: Chironomidae). Environ. Entomol. 31(4), 608-611.

NOVIKMEC, M., SVITOK, M., HAMERLÍK, L., HRIVNÁK, R., KOCHJAROVÁ, J., OBOŇA, J., OČADLÍK, M., OŤAHELOVÁ, H., PAĽOVEBALANG, P., 2012: Projekt BIOPOND. In KUBOVČÍK, V,. STAŠIOV, S., (eds.): Zborník príspevkov z vedeckého kongresu „Zoológia 2012“/ 18. Feriancove dni, Technická Univerzita vo Zvolene, 22. – 24. november 2012, pp. 124

OČADLÍK, M., SVITOK, M., NOVIKMEC, M., HAMERLÍK, L., BITUŠÍK, P., 2012: Je medzi nimi rozdiel? Diverzita a štruktúra litorálneho bentosu tatranských vysokohorských pliesok a plies. In: KUBOVČÍK, V., STAŠIOV, S., 37(eds.) Zborník príspevkov z vedeckého kongresu „Zoológia 2012“, 18. Feriancove dni, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, pp. 127

OČADLÍK, M., SVITOK, M., NOVIKMEC, M., HAMERLÍK, L., BITUŠÍK, P., 2013: Funkčné charakteristiky spoločenstiev bentosu vysokohorských jazier – rozdiely medzi plesami a plieskami. In: BRYJA, J., ŘEHÁK, Z., ZUKAL, J., (eds.) Zoologické dny Brno 2013, Sborník abstraktů z konference 7.-8. února 2013, pp. 164–165.

OERTLI, B., AUDERSET JOYE, D., CASTELLA, E., JUGE, R., LACHAVANNE J.-B. 2000: Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape, Laboratory of Ecology and Aquatic Biology, University of Geneva, Geneva: 434 pp.

OERTLI B., D. AUDERSET JOYE, E. CASTELLA, R. JUGE, A. LEHMANN& J. B. LACHAVANNE, 2005: PLOCH a standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 15: 665–679.

PINDER L.C.V. 1986: Biology of Freshwater Chironomidae. First Page Image Annual Review of Entomology 31: 1-23.

ROZKOŠNÝ R. (eds) 1980: Klíč vodních larev hmyzu. Academia, Praha

Saether, O.A. and E. Willassen (1987) Four new species of Diamesa Meigen, 1835 (Diptera, Chironomidae) from glaciers of Nepal. Entomol. Scand., Suppl., 29: 189-203

SØNDERGAARD, M., JEPPESEN, E., JENSEN ,J.P., 2005: Pond or lake: does it make any difference? Archiv für Hydrobiologie, 162: 143–165.

VALLENDUUK H.J. & PILLOT H.K.M.M. 2007: Chironomidae Larvae of the Netherlands and Adjacent Lowlands: General ecology and Tanypodinae. KNN Publishing, Zeist.

WILLIAMS P., WHITFIELD M., BIGGS J., BRAY S., FOX G., NICOLET P., SEAR D., 2004: Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. Biol. Conserv. 115: 329–341.

Morfometrické charakteristiky dominantných drevín na ortuťovej banskej halde Veľká studňa pri Malachove

Veronika SEMANÍKOVÁ, Ingrid TURISOVÁ

Katedra biológie a ekológie FPV UMB, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica

Abstract: Morphometric characteristics of dominant tree species on Hg dump field Veľká Studňa near Malachovo village: *The goal of this work is to analyze and examine the impact of heavy metals on wood. The work focuses on determining morphometric characteristics of selected tree species (Picea abies, Betula pendula and Corylus avellana) occurring in mining heap Veľká studňa near Malachov (the Kremnické vrchy Mts) and comparison with the trees from reference area Boguš (the Čergovské pohorie Mts). Emphasizes the differences in the measured attributes, evaluates the statistical method Student's t-test and indicators mean values. The main object of the analysis is to identify the statistically significant difference at 99% confidence level for the measured morphometric characteristics: the length of the needles, size and length of the leaf stalks. Achieving results confirm the hypothesis of exposure to heavy metals on the growth of plants, and demonstrates the impact on habitat endpoints dendroflora.*

Keywords: *morphometric characteristics, mining heap, heavy metals, mercury, Picea abies, Betula pendula, Corylus avellana, Malachov, Boguš*

Úvod

Aktívna banská činnosť na Slovensku zanechala v krajine výrazné stopy. Vytvárali sa rôzne banské diela, haldy a ložiská. Následne s odstupom času sa na týchto miestach začala vyvíjať prvotná sukcesná vegetácia, ktorá je výrazne ovplyvnená ekologickými podmienkami. Flóru starých banských háld limituje výskyt toxických látok, čo vplýva na ich morfologické a anatomické vlastnosti. V dôsledku kontaminácie tu môžu rásť len tie rastliny, ktoré sú schopné vytvárať osobitnú stratégiu a rôzne mechanizmy, umožňujúce im prežiť špecifické podmienky (Banásová, 1976; Banásová a Hajdúk, 2006; Banásová et al., 2007).

Cieľom predkladaného príspevku je zistiť vplyv ťažkých kovov na vybrané morfologické charakteristiky dominantných drevín na ortuťovej banskej halde Veľká studňa (obr. 1) pri Malachove (Kremnické vrchy) a porovnať ich s rovnakými druhmi vyskytujúcimi sa na nekontaminovanej pôde na lokalite Boguš (obr. 2) v Čergovskom pohorí.

Obr. 1: Halda Veľká studňa pri Malachove

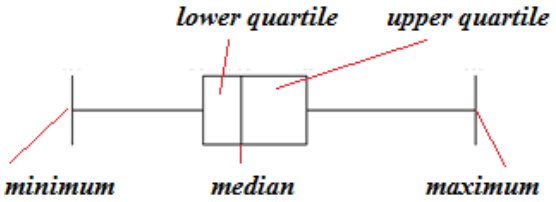
Obr. 2: Referenčná plocha Boguš v Čergovskom pohorí

Materiál a metodika

Modelovými drevinami bol smrek obyčajný (*Picea abies*), breza previsnutá (*Betula pendula*) a lieska obyčajná (*Corylus avellana*). Merania sme uskutočnili na 20 jedincoch z každého sledovaného druhu tak na banskej halde, ako aj na referenčnej ploche. Na každom jedincovi smreka obyčajného sme merali 25 ihlíc (5 ihlíc z jedného konára, pričom meraných konárov bolo vždy 5). Spolu sme získali 500 údajov. Dĺžka ihlice sa merala od bázy ihlice po jej vrchol. Merané boli vždy dvoj-a viacročné ihlice zo spodnej časti koruny. Pri listnatých drevinách sme na každom jedincovi merali 25 listov (po 5 listoch na každom z 5 konárov; spolu 500 údajov). Sledovala sa dĺžka listovej čepele od bázy k apikálnemu koncu, šírka listovej čepele v najširšom mieste a dĺžka listovej stopky. Na meranie veličín sme používali posuvné meradlo s presnosťou 0,05 mm.

Na zhodnotenie rozdielov v meraných charakteristikách medzi jedincami z kontaminovanej plochy a referenčnej plochy sme využili štatistické vyhodnotenie použitím Studentovho t-testu. Základné ukazovatele variability, stredných hodnôt a aritmetické priemery sme zisťovali pomocou programu Microsoft Excel funkciou Analýza dát. Táto štatistická metóda je najvhodnejšia na stanovenie rozdielov medzi priemermi hodnôt. Základné ukazovatele variability a stredných hodnôt sme graficky znázornili pomocou Box a Whiskers plots metódy, ktoré vhodne vizualizujú štatistické rozdelenie dát v súbore (obr. 3). Okrem jednotlivých údajov (bodov, ako minimálna a maximálna hodnota) nám umožňujú vizuálne odhadnúť rozdiely v súboroch a indikujú aj stupeň disperzie.

Pre posúdenie rozdielov dĺžky ihlíc smreka obyčajného sme použili funkcie aritmetický priemer, max hodnota (dĺžka ihlíc), minimálna hodnota (dĺžka ihlíc), modus, medián.



Obr. 3 Legenda ku Box plots

Výsledky a diskusia

Vplyvom pôsobenia nadmerného množstva ťažkých kovov v pôde na územiach niekdajších banských háld sa stretávame s rôznymi deformáciami rastu drevín. Pri každom druhu sa defekty prejavujú inak a závisia od individuálneho rastlinného druhu, jedinca a jeho schopnosti adaptácie. Vysoká koncentrácia ťažkých kovov na banskej halde synergicky vplýva na dreviny spolu s ďalšími špecifikami stanovišťa ako napr. priepustnosť substrátu (voda rýchlo odteká z povrchu), vysoká skeletnatosť, plytký pôdny substrát, nedostatok živín, vysoký slnečný príkon a pod.

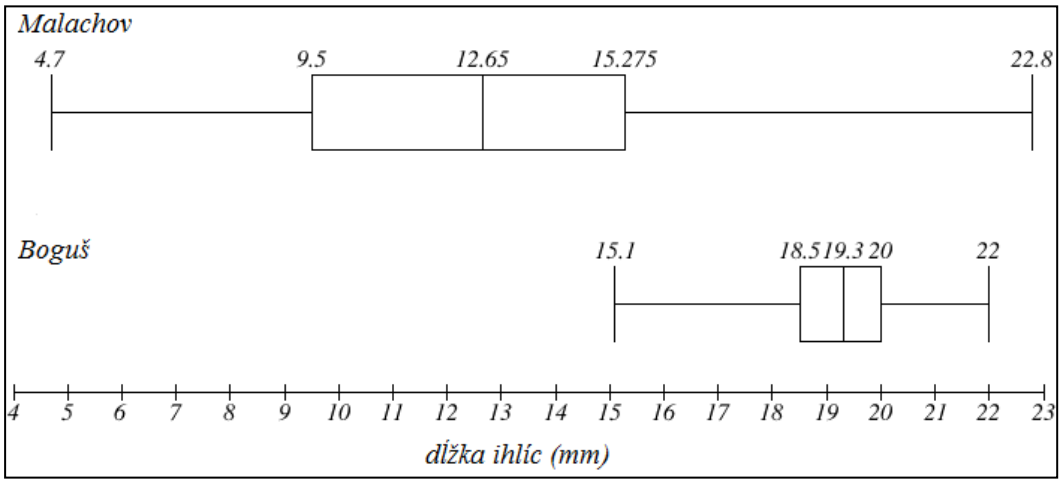
Picea abies

Pri 99 % hladine významnosti výsledky výpočtov dĺžky ihlíc nám poukazujú, že stanovište ako faktor pôsobiaci na rast asimilačných orgánov smreka obyčajného má významný vplyv (Tab. 1).

Tab. 1 Základné štatistické ukazovatele dĺžky ihlíc *Picea abies* a výsledok Studentovho t-testu

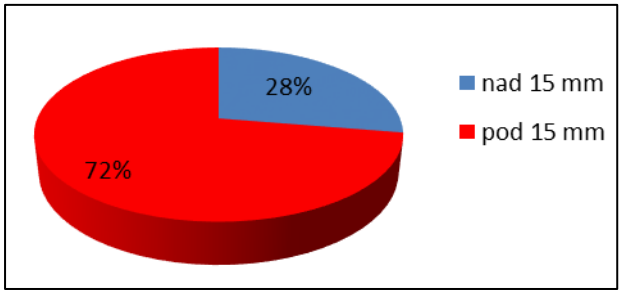
Stredné hodnoty	***Picea abies***	
	Malachov	**Boguš**
Počet meraní	500	500
Aritmetický priemer (mm)	12,371	19,219
Medián (mm)	12,65	19,3
Rozptyl (mm)	11,417	1,443
Štandardná odchýlka	3,382	1,204
Variačný koeficient	0,273	0,063
t-test (úroveň významnosti)	0 (99%)	

Významné rozdiely v analýze nameraných dát sú prezentované na obr. 4.



Obr. 4 Grafické porovnanie dĺžky ihlíc *Picea abies* z banskej haldy a referenčnej plochy (v mm)

Graficky sme znázornili percentuálny pomer dĺžky ihlíc nad a pod 15 mm na halde Veľká studňa, čo je približná dĺžka ihlice zdravých jedincov smreka (cf. PAGAN 1980). Z obr. 5 vyplýva, že až 72 % meraných ihlíc z jedincov na halde vykazovalo nanizmy.



Obr. 5 Percentuálne vyjadrenie priemernej dĺžky ihlíc *Picea abies* z meranej vzorky.na banskej halde

Obr. 6 Zakrpatený vzrast a chloróza *Picea abies*

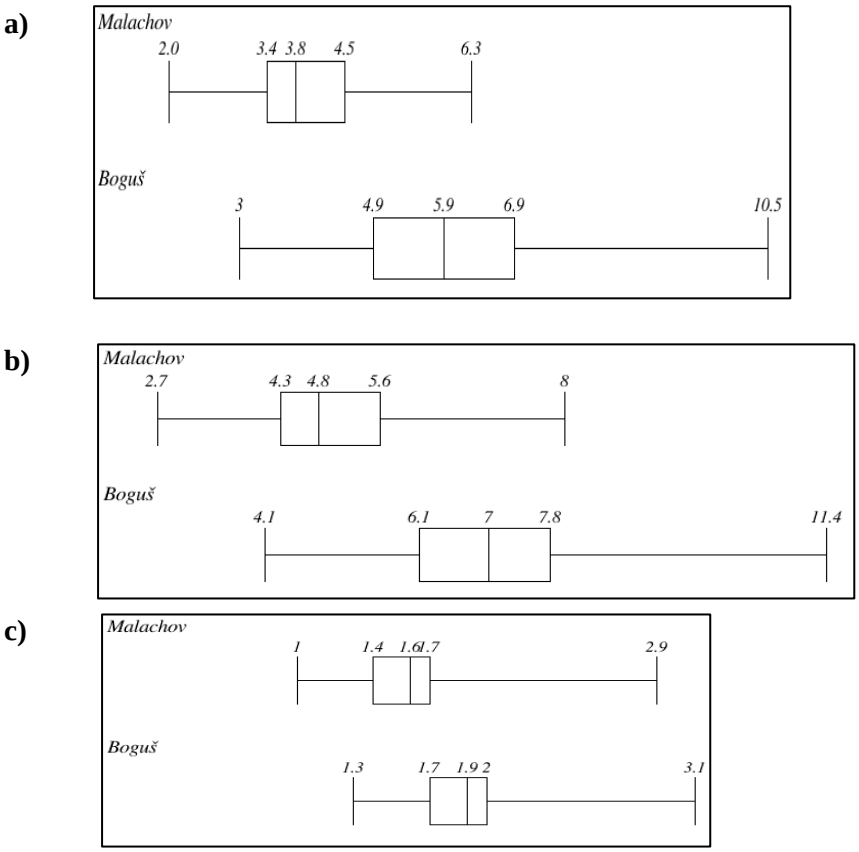
Z ďalších abnormalít sme pri smreku pozorovali zakrpatený vzrast, „krinolínovitý“ habitus spôsobený nízkymi ročnými prírastkami a chlorózy ihlíc ako dôsledky stresu spôsobeného vysokými koncentráciami ťažkých kovov na stanovišti (obr. 6).

Betula pendula

Breza previsnutá na banskej halde Veľká studňa vytvárala miestami krovité formy, lokálne tiež ostrovčekovité súvislejšie porasty, ale nižšieho vzrastu. U tejto pionierskej listnatej dreviny sme pri všetkých meraných znakoch zaznamenali štatisticky významné rozdiely medzi jedincami rastúcimi na banskej halde a na referenčnej ploche (Tab. 2), ktoré sme vizualizovali aj graficky (obr. 7).

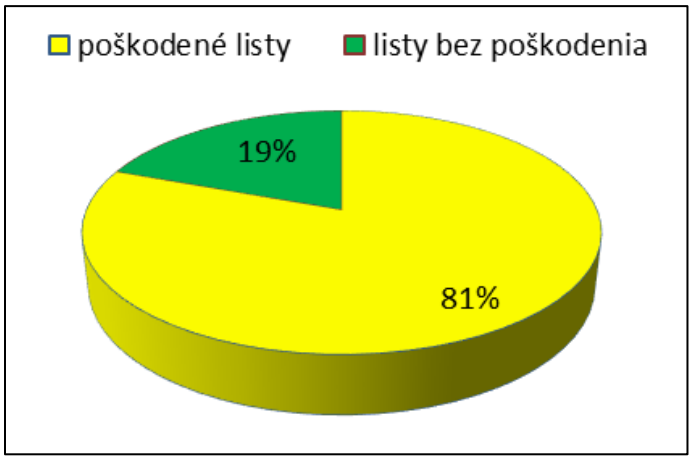
Tab. 2 Základné štatistické ukazovatele sledovaných charakteristík *Betula pendula* a výsledok Studentovho t-testu

Stredné hodnoty	***Betula pendula***					
	Malachov			**Boguš**		
	Šírka čepele	Dĺžka čepele	Dĺžka stopky	Šírka čepele	Dĺžka čepele	Dĺžka stopky
Počet meraní	500	500	500	500	500	500
Aritmetický priemer (mm)	3,921	4,909	1,571	5,982	7,068	1,892
Medián (mm)	3,8	4,8	1,6	5,9	7	1,9
Rozptyl (mm)	0,799	0,973	0,058	1,819	1,636	0,085
Štandardná odchýlka	0,895	0,987	0,240	1,350	1,280	0,292
Variačný koeficient	0,223	0,201	0,153	0,226	0,181	0,154
t-test (úroveň významnosti)	0 (99%)			0 (99%)		



Obr. 7 Grafické znázornenie šírky listovej čepele, dĺžky listovej čepele (b) a dĺžky listovej stopky (c) pri druhu *Betula pendula* na banskej halde a referenčnej ploche (v cm).

Okrem zmenšenia listového aparátu boli na halde pozorované aj poškodenia čepele (nekrotické škvrny, farebné odchýlky až výrazné chlorózy, iné nápadnejšie morfologické zmeny čepele), a to až pri 81 % meraných listov (obr. 8). Vplyvom zvýšenej koncentrácie ortuti a ďalších ťažkých kovov v substráte dochádza aj k tzv. krvácaniu miazgy brezy, ktorá sa stáva nepoužiteľnou napr. vo fytoterapii. Ďalšou nákazou, ktorá do istej miery ovplyvňuje rast brezy previsnutej, je huba *Piptoporus betulinus*, ktorá napadá živé aj odumreté brezy a spôsobuje intenzívnu červenkastú hnilobu dreva (ZIMA et al., 2002).



Obr. 8 Percentuálne vyjadrenie deformovaných listov *Betula pendula* z meranej vzorky na banskej halde.

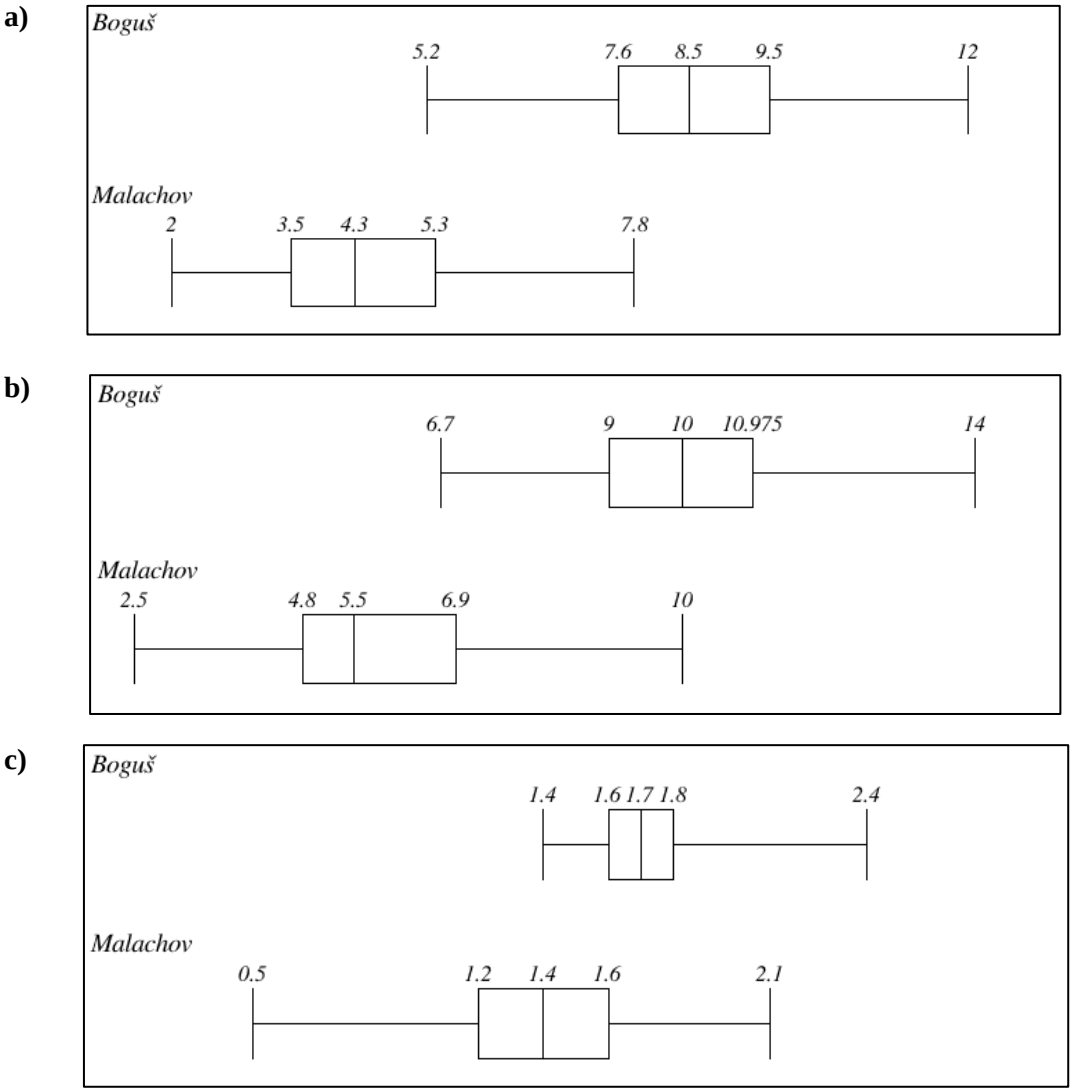
Corylus avellana

Pomocou Studentovho t-testu sa na 99 % hladine významnosti potvrdil podobne ako pri predchádzajúcich druhoch signifikantný rozdiel medzi šírkami listovej čepele, dĺžkami listov a dĺžkami listovej stopky u kroviny *Corylus avellana*.(Tab. 3).

Tab. 3 Základné štatistické ukazovatele sledovaných charakteristík *Corylus avellana* a výsledok Studentovho t-testu

Stredné hodnoty	***Corylus avellana***					
	Malachov			**Boguš**		
	Šírka čepele	Dĺžka čepele	Dĺžka stopky	Šírka čepele	Dĺžka čepele	Dĺžka stopky
Počet meraní	500	500	500	500	500	500
Aritmetický priemer (mm)	4,499	5,875	1,457	8,554	10,141	1,731
Medián (mm)	4,3	5,5	1,4	8,5	10	1,7
Rozptyl (mm)	1,612	2,114	0,089	1,974	2,549	0,033
Štandardná odchýlka	1,271	1,456	0,299	1,406	1,598	0,183
Variačný koeficient	0,282	0,247	0,206	0,164	0,157	0,106
t-test (úroveň významnosti)	0 (99 %)			0 (99 %)		

Zistené rozdiely sú zjavné aj z grafického znázornenie údajov týchto troch kvantifikovaných znakov, ktoré prezentuje obr. 9.



Obr. 9 Grafické znázornenie šírky listovej čepele (a), dĺžky listovej čepele (b) a dĺžky listovej stopky (c) pri druhu *Corylus avellana* na banskej halde a referenčnej ploche (v mm).

Dosiahnutými výsledkami sme potvrdili hypotézu o pôsobení ťažkých kovov na rast drevín a poukázali sme na vplyv stanovišťa na sledované parametre troch vybraných zástupcov dendroflóry. Podobné výsledky potvrdili pri svojom výskume aj Štrba a Aschenbrenner (2012), ktorý realizovali výskum na Cu halde Maximilián v Španej Doline, pričom merali dĺžku ihlíc *Picea abies* a *Pinus sylvestris*.

Záver

Kontaminovaný substrát pôsobí na flóru silným selekčným tlakom a to nielen pri selekcii druhov, ale aj pri zmenách – tak morfologických ako aj anatomických – druhov už zastúpených. Toto tvrdenie sme potvrdili aj výskumom asimilačného aparátu troch dominantných drevín na halde Veľká studňa pri Malachove, ale aj ostatnými zaznamenanými zmenami na celkovom vzhľade drevín, ako nanizmy, prejavy chlorózy, škvrnitosť listov, výskyt hubových ochorení. No aj napriek silne kontaminovanej pôde a ďalším stresovým faktorom dokáže banská halda rastlinstvu poskytnúť podmienky pre život a udržať ich vo vitálnom stave. Flóra sa adaptuje na špecifický biotop a využíva vlastné stratégie pre prežitie a obmedzeniu vplyvu kontaminovaného stanovišťa.

Poďakovanie

Príspevok vznikol vďaka finančnej podpore grantu VEGA 1/0538/15.

Literatúra

BANÁSOVÁ, V. 1976. Vegetácia medených a antimónových háld. In *Biol. Práce*, Bratislava, roč. 22, s. 1-109.

BANÁSOVÁ, V. – HAJDÚK, J. 2006. Príspevok k vegetácii banských háld z malokarpatských rudných ložísk. In *Bulletin Slovenskej Botanickej Spoločnosti*, Bratislava, roč. 28, s. 203-210.

BANÁSOVÁ, V. – ČIAMPOROVÁ, M. – NADUBINSKÁ, M. 2007. Heavy metal localities and their vegetation in Slovakia [online]. 2007, [cit. 2011-11-19]. Dostupné na: http://www.metaltolerantplants.sav.sk/Publications/HM_sites_Slovakia.pdf.

PAGAN, J. 1980. *Dendrológia*. Zvolen : VŠLD, 1980. 195 s.

ŠTRBA, T. – ASCHENBRENNER, Š. 2012. DÍžka ihlíc a ročné prírastky dreva u *Pinus sylvestris* L. a *Picea abies* L. na halde Maximilián v Španej Doline. In *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae,* 2012, Bratislava, roč.. 20, č. 2, s. 71-77. ISSN 1335-0285

ZIMA, M. et al. 2002. *Fyziológia rastlín*. Nitra : SPU v Nitre, 2002. 203 s. ISBN 80-8069-011-1.

Spoločenstvá pakomárov (Diptera: Chironomidae) malých vodných nádrží: štruktúra a diverzita na základe exúvií

Veronika ŠTILLOVÁ

Katedra biológie a ekológie FPV UMB, Tajovského 60, 97401 Banská Bystrica,
e-mail: stillova93@gmail.com

Abstract: Chironomid communities in small waterbodies – ponds: structure and diversity based on exuviae. *Even though ponds – small and shallow waterbodies – are found all over the world and create a unique habitat, until recently they have been greatly underestimated. In recent years, however, ponds attracted significant attention of scientists internationally but also in Slovakia. The aim of this study is to present new information about the structure and diversity of non-biting midges (Diptera: Chironomidae) in ponds located all over the entire area of Slovakia. Specifically, we wanted to describe the taxonomic structure of chironomids in Slovakian ponds and discover the main patterns of chironomid diversity along altitude and pond size. We used chironomid pupal exuviae technique to reach our goals. A drift net was used to sample floating pupal exuviae from 31 ponds in the period 01.07.2013 29.08. 2013. Pupal exuviae were picked, mounted to microscopic slides and identified to the lowest possible taxonomic level, usually species. A total of 93 taxa of three subfamilies were identified. Species/taxa of Chironominae dominated, followed by Orthocladiinae and Tanypodinae. Phaenopsectra flavipes represents a first record for the Slovak fauna. Some of the other species, such as Benthalia carbonara, Zavrelliela marmorata and Paratanytarsus tenellulus are interesting faunistic records, since there are only very few observations of them in Slovakia. Analysis of the relationship between altitude and pond diversity showed interesting results: chironomid diversity rose with altitude, which is not in concordance with the general biodiversity trends. There was no relationship between the size and diversity of the ponds. This confirms that the Theory of island biogeography cannot be applied to small water bodies. Furthermore, we found that diversity is increasing with the increasing depth of pond. It is most likely because deeper ponds are more likely to provide more habitats for benthic macroinvertebrates.*

Keywords: *Chironomidae, small waterbodies, ponds, biodiversity, environmental gradients*

Úvod

Predkladaná práca je riešená v rámci projektu BIOPOND zameriavajúceho sa na biodiverzitu malých vodných biotopov. Hlavným cieľom spomínaného projektu je priblížiť komplexnú rozmanitosť makrofytov a dôležitých skupín bezstavovcov akými sú napríklad: Odonata, Ephemeroptera, Trichoptera, Coeloptera, Heteroptera a Diptera v rámci Slovenska. Medzi špecifické ciele patrí priblíženie vplyvu prostredia na diverzitu a štruktúru jednotlivých taxocenóz či charakteristika podmienok, ktoré by v budúcnosti zabezpečili zachovanie čo možno najvyššej biodiverzity (APVV 0059-11; www.biopond.sk).

V prvej kapitole sa zameriavam na charakteristiku skúmaného biotopu a teda malých vodných nádrží, ktoré boli v minulosti značne podceňované a málo skúmané. V posledných rokov si však získali pozornosť a objasnili sa mnohé informácie (Céréghino et al., 2008). Chironomideae (pakomárovité) sú jednou z najviac rozšírených vodných organizmov na svete. Obývajú najrozmanitejšie vodné biotopy. Ich taxonomické zloženie na určitej lokalite spoločne s abundanciou často vypovedajú o stave ekosystému (Matěna 1990). Keďže predmetom výskumu tejto práce je práve čeľaď pakomárovité, v prvej kapitole ju stručne charakterizujem a približujem jej vývinové štádia.

Predkladaná práca by mala priniesť doplňujúce informácie o druhovom zložení organizmov v malých vodných nádržiach či rozšíriť poznatky o druhovej skladbe čeľade pakomárovitých vo

vybraných skúmaných lokalitách. Ďalej by mala rozšíriť poznatky o environmentálnych premenných, ktoré by mohli ovplyvňovať diverzitu spomínanej čeľade.

1 Rozbor problematiky

1.1 Malé vodné nádrže a ich funkcia v prírode

Malé vodné nádrže (po anglicky ponds) sú plošne menšie vodné biotopy so stagnujúcou vodou s plochou zvyčajne od 1 m² do 5 ha (De Meester et al., 2005), horná hranica ich rozlohy však nie je definovaná presne a rôzne definície uvádzajú rôzne hranice (Očadlík et al. 2013; Hamerlík et al., 2014). Malé vodné nádrže nemajú vytvorenú profundálnu zónu, a teda celé dno môže byť potenciálne zarastené vodným rastlinstvom (Søndegaard et al., 2005). Môžu vzniknúť antropogénnou činnosťou (zásobáreň vody, ťažba nerastných surovín) alebo vplyvom prírodných procesov (zaľadnenie, riečna činnosť, zosuv pôdy).

Malé vodné nádrže sa vyskytujú vo všetkých oblastiach sveta od polárnych tundier až po púšte. Ich zastúpenie je v každej z oblastí iné. V Európe predstavujú početnú zložku kontinentálnej zásobárne vody a významne prispievajú k udržaniu biodiverzity. Hull (1997) označil ich vzájomnú prepojenosť za značne obmedzenú, čo však zvyšuje pravdepodobnosť výskytu viacerých navzájom odlišných druhov (Oertli et al., 2008). Začiatkom 21. storočia sa preto zvýšila pozornosť limnológov o tento biotop a následne aj počet vedeckých publikácií zaoberajúcich sa predovšetkým biodiverzitou malých vodných nádrží (Oertli et al., 2008, Céréghino et al., 2008).

Malé vodné nádrže boli donedávna považované za malé verzie veľkých jazier s hojným výskytom. Nedávne a súčasné výskumy však dokazujú, že ide o celkom odlišné ekosystémy (napr. Hamerlík et al., 2014).

Søndegaard et al. (2005) uvádza niekoľko rozdielov v čom sa líšia malé vodné nádrže od veľkých jazier:

- vďaka nadmernému vysychaniu a zimnému zamŕzaniu sa v nich vo väčšine prípadov nenachádzajú ryby, čo tiež spôsobuje zvýšený počet predátorov zastúpených v skupine bezstavovcov;
- vegetácia môže zabrať celú plochu vodného telesa hlavne vďaka plytkosti a polohe chránenej pred vetrom;
- málo prítokov a objem vody vedie k väčšiemu vplyvu sedimentov na obsah živín vo vode a tiež k lepšiemu prepojeniu;
- celková biodiverzita meraná na jednotku plochy je vyššia, vďaka určitým živočíchov a rastlinám preferujúcich stojatú vodu a tiež preto, že predstavujú heterogénne prostredie;
- izolovanosť pridáva malým vodným nádržiam väčší charakter ostrovov v porovnaním s väčšími jazerami, ktoré sú často spojené prítokmi alebo častými rozsiahlymi povodňami.

Ochranárstvo bolo v minulosti viac zamerané na vnútrozemské a pobrežné ekosystémy ako sú dažďové pralesy, mokrade, koralové útesy (e.g. Meffe a Carroll 1997). Avšak počet prác zaoberajúcich sa diverzitou malých vodných nádrží sa za posledných desať rokov strojnásobil ako uvádzajú vedecké štatistiky z Web of Knowledge z augusta 2013.

Z hľadiska ochrany prírody je najdôležitejšou funkciou pondov zachovanie vysokej biodiverzity, avšak spĺňajú aj úlohu pri regulácii vodného režimu, estetickej či rekreačnej funkcií (Williams et al. 2004, Davies et al. 2008). Céréghino et al. (2008) uvádzajú tiež veľmi dôležitú funkciu v poskytovaní ekosystémových služieb ako napríklad v kolobehu a zadržiavaní živín. Napr. podľa Downig et al. (2008) zohrávajú dôležitú úlohu v celkovom uhlíkovom cykle a predpokladá sa, že pondy globálne zachytávajú viac uhlíka ako svetový oceán. Môžeme tiež doplniť že sú citlivými indikátormi globálnych zmien vďaka veľkej kontaktnej zóne so svojím okolím a rýchlou reakciou na environmentálne zmeny, odrážajúcou sa v skladbe spoločenstva (Oertli et al., 2008).

Z hľadiska druhovej skladby organizmov a podmienok prostredia patria medzi veľmi špecifické a zároveň ohrozené ekosystémy. V porovnaní s ostatnými vodnými biotopmi vytvárajú malé vodné nádrže prostredie s reliktnými, ohrozenými a endemickými druhmi, čo ale nič nemení na skutočnosti že ich početnosť neustále klesá. Predstavujú takzvané „hot-spot“ druhovej rozmanitosti (Palmer et al. 1992, Williams et al. 2004, Davies et al. 2008, Bilton et al. 2009). Nachádzajú sa v nich zriedkavejšie a oveľa vzácnejšie druhy než je to pri ostatných typoch vôd a mnohé z druhov sa vyskytujú len v týchto biotopoch (Oertli et al. 2002). Ich diverzitu značne ovplyvňujú aj faktory ako je obsah kyslíka

vo vode či dokonca poloha. Bitušík et al. (2006) uviedol, že druhová diverzita s narastajúcou nadmorskou výškou stúpa. Podľa Hamerlík et al., (2014) sa spoločenstvá malých vodných nádrží kvalitatívne značne líšia a ich rozdielnosť je spôsobená predovšetkým ich izolovanosťou a environmentálnou premenlivosťou, heterogenitou habitatov, kvalitou prostredia a veľkosťou.

Zachovať variabilitu a bohatstvo pondov a ich bioty môžeme len v tom prípade, ak včas a správne pochopíme vzťah organizmov k prostrediu a tiež silu antropického vplyvu (van Geest et al. 2005, Karatayev et al. 2008).

1.2 Charakteristika čeľade Chironomidae

Čeľaď pakomárovitých (Diptera: Chironomidae) je jednou z najrozšírenejších a druhovo najbohatších čeľadí sladkovodného hmyzu. Celkovo bolo opísaných viac ako 5000 druhov. Predpokladá sa však, že celkový počet druhov na celom svete presahuje 15 000. Na Slovensku sa zatiaľ potvrdil výskyt skoro 400 druhov (Bitušík a Brabec, 2009) ale toto číslo z roku na rok narastá. V mnohých vodných ekosystémoch predstavujú pakomáre dominantnú zložku bentických živočíchov. Značnou mierou sa podieľajú na pretváraní dna, vírení a taktiež prevrstvovaní dnových sedimentov (Armitage et al. 1995). Čeľaď Chironomidae zahŕňa 11 podčeľadí: Telmatogetoninae, Chilenomyiinae, Buchonomiinae, Diamesinae, Prodiamesinae, Orthocladiinae, Chironominae, Usumbaromyiinae, Tanypodinae, Aphroteniinae a Podonominae (Sæther 2000).

Druhy pakomárov sa nachádzajú na všetkých kontinentoch, vrátane Antarktídy a na väčšine hlavných oceánskych ostrovov ktoré boli skúmané (Ferrington 2008). Larvy obývajú prakticky každý druh vodného stanovišťa: jazerá vo vysokej nadmorskej výške, tropické či arktické oblasti, dočasné i trvalé vody, tečúce vody, vody s dostatkom i nedostatkom kyslíka. Niekoľko druhov je adaptovaných na život v slanej vode a to aj 30 metrov pod hladinou oceánu (Giberson et al. 2001). Rozkošný (1980) uvádza že viac ako 100 druhov je semiterestrických a terestrických a obývajú pôdu, hnijúce drevo, kompost či výkaly. Napriek tomu, že sa mnohé z druhov dokázali adaptovať na rôzne oblasti suchozemského prostredia, ako kopy hnijúcej vegetácie či vlhké pôdy, vývinové štádiá väčšiny druhov sú viazané na vodu (Cranston et al. 1995).

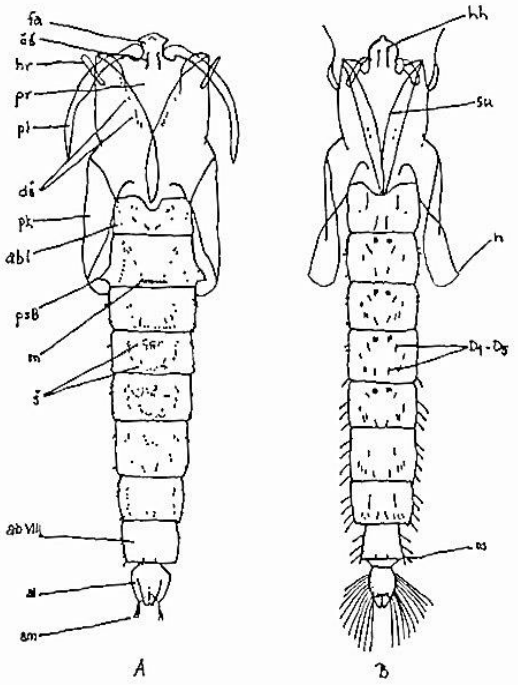
Vďaka vysokej abundancii a tolerancií k hydrologickým a ekologickým podmienkam sú pakomáre veľmi dôležité pre vodné ekosystémy. Svojou biomasou vytvárajú základnú potravnú ponuku väčším a v potravnom reťazci vyššie postaveným organizmom ako napríklad dravému hmyzu, obojživelníkom, rybám a vtákom. Dokonca v niektorých oblastiach okolo veľkých afrických jazier ľudia lovia rojace sa dospelce do navlhčených nádob, alebo ich lákajú na svetlo a ich biomasu formujú a pečú z nich „palacinky“, ktoré sú pre nich zdrojom proteínov (Armitage et al. 1995).

Už pred 90-timi rokmi sa začali využívať znalosti o výskyte Chironomidae na určitých lokalitách k bioindikácii a monitoringu. Chironomidae sú vďaka svojej širokej valencii k ekologickým faktorom, úzkou špecializáciou jednotlivých druhov a značnou denzitou, spoločne s rýchlosťou rastu, pre tieto účely vhodnými modelovými organizmami. Podľa charakteristík spoločenstiev pakomárov sú vytvorené klasifikačné stupne eutrofizácie stojatých a tečúcich vôd, stupne acidifikácie, organického a toxického znečistenia (Armitage et al. 1995, Saether 1979). Ďalšou možnosťou využitia Chironomidae je uplatnenie na paleolimnologických rekonštrukciách (Cranstonet al. 1995).

1.3 Stručný vývoj od vajíčka po exúvium

Čeľaď Chironomidae patrí medzi holometabolický hmyz, tzn. že prechádza úplnou premenou, od vajíčka, cez larvu, kuklu až po imágo. V larválnom štádiu majú 4 instary, čo znamená že sa 4-krát zvliekajú. Larve posledného 4. instaru zhrubnú hrudné články. V tejto nápadne zväčšenej časti tela sa začnú tvoriť budúce orgány dospelca. Ako náhle je vývin dokončený, praskne kutikula larvy a kukla sa dostáva von. Larválne exúvium ešte nejakú dobu visí kukle na konci bruška. Kukla žije v závislosti na teplote a na druhu, od niekoľkých hodín po niekoľko dní (Lobinske et al. 2002). Kukly podčeľade Chironominae žijú primárne v rúrke, kukly podčeľade Tanypodinae žijú voľne vo vode alebo medzi vodnými rastlinami, poprípade na dne. Po dokončení premeny sa liahne imágo. A to tak, že sa priestor medzi telom a pupálnou kutikulou vyplní vzduchom, následne sa exúvium v mieste hornej časti hrudi pretrhne, imágo z nej vylezie na vodnú hladinu a odletí. Po vyliahnutí zostáva na hladine exúvium kukly (Armitage et al. 1995). Exúvium zostáva plávať na hladine niekoľko dní, kým sa hydrofóbna

vrstva nenaruší bakteriálnym rozkladom, potom klesne na do. Znamená to, že po liahnutí máme možnosť zachytiť jedince približne do troch dní. Preto je správne načasovanie zberu exúvií veľmi dôležitý z hľadiska reprezentatívnosti vzorky.



fa- čelová apotóma, čš- čelové štetiny, hr- hrudný roh, pr- paefrons, pt- púzdro tykadla, dš- dorzocentrálne štetiny, pk- púzdro krídla, abI- 1. článok bruška, abVIII- 8. článok bruška, am- análne makroséty, hh- hlavové hrbolčeky, su- šev, n- nosovitý výbežok, D1- D5- dorzálne štetiny, os- ostroha

Obr. 2: Hlavné morfologické znaky exúvií kukly podčeľadí Orthocladiinae (A) a Chironominae (B) (prevzaté z Bitušík (2001)).

2 Cieľ práce

Malé vodné nádrže vďaka svojim špecifickým vlastnostiam akými sú početnosť, rozmanitosť či fyzikálno-chemické charakteristiky patria medzi jedinečné ekosystémy. Veľkou mierou prispievajú k biodiverzite. Práve preto sú tieto doposiaľ málo sledované vodné štruktúry predmetom záujmu mnohých limnológov (Oertli et al., 2008, Céréghino et al., 2008). Predložená práca by mala priniesť nové poznatky o druhovej diverzite a štruktúre spoločenstiev pakomárov vybraných pondov a taktiež získať informácie o koreláciách druhovej skladby so základnými environmentálnymi premennými, akými sú napríklad nadmorská výška či fyzikálno-chemické vlastnosti skúmaných pondov.
Hlavnými cieľmi predkladanej práce bolo:

1. Určiť taxonomickú skladbu zoskupení pakomárov (Chironomidae) vybraných malých vodných nádrží na základe exúvií kukiel.
2. Zistiť, ktoré druhy sú charakteristické pre ekosystém pondov.
3. Zistiť ako ovplyvňujú diverzitu a štruktúru čeľade pakomárov základné environmentálne premenné.

3 Materiál a metodika

3.1 Charakteristika odberných lokalít

V predkladanej práci boli študované vzorky exúvií kukiel pakomárov z 31 malých vodných nádrží (pondov) po celom Slovensku (Obr. x). Odberové lokality boli súčasťou projektu BIOPOND a boli vybraté na základe ekologických a geografických podmienok jednotlivých pondov.

Nadmorská výška lokalít sa pohybuje v rozmedzí 100 ¬ 983 m n. m., čo predstavuje relatívne širokú škálu zahrňujúcu vegetačné pásma od dubových, bukovo-dubových, až po jedľovo- bukové pásmo. Povode väčšiny pondov tvorili lesy, kroviny a lúky, v menšom zastúpení aj orné pôdy.

Rozlohou sa jednotlivé pondy značne líšia a ich rozmedzie je medzi 17 m^2 až po 1,7 ha. Čo sa týka pH vody pohybuje sa medzi 6,2 9,2. U väčšiny sa však pohybuje pH okolo hodnoty 7 čo znamená že sú vo väčšine prípadov neutrálne. Ďalším zaujímavým parametrom je hĺbka skúmaných nádrží ktorá sa pohybuje v rozpätí od 4 – 215 cm. Podrobnejšie údaje odberných lokalít uvádza tabuľka 1.

Tab. 1: Prehľad environmentálnych charakteristík študovaných malých vodných nádrží.

Označenie	Nadmorská výška	Plocha (m²)	Hĺbka (cm)	pH
BP 51	271	881	28	7,3
BP 52	454	181	72	7,3
BP 53	783	1848	89	7,6
BP 55	870	59	114	6,8
BP 56	810	75	153	7,2
BP 57	231	223	38	7,1
BP 58	433	1895	110	6,8
BP 60	175	78	78	7,6
BP 61	214	190	52	7,4
BP 63	197	17	161	7,3
BP 64	983	2315	149	6,3
BP 65	619	1247	36	7,9
BP 66	467	210	4	7,3
BP 67	449	151	32	7,6
BP 68	412	390	51	7,4
BP 70	271	894	36	8,2
BP 71	913	524	52	7,2
BP 72	319	8649	196	7,8
BP 73	920	4201	215	8,6
BP 74	833	17025	144	8,2
BP 75	935	1097	190	7,5
BP 76	824	7612	178	8,1
BP 77	100	8354	9	7,3
BP 78	253	2318	123	7,9
BP 79	415	2830	83	6,7
BP 80	117	2315	37	9,2
BP 84	457	3024	68	7,9
BP 86	522	18	19	7,7
BP 87	732	56	84	7,3
BP 88	650	119	45	6,2
BP 89	440	117	143	7,4
Minimum	100	17	4	6,2
Maximum	983	17025	215	9,2
Priemer	518	2223	90	7,5

3.2 Terénne práce

Vzorky boli odoberané v letných mesiacoch od 01.07.2013 ¬ 29.08.2013. Zaručila sa tak reprezentatívnosť a rozmanitosť druhového zloženia, keďže v letných mesiacoch sa liahne najviac druhov pakomárov a je preto najväčšia šanca zachytiť reálnu druhovú skladbu spoločenstva.

Exúviá kukiel boli získané z hladiny malých vodných nádrží pri brehoch a akumuláciách plávajúceho materiálu pomocou ručnej kruhovej siete s priemerom rámu 25 cm a hustotou tkaniny 0,25 mm. Vzorky boli na mieste niekoľkokrát premyté za účelom odstránenia prebytočnej vegetácie a sedimentov. Premytý materiál bol uložený do plastových nádob a zafixovaný 4% roztokom formaldehydu. Každá nádoba bola označená dátumom zberu a názvom odbernej lokality.

Vzorky boli ďalej prevezené do priestorov Prírodovedeckej fakulty Univerzity Mateja Bela, kde prešli ďalším spracovaním. Odbery vykonávali pracovníci Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici a Technickej Univerzity vo Zvolene.

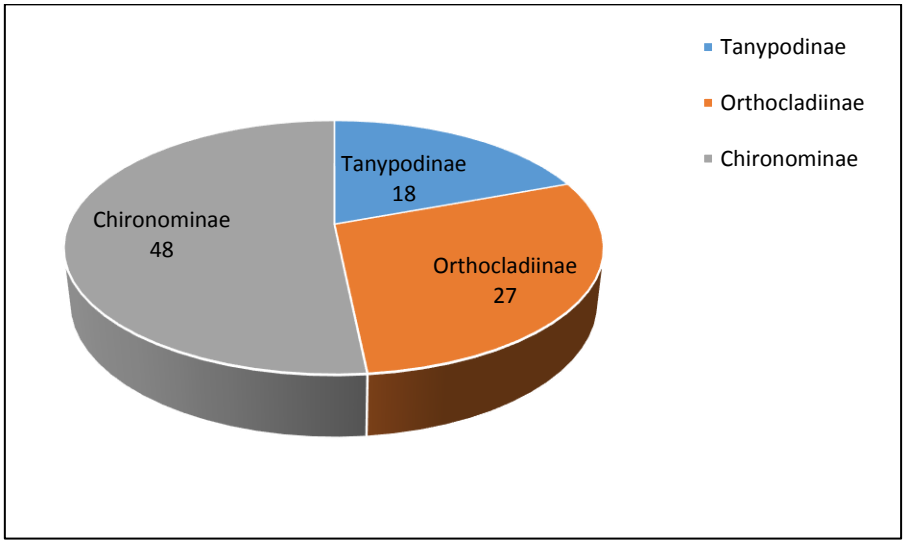
3.3 Laboratórne práce

V laboratóriu bol obsah plastových nádob dôkladne premytý cez hydrobiologickú sieťku, čím sme dosiahli odstránenie väčšej vegetácie a taktiež formaldehydu. Nasledovalo vytriedenie exúvií ale aj lariev, ktoré sa dostali do vzoriek pod binokulárnou lupou od neskúmaných organizmov, zvyšnej vegetácie a sedimentov. Každá vzorka po tomto procese bola konzervovaná 75% roztokom etanolu. Ďalším krokom bolo ukladanie lariev a exúvií do trvalých mikroskopických preparátov. Pri tomto kroku sme použili binokulárnu lupu, pinzety, preparačné ihly, podložné sklíčka, krycie sklíčka (22 x 22 mm) a Berléseho zalievacie médium. Následne boli pomocou svetelného mikroskopu preparáty determinované na čo najnižšiu taxonomickú úroveň, zvyčajne na úroveň druhu. Pri determinácií boli použité nasledujúce determinačné kľúče: Wiederholm (1986), Langton (1991) a Bitušík (2000). Trvalé preparáty sú uložené na Katedre biológie a ekológie Fakulty prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici.

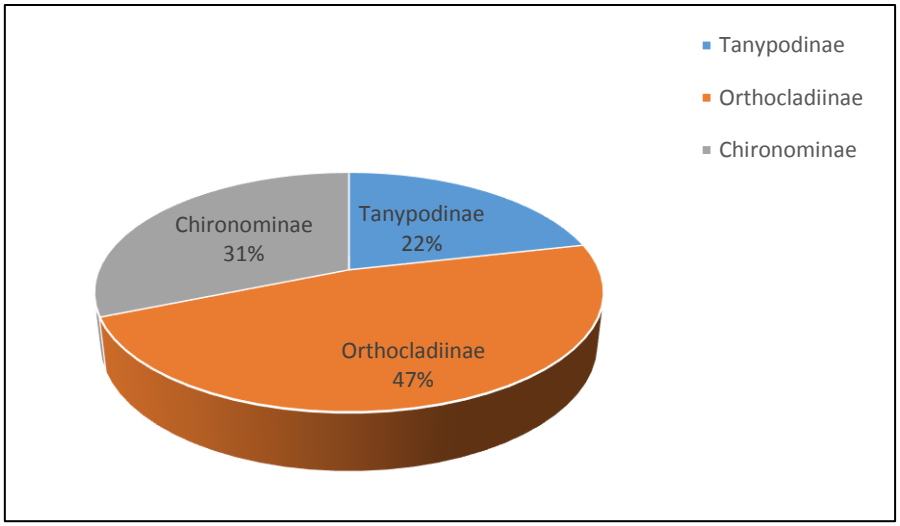
Výsledky a diskusia

V predkladanej práci bolo spracovaných 1426 lariev a exúvií kukiel pakomárov. Celkovo bolo determinovaných 93 taxónov patriacich do 3 podčeľadí a to Tanypodinae (18 taxónov), Orthocladiinae (27 taxónov) a Chironomidae (48 taxónov).

Z hľadiska počtu jedincov jednoznačne dominovala podčeľaď Orthocladiinae s 678 jedincami, čo predstavuje 47% z celkového počtu zachytených jedincov. Čo sa týka taxonomického zloženia pondov, viac ako polovica zaznamenaných taxónov pochádzalo z podčeľade Chironominae (48). Podrobnejší prehľad počtu zástupcov podčeľadí uvádza obrázok 3. a 4.



Obr. 3: Zastúpenie taxonomických skupín (z hľadiska počtu taxónov) získaných z odobratých vzoriek.

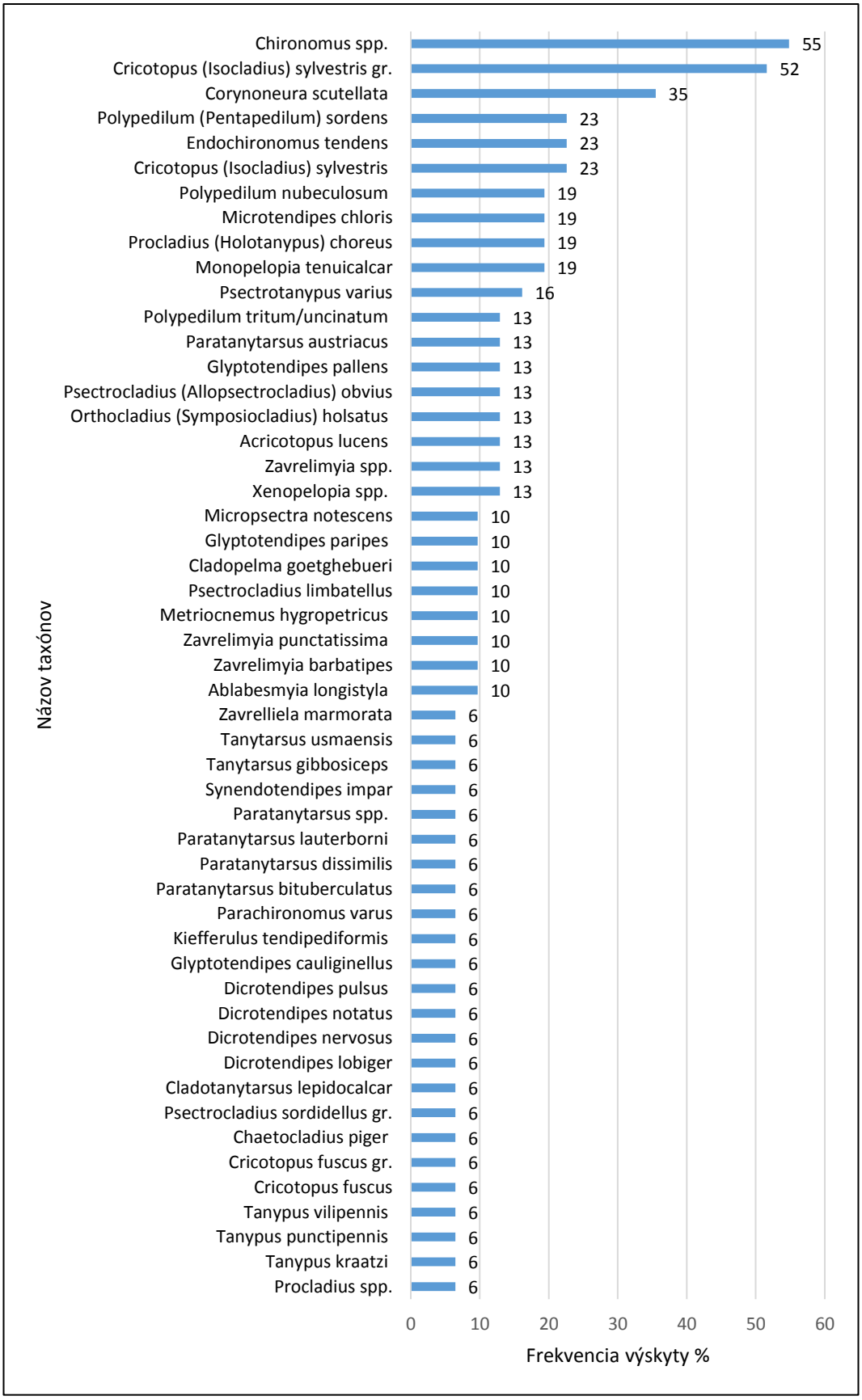


Obr. 4: Zastúpenie taxonomických skupín (z hľadiska počtu jedincov) získaných z odobratých vzoriek.

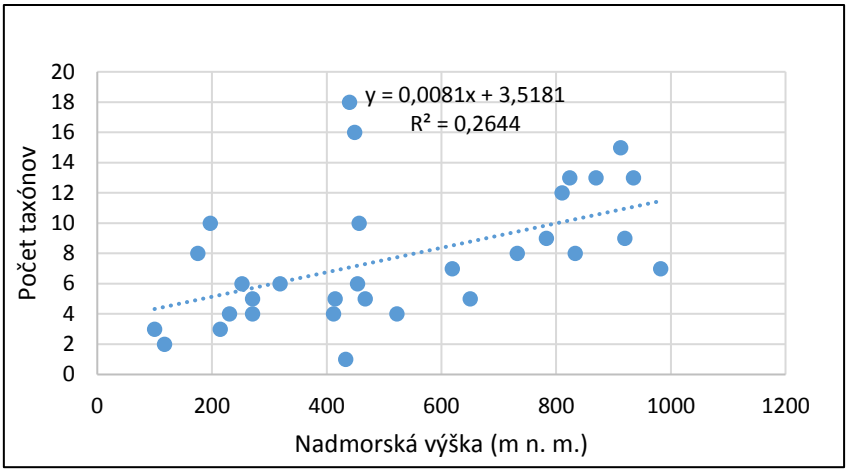
Najčastejšie sa na lokalitách vyskytovali tieto druhy a taxóny: *Chironomus* spp. (55%), *Cricotopus sylvestris* gr. (52%), *Corynoneura scutellata* gr. (35%), *Polypedilum sordens* (23%) a *Endochironomus tendens* (23%). Naopak druhy ako *Guttipelopia guttipennis*, *Procladius signatus*, *Trissopelopia flavida*, *Zavrelimyia melanura* či *Brillia bifida* a iné sa vyskytovali len na jednej lokalite. Frekvenciu výskytu jednotlivých taxónov uvádza obrázok 5. Graf znázorňuje iba taxóny/druhy vyskytujúce sa minimálne na dvoch lokalitách.

Najfrekventovanejšími taxónmi sú práve tie, ktoré majú veľmi širokú ekologickú valenciu (*Chironomus* spp., *Procladius choreus*), prípadne sa viažu na makrofyty (*Cricotopus sylvestris* gr.) (Bitušík et al. 2003). V našom prípade sa makrofyty objavovali na väčšine pondov. Naopak druhy ako *Heterotrissocladius marcidus*, *Procladius signatus*, *Trissopelopia flavida* a mnohé iné sa v našich vzorkách vyskytovali iba raz. To znamená že sú to ekologicky náročnejšie druhy s úzkou ekologickou valenciou. Napríklad *Heterotrissocladius marcidus* je najrozšírenejším druhom tatranských vôd (Bitušík et al. 2006), čo zodpovedá tomu, že pond v ktorom sa tento druh našiel sa nachádzal v nadmorskej výške 935 m n. m.

Keďže Hamerlík et al. (2003) uvádza že čeľaď Chironomidae patrí medzi najviac rozšírené vodné organizmy, sú skvelou modelovou skupinou na ukážku korelácie medzi druhovou diverzitou a nadmorskou výškou. Podľa Ertlová (1987) so stúpajúcou nadmorskou výškou sa menia klimatické podmienky v dôsledku čoho klesá aj druhová diverzita čeľade Chironomidae. Naše výsledky ukazujú opak, čo však zdôvodňujeme tým že máme vzorky pozdĺž celého výškového gradientu s rôznymi environmentálnymi podmienkami a preto tu nie je táto teória aplikovateľná. Graf korelácie diverzity a nadmorskej výšky je znázornení na obrázku 6.



Obr. 5: Frekvencia výskytu jednotlivých taxónov v malých vodných nádržiach. Z grafu boli vylúčené taxóny s výskytom len na jednej lokalite.



Obr. 7: Korelácia diverzity s nadmorskou výškou.

Naopak, medzi diverzitou plies a ich rozlohou sme nenašli žiadanú koreláciu. Jedným z možných dôvodov je, že keďže zber vzoriek bol vykonaný len jednorázovo, nie všade sa nám podarilo zachytiť reálnu taxonomickú bohatosť. Metóda, ktorú sme použili zachytáva exúvie kukiel jedincov, ktoré práve vylietavajú a ich zvlečky plávajú na vodnej hladine, kde zostanú približne 2-3 dni. Jednorazovým zberom nie je možné zachytiť druhy, ktoré lietajú v inej dobe alebo lietajú len na jar alebo na jeseň. To znamená, že pri jednorazovom odbere zachytená biodiverzita nemusí zodpovedať reálnej diverzite pondu. Druhá možnosť je, že – ako to bolo potvrdené aj v iných štúdiách (Hinden et al., 2005; Martinez-Sanz et al., 2012; Hamerlík et al., 2014), pri tak malých vodných telesách neplatia zásady ostrovnej biogeografie a len na základe veľkosti nedokážeme predpovedať ich druhovú bohatosť.

Literatúra

Armitage P.D. & Cranston P.S. & Pinder L.C.V (eds) 1995: The Chironomidae: Biology and ecology of nonbiting midges. Chapman & Hall, London. Arslan.

Bitušík P. 2001. Úvod do determinácie exúvií kukiel pakomárov (Chironomidae, Diptera). In Makovinská J. & Tóthová L. (eds), Zborník z hydrobiologického kurzu 2001. Výskumný ústav vodného hospodárstva v Bratislave, Národné referenčné centrum pre oblasť vôd na Slovensku, p. 86-109. ISBN 80-968282-8-2

Bitušík P., Svitok M., Kološta P., & Hubková M. 2006. Classification of the Tatra Mountain lakes (Slovakia) using chironomids (Diptera, Chironomidae). Biologia 61(18): 191-201.

Bitušík, P. & L. Hamerlík, 2003. Chironomidae, In F. Sporka [ed.], Vodnébezstavovce (makroevertebráta) Slovenska, súpis druhov a autekologické charakteristiky. Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, p. 482–545.

Cranston P.S. 1995. Introduction. In: Armitge,P. D, Cranston, P.S. & Pinder, L.C.V. (eds) The Chironomidae. The biology and ecology of non–biting midges. Chapman & Hall, London, Glasgow, Weinheim, N.Y., Melbourne, Madras,1995, 2-7.

De Meester L., Declerck S., Stoks R., Louette G., Van De Meutter F., De Bie T., Michels E., & Brendonck L. 2005. Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 15(6): 715-725.

Downing, J.A., Prairie, Y.T., Cole, J.J., Duarte, C.M., Tranvik, L. J., Striegl, R.G., McDowell, W.H., Kortelainen, P., Caraco, N.F., Melack, J.M., Middelburg, J.J. 2006: The global abundance and size distribution of lakes, ponds and impoundments. Limnology and Oceanography, 51: 2388–2397.

Dumnicka E., & Galas J. 2012. Temporal changes in oligochaete fauna of three alpine ponds in the Tatra Mountains Poland. Boreal environment research **17(3-4):** 252-262.

Ertlová, E. 1987. Chironomids (Chironomidae, Diptera) of the littoral of the selected lakes in the High Tatras. Acta Fac. Rerum Nat. Univ. Comenianae. Zoologia. ISSN 0524-2363, 29, p. 53 – 66.

Giberson D.J. & Bilyj B. & Burgess N. 2001: Species Diversity and Emergence Patterns of Nematocerous Flies (Insecta: Diptera) from Three Coastal Salt Marshes in Prince Edward Island, Canada. Estuaries 24, 862–874.

Hamerlík L., Svitok M., Novikmec M., Očadlík M., & Bitušík P. 2014. Local, among-site, and regional diversity patterns of benthic macroinvertebrates in high altitude waterbodies: do ponds differ from lakes? Hydrobiologia, 723(1): 41-52.

Hinden, H., B. Oertli, D. Auderset Joye, R. Juge, N. Menetrey, L. Sager & J. B. Lachavanne, 2005. Alpine ponds biodiversity: what are the related environmental variables? Aquatic Conservation 15: 613–624.

Hull, A., 1997: The pond life project: a model for conservation and sustainability.

British Pond Landscape, Proceedings from the UK Conference of the Pond Life Project, Boothby J (ed.). Pond Life Project: Liverpool, pp.101–109.

Jedlička, L., Stloukalová, V., Kúdela, M. 2009: Checklist of Diptera of the Czech Republic and Slovakia. Version 2. Comenius University, Bratislava. Dostupné na internete: <http://www.edvis.sk/diptera2009/families.htm#B

Keiper, J., Walton, W.E., Foote, B.A., 2002: Biology and ecology of higher diptera from freshwater wetlands Annu. Rev. Entomol, 47:207–232.

Leonard C. Ferrington Jr., 2008,Global diversity of non-biting midges (Chironomidae; Insecta-Diptera) in freshwater, Hydrobiologia (2008) 595:447–455 DOI 10.1007/s10750-007-9130-1

Lobinske R.J. & Ali A. & Frouz, J. 2002: Laboratory Estimation of Degree-Day Developmental Requirements of Glyptotendipes paripes (Diptera: Chironomidae).Environ. Entomol. 31(4), 608-611.

Martínez-Sanz, C., Fernández-Aláez C. & García-Criado F. 2012. Richness of littoral macroinvertebrate communities in mountain ponds from NW Spain: what factors does it depend on? Journal of Limnology 71: 154–163.

Rozkošný R. (eds) 1980: Klíč vodních larev hmyzu. Academia, Praha.

Seather O.A. 2000: Phylogeny of subfamilies od Chironomidae (Diptera). Systematic Entomology 25: 393-403.

Sondergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, J.P., 2005: Pond or lake: does it make any difference? Archiv für Hydrobiologie, 162: 143–165.

Oertli, B., Céréghino, R., Hull, A.,Miracle, R. 2009: Pond conservation: from science to practice. Hydrobiologia, 634: 1–9.

Oertli, B., Indermuehle, N., Angélibert, S., Hinden, H., Stoll, A. 2008: Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of the Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables. Hydrobiologia, 597: 29-41.

Oertli B., Joye D. A., Castella E., Juge R., Cambin D., & Lachavanne J. B. 2002. Does size matter? The relationship between pond area and biodiversity. Biological conservation 104(1): 59-70.

Williams P., Whitfield M., Biggs J., Bray S., Fox g., Pascale N., Sear D. 2003: Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. Biological Conservation, 115: 329-341.

Trichómy na listoch *Pelargonium zonale* po pôsobení žiarenia červenej a modrej vlnovej dĺžky

Michal TUROK-MECEŇO, Svetlana GÁPEROVÁ

Katedra biológie a ekológie FPV UMB, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica, e-mail: Michal.Turok-Meceno@studenti.umb.sk; e-mail: Svetlana.Gaperova@umb.sk

Abstract: Trichomes on Pelargonium zonale leaves under both blue and red wavelength radiation: *Plant growth under artificial sources of radiation is important in various fields of human life. Pleargonium zonale plants were used in our experiment. In the first part, we focused on studying the plants, which were grown under natural light conditions. Specifically, we watched the leaf epidermis with a focus on the length and frequency of trichomes. In the second part of the experiment, both blue and red wavelength radiation was applied to the plants within 10 days. Both frequency and average trichome length were significantly influenced.*

Keywords: *Pelargonium zonale, trichomes, radiation*

Úvod

Výskum rastlín pestovaných pod umelým zdrojom žiarenia má význam vo viacerých sférach života človeka. Vzhľadom ku globálnym klimatickým zmenám, ktoré negatívne ovplyvňujú aj poľnohospodársku produkciu, sa výskum v rastlinnej výrobe zameriava na tzv. rastlinné továrne (plant factories), od ktorých sa očakáva, že budú stabilnou a bezrizikovou možnosťou produkcie plodín (SHIMOKAWA et al., 2014). Svetelnými zdrojmi týchto tovární sú LED diódy, ktoré majú mnoho výhod oproti klasickým žiarivkám. Vývoj v oblasti umelého zdroja žiarenia pre rastliny zaznamenal významný pokrok v 90. rokoch minulého storočia, kedy bol kvôli potrebám NASA vyvinutý svetelný systém LED diód, ktorý bol energeticky šetrný a vyriešili sa ním dovtedy problémové otázky týkajúce sa odvádzania tepla, bezpečnosti a dizajnu používaných zdrojov žiarenia počas vesmírnych misií (STUTTE, 2015).

Ako vplýva umelý zdroj žiarenia na štruktúry rastlín bolo predmetom nášho záujmu. Zisťovali sme zmeny na listoch po pôsobení žiarenia červenej (630,9 nm) a modrej (459,3 nm) vlnovej dĺžky. Z výsledkov pozorovaní listov pelargónie pásikavej *Pelargonium zonal*e nám vyplynulo, že u trichómov na abaxiálnej a adaxiálnej pokožke po pôsobení žiarenia dochádza k zmenám. Pozorovali sme preto anatomicko-morfologické tvary krycích a žľaznatých trichómov, merali ich veľkosť a početnosť na 1 mm^2 u pelargónií rastúcich za prirodzených svetlených podmienok a u pelargónií vystavených 10 dňovému žiareniu červenej a modrej vlnovej dĺžky.

Teoretické východiská

Najaktívnejšími oblasťami spektra svetelného žiarenia, ktoré najviac ovplyvňujú rast a vývoj rastliny, je oblasť červeného žiarenia, najmä vlnové dĺžky 660 a 730 nm, a žiarenie modré s absorpčnými maximami 370, 450 a 480 nm. Aby rastliny mohli na žiarenie reagovať, musia byť schopné signál prijať, spracovať a preniesť na bunkovú úroveň, odkiaľ môže byť ďalej prenesený na úroveň morfogenetickú. Pre príjem signálu žiarenia je rastlina vybavená špecifickými receptormi. Tie sú známe pre oblasti žiarenia červeného, modrého a UV-A a UV-B (PROCHÁZKA et al., 1998). Aj keď takmer všetky z viditeľných farebných spektier môžu byť využité vo fotosyntéze, spektrá vo fialovo-modrej a oranžovo-červenej až červenej oblasti vlnových dĺžok sú využívané najčastejšie. Žiarenie v zelenej oblasti je odrážané. Listy zvyčajne absorbujú 80 % viditeľného žiarenia, ktoré na ne dopadá (BIDLACK a JANSKY, 2011).

K detekcii červeného a infračerveného žiarenia slúžia fytochrómy. Sú to fotoreceptory, ktoré sa vyskytujú u rastlín a ďalších fotosynteticky aktívnych organizmov, kde rôznym spôsobom regulujú

rast a vývoj rastlín (SEDLECKÝ, 2013). Fytochróm je chromoproteín. Jeho chromofórom je otvorený tetrapyrol, ktorý je kovalentne viazaný na proteín a v rastline sa nachádza ako dimér. Vyskytuje sa (ŠETLÍK, SEIDLOVÁ a ŠANTRŮČEK, s.a.) v dvoch konformačných formách, v neaktívnej forme absorbujúcej červené svetlo s maximom vlnovej dĺžky λ_{max}=660 nm (red absorbing phytochrome, Pr, P_{660}, forma *cis*) alebo v aktívnej forme absorbujúcej dlhovlnné červené svetlo s maximom vlnovej dĺžky λ_{max}=730 nm (far red absorbing phytochrome, Pfr, P_{730}, forma trans). V oblasti modrého spektra svetelného žiarenia (380 – 450 nm) sú u rastlín vyvolané fyziologické reakcie, ktoré sa prejavujú na rôznych úrovniach a s rôznou intenzitou, ktorá sa pri vývoji rastlinného tela môže meniť. V rastlinnom tele sa vyskytuje niekoľko druhov fotoreceptorov modrého žiarenia a žiarenia UV – A a UV – B. Sú to kryptochrómy, fototropín a zeaxantín (SEDLECKÝ, 2013). Kryptochróm a fototropín sa uplatňujú v tropizmoch, pri otváraní prieduchov a taktiež v morfogenéze klíčiacich rastlín. Kryptochróm 1 je fotostabilný, kryptochróm 2 je fotolabilný. Ich chromofórom u vyšších rastlín je látka flavónového typu. Niektoré reakcie spustené aktiváciou receptorov modrého žiarenia sú veľmi rýchle (v sekundách alebo minútach) a predstavujú pôsobenie na iónové kanály. Je to napr. zastavenie predlžujúceho rastu hypokotylu a zmeny v uzatváraní prieduchov. Väčšina reakcií prechodu klíčiacej rastliny k autotrofii je pomalšia a vyžaduje fosforylačné pochody v bunke a zmeny transkripcie (ŠETLÍK, SEIDLOVÁ a ŠANTRŮČEK, s.a.). Fototropín, v súlade so svojím názvom, sa zúčastňuje – ako membránová kináza – fototropických reakcií a reorientácie plastidov – ako odpoveď na zmenu intenzity svetla. Kryptochrómy sa zúčastňujú rovnakých morfogénnych a fotoperiodických procesov ako fytochrómy. Oba tieto typy fotoreceptorov (t.j. kryptochrómy aj fytochrómy) spolu v jadre interagujú a vo vzájomnej súhre v interakcii s transkripčnými faktormi riadia génovú expresiu ako reakciu na svetelné signály. Predpokladá sa, že kryptochrómy menia po prijatí svetelného signálu svoj redoxný stav a konformáciu (LUŠTINEC a ŽÁRSKÝ, 2005).

Trichómy sú výrastky pokožkových buniek a zaraďujú sa medzi epidermálne deriváty. Často vznikajú z buniek, ktoré sa tvarom a veľkosťou líšia od ostatných pokožkových buniek, tzv. trichoblastov. Tvar, hustota, rozmiestnenie a prezencia či absencia trichómov predstavuje veľmi významné determinačné znaky (VINTER, 2009). Funkcie mnohých trichómov nie sú známe. Môžu byť tvorené jednou bunkou alebo môžu byť mnohobunkové. Podľa funkcie delíme trichómy najčastejšie na krycie, žľaznaté a absorpčné. Krycie trichómy môžu byť jednobunkové i viacbunkové. Jednobunkové trichómy vznikajú rastom jednej epidermálnej bunky. Viacbunkové trichómy vznikajú delením jednej alebo niekoľkých epidermálnych buniek. Mladé trichómy sú tvorené živými bunkami. Niektoré trichómy zostávajú živé po celú dobu svojej existencie, u iných dochádza v priebehu diferenciácie k odumieraniu protoplastov a trichómy sú tak tvorené mŕtvymi bunkami, často vyplnené vzduchom, čo im dodáva striebristý vzhľad (VOTRUBOVÁ, 2010). Krycie trichómy nevylučujú žiadne látky. Okrem ochrannej funkcie zamedzujú intenzívnemu vyparovaniu vody (HUDÁK et al., 1989). Žľaznaté trichómy sú väčšinou zakončené hlavičkou pokrytou kutikulou. Pod ňou sa hromadí sekrét, napr. silice, živice a pod., ktorý sa po prasknutí kutikuly uvoľňuje (VINTER, 2009). Funkcia niektorých druhov sekrétov nie je známa, no mnohé sú významným zdrojom látok pre farmaceutický, kozmetický či potravinársky priemysel (VOTRUBOVÁ, 2010). Absorpčné trichómy sú schopné prijímať vodu a v nej rozpustené anorganické látky, sú to predovšetkým trichómy tvoriace koreňové vlásky (VINTER, 2009).

Materiál a metódy

Rastliny pelargónie pásikavej *Pelargonium zonale* sme vypestovali zo zakúpených semien v pôde určenej pre pelargónie. Kvetináče (5 kusov, v každom 3 rastliny) boli umiestnené v Laboratóriu štruktúrnej botaniky FPV UMB na okne, s dostatočným množstvom prirodzeného svetla a boli trikrát v týždni zalievané. Pokus sme realizovali v dvoch etapách. V prvej etape experimentu, ktorú sme realizovali po 120 dňoch rastu pelargónií za prirodzených svetelných podmienok (obr. 1), sme uskutočnili meranie dĺžky trichómov a zisťovanie početnosti trichómov na 1 mm^2. Uskutočnili sme v každej etape po 30 meraní t.j. 3 mikroskopické preparáty, v každom po 10 meraní. Pracovali sme so svetelným mikroskopom Kappa 2000, ktorý sme zamerali podľa postupu uvedeného v literatúre (GÁPEROVÁ a ROTH, 2007). V druhej etape experimentu sme umiestnili kvetináč s tromi rastlinami do tmavej miestnosti a aplikovali sme na ne 10 dní žiarenie červenej vlnovej dĺžky λ= 630,9 nm. Do

druhej tmavej miestnosti sme uložili kvetináč s tromi rastlinami a aplikovali sme na ne 10 dní žiarenie modrej vlnovej dĺžky λ= 459,3 nm. Zdrojom žiarenia boli lampy s farebnými RGB LED žiarovkami s nastaviteľnou vlnovou dĺžkou. Lampy sme každý deň zapínali na 12 hodín, vždy v rovnakom čase, v noci boli vypnuté. Po desiatich dňoch ožarovania sme uskutočnili tie isté pozorovania ako v prvej etape experimentu. Výsledky meraní trichómov z obidvoch etáp experimentu sme tabuľkovo spracovali, vypočítali sme aritmetický priemer (x), smerodajnú odchýlku (s_X), určili minimum (min) a maximum (max) pozorovaných znakov u troch skupín rastlín (A, B, C). A – rastliny z 1. etapy experimentu rastúce za normálnych svetelných podmienok. B – rastliny z 2. etapy experimentu po pôsobení žiarenia modrej vlnovej dĺžky (λ= 459,3 nm) a C – rastliny z 2. etapy experimentu po pôsobení žiarenia červenej vlnovej dĺžky (λ= 630,9 nm). Výsledky sme štatisticky a graficky vyhodnotili v programe STATISTICA 12, zostrojili sme krabicové grafy a zmeny pozorovaných parametrov sme vyjadrili aj percentuálne.

Obr. 1 *Pelargonium zonale* 120ty deň po výseve, foto M. Turok-Meceňo, 14.7.2015

Výsledky a diskusia

Prirodzené svetelné podmienky – 1. etapa experimentu

Na abaxiálnej aj adaxiálnej strane listu sa na epiderme pelargónií pásikavých vyskytovali krycie a žľaznaté trichómy (obr. 2, 3). Priemerná dĺžka krycích trichómov na abaxiálnej pokožke bola 455,0 µm a na adaxiálnej 326,7 µm. Priemerná dĺžka žľaznatých trichómov na abaxiálnej pokožke bola 412,3 µm a na adaxiálnej 452,3 µm (tab. 1).

Priemerná početnosť krycích trichómov abaxiálnej pokožky predstavovala 10,33 trichómov/mm^2. Početnosť žlaznatých trichómov abaxiálnej pokožky bola 9,33 trichómov/mm^2. Na adaxiálnej pokožke sme zaznamenali 14,33 krycích trichómov/mm^2 a 4,67 žľaznatých trichómov/mm^2. Percentuálne zastúpenie krycích a žľaznatých trichómov na 1mm^2 uvádzame v tab. 2.

Tab. 1 Priemerná dĺžka krycích a žľaznatých trichómov na abaxiálnej a adaxiálnej epiderme pelargónie pásikavej rastúcej za prirodzených svetelných podmienok

dĺžka trichómov	x (µm)	sx (µm)	min (µm)	max (µm)
krycie na abaxiálnej epiderme	455,0	117,9	270	720
žľaznaté na abaxiálnej epiderme	412,3	60,2	320	550
krycie na adaxiálnej epiderme	326,7	103,8	160	530
žľaznaté na adaxiálnej epiderme	452,3	109,9	220	700

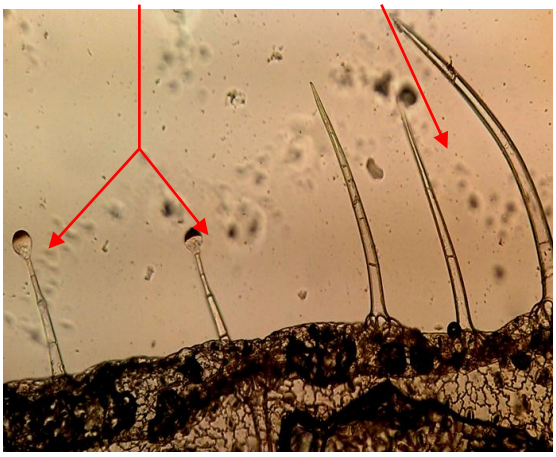
Tab. 2 Početnosť a percentuálne zastúpenie krycích a žľaznatých trichómov na 1 mm^2 na abaxiálnej a adaxiálnej epiderme pelargónie pásikavej rastúcej za prirodzených svetelných podmienok

trichómy na epiderme	počet/mm^2	percentuálne zastúpenie [%]
krycie na abaxiálnej	14,33	75,42
žľaznaté na abaxiálnej	4,67	24,58
krycie na adaxiálnej	10,33	52,54
žľaznaté na adaxiálnej	9,33	47,46

žľaznatý trichóm krycí trichóm

Obr. 2 Detail trichómov na abaxiálnej epiderme za prirodzených svetelných podmienok, zv. 1000x, foto M.Turok-Meceňo, 21.9.2015

žľaznaté trichómy krycie trichómy



Obr. 3 Trichómy na abaxiálnej epiderme za prirodzených svetelných podmienok, zv. 100x, foto M.Turok-Meceňo, 21.9.2015

Pôsobenie červeného a modrého žiarenia – 2. etapa experimentu

Priemerná dĺžka krycích trichómov sa po aplikácii žiarenia modrej vlnovej dĺžky λ= 459,3 nm skrátila na abaxiálnej epiderme o 46,3 µm a na adaxiálnej epiderme o 41,7 µm. Priemerná dĺžka žľaznatých trichómov sa po aplikácii žiarenia modrej vlnovej dĺžky λ= 459,3 nm skrátila na abaxiálnej epiderme o 43,9 µm, a na adaxiálnej epiderme o 63,3 µm (tab. 3).

Priemerná dĺžka krycích trichómov sa po aplikácii žiarenia červenej vlnovej dĺžky λ= 630,9 nm predĺžila na abaxiálnej epiderme o 76 µm a na adaxiálnej epiderme o 140,6 µm. Priemerná dĺžka žľaznatých trichómov sa po aplikácii žiarenia červenej vlnovej dĺžky λ= 630,9 nm skrátila na abaxiálnej epiderme o 83,6 µm, a na adaxiálnej epiderme o 0,3 µm (tab. 4).

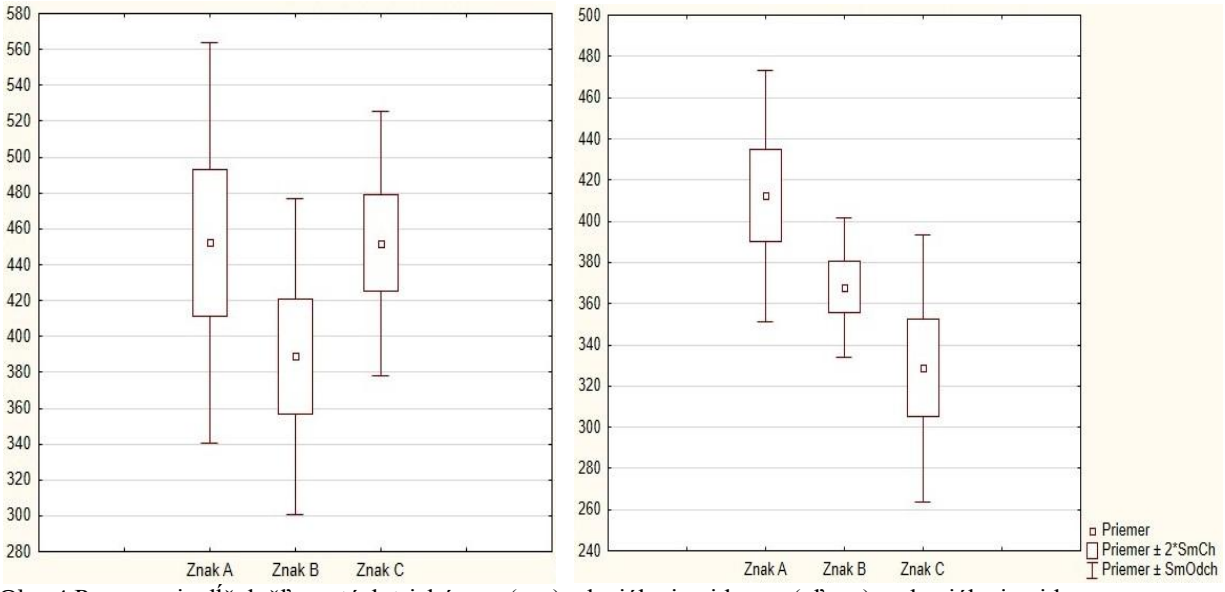
Dĺžku trichómov sme štatisticky vyhodnotili a vzájomne porovnali (obr. 4, 5). Žľaznaté trichómy sa na adaxiálnej strane epidermy po pôsobení žiarenia modrej vlnovej dĺžky skrátili a po pôsobení žiarenia červenej vlnovej dĺžky zostali takmer nezmenené. Na abaxiálnej epiderme sa skrátili po pôsobení obidvoch typov žiarení. Krycie trichómy sa na obidvoch stranách pokožky po pôsobení žiarenia modrej vlnovej dĺžky mierne skrátili a po pôsobení žiarenia červenej vlnovej dĺžky sa výrazne predĺžili.

Tab. 3 Priemerná dĺžka krycích a žľaznatých trichómov na abaxiálnej a adaxiálnej epiderme pelargónie pásikavej po 10 dňovom pôsobení žiarenia modrej vlnovej dĺžky λ= 459,3 nm

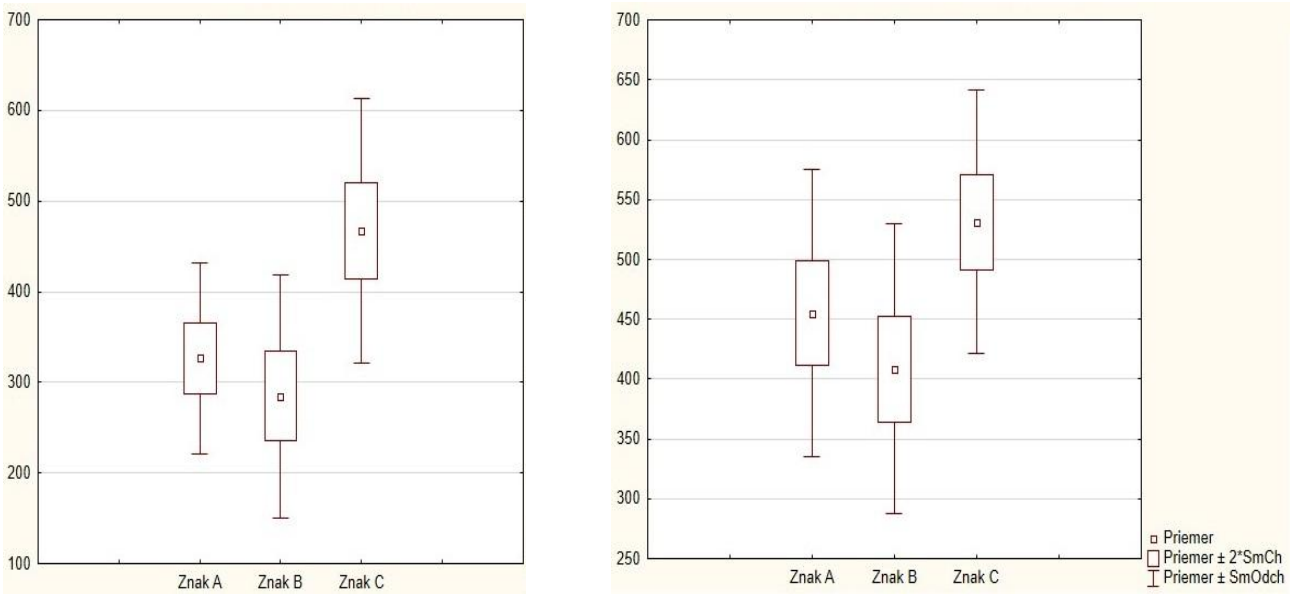
dĺžka trichómov	x (µm)	s_x (µm)	min (µm)	max (µm)
krycie na abaxiálnej epiderme	408,7	118,9	220	740
žľaznaté na abaxiálnej epiderme	368,4	33,4	310	460
krycie na adaxiálnej epiderme	285,0	131,8	150	900
žľaznaté na adaxiálnej epiderme	389,0	86,6	230	580

Tab. 4 Priemerná dĺžka krycích a žľaznatých trichómov na abaxiálnej a adaxiálnej epiderme pelargónie pásikavej po 10 dňovom pôsobení žiarenia červenej vlnovej dĺžky λ= 630,9 nm

dĺžka trichómov	x (µm)	sx (µm)	min (µm)	max (µm)
krycie na abaxiálnej epiderme	531,0	108,2	300	740
žľaznaté na abaxiálnej epiderme	328,7	63,6	200	480
krycie na adaxiálnej epiderme	467,3	143,9	230	780
žľaznaté na adaxiálnej epiderme	452,0	72,5	270	580



Obr. 4 Porovnanie dĺžok žľaznatých trichómov (µm) adaxiálnej epidermy (vľavo) a abaxiálnej epidermy (vpravo) listov *Pelargonium zonale* za prirodzených svetelných podmienok (Znak A), po aplikácii žiarenia modrej vlnovej dĺžky λ= 459,3 nm (Znak B) a po aplikácii žiarenia červenej vlnovej dĺžky λ= 630,9 nm (Znak C)



Obr. 5 Porovnanie dĺžok krycích trichómov (µm) adaxiálnej epidermy (vľavo) a abaxiálnej epidermy (vpravo) listov *Pelargonium zonale* za prirodzených svetelných podmienok (Znak A), po aplikácii žiarenia modrej vlnovej dĺžky λ= 459,3 nm (Znak B) a po aplikácii žiarenia červenej vlnovej dĺžky λ= 630,9 nm (Znak C)

Priemerná početnosť trichómov sa po aplikácii žiarenia modrej vlnovej dĺžky λ= 459,3 nm na abaxiálnej epiderme zvýšila o 22,1 % a na adaxiálnej epiderme zvýšila o 49,1 %, pričom najväčší prírastok predstavujú krycie trichómy na adaxiálnej epiderme, a to 83,7 %.

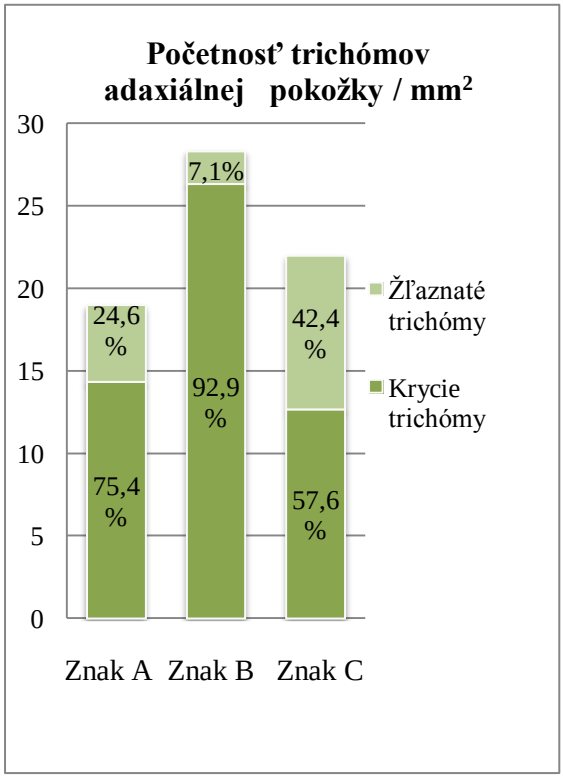
Priemerná početnosť trichómov sa po aplikácii žiarenia červenej vlnovej dĺžky λ= 630,9 nm na abaxiálnej epiderme znížila o 20,3 % a na adaxiálnej epiderme zvýšila o 15,8 % (tab. 5, 6; obr. 6, 7).

Tab. 5 Početnosť a percentuálne zastúpenie krycích a žľaznatých trichómov na 1 mm^2 na abaxiálnej a adaxiálnej epiderme pelargónie pásikavej po 10 dňovom pôsobení žiarenia červenej vlnovej dĺžky λ= 630,9 nm

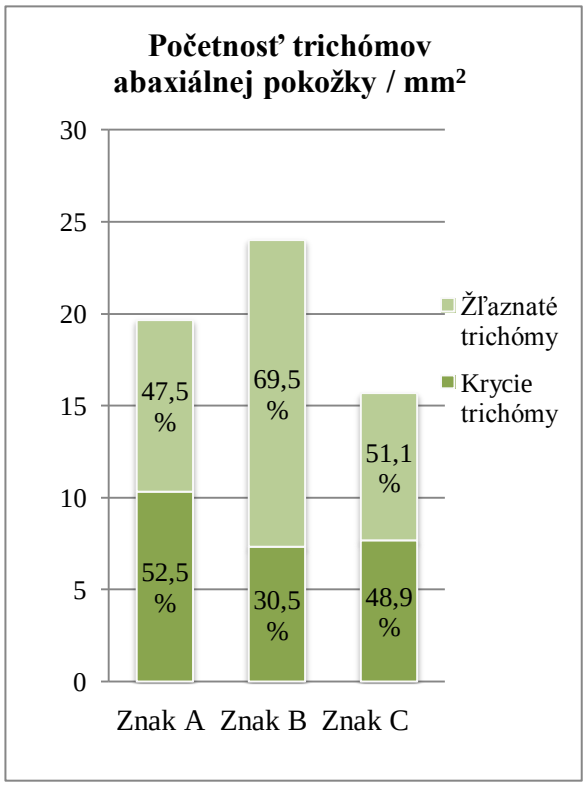
trichómy na epiderme	počet/mm^2	percentuálne zastúpenie [%]
krycie na abaxiálnej	7,7	48,9
žľaznaté na abaxiálnej	8,0	51,1
krycie na adaxiálnej	12,7	57,6
žľaznaté na adaxiálnej	9,3	42,4

Tab. 6 Početnosť a percentuálne zastúpenie krycích a žľaznatých trichómov na 1 mm^2 na abaxiálnej a adaxiálnej epiderme pelargónie pásikavej po 10 dňovom pôsobení žiarenia modrej vlnovej dĺžky λ= 459,3 nm

trichómy na epiderme	počet/mm^2	percentuálne zastúpenie [%]
krycie na abaxiálnej	7,3	30,5
žľaznaté na abaxiálnej	16,7	69,5
krycie na adaxiálnej	26,3	92,9
žľaznaté na adaxiálnej	2,0	7,1



Obr. 6 Početnosť trichómov listov na 1 mm^2 listovej plochy adaxiálnej pokožky *Pelargonium zonale* po slnečnom ožarovaní (Znak A), po aplikácii žiarenia modrej vlnovej dĺžky λ= 459,3 nm(Znak B) a po aplikácii žiarenia červenej vlnovej dĺžky λ= 630,9 nm (Znak C)



Obr. 7 Početnosť trichómov listov na 1 mm^2 listovej plochy abaxiálnej pokožky *Pelargonium zonale* po slnečnom ožarovaní (Znak A), po aplikácii žiarenia modrej vlnovej dĺžky λ= 459,3 nm(Znak B) a po aplikácii žiarenia červenej vlnovej dĺžky λ= 630,9 nm (Znak C)

Podľa Iancuovej (IANCU et al., 2013) sú v pokožke *Pelargonium zonale* prítomné krycie aj žľaznaté trichómy. Celkový výskyt trichómov považujú za hustý. Krycie trichómy majú redšiu početnosť než žľaznaté, sú dlhé, tenké a mnohobunkové. Žlaznaté trichómy autori delia na krátke, ktorých tzv. bazálne pódium je tvorené z 2 – 4 buniek, a dlhé, ktorých bazálne pódium tvoria 3 – 4 bunky. Žľaznaté bunky sú ukončené guľatou alebo hruškovito tvarovanou žľazou. Podľa našich pozorovaní majú redšiu početnosť žľaznaté trichómy.

Záver

Uskutočnili sme pozorovania pokožiek listov *Pelargonium zonale*, na ktorých sme sledovali veľkosti a početnosť trichómov za normálnych svetelných podmienok, a následne sme tieto pozorovania porovnali so zmenami na pokožkách u pelargónií, na ktoré sme na 10 dní aplikovali červené a modré žiarenie. Zistili sme, že priemerná dĺžka krycích a žľaznatých trichómov sa pôsobením žiarenia červenej aj modrej vlnovej dĺžky mení. K najvýraznejším zmenám (predĺženie krycích trichómov) došlo vystavením rastlín pôsobeniu žiarenia červenej vlnovej dĺžky. Početnosť trichómov na 1 mm^2 sa u pelargónií pásikavých na oboch stranách epidermy po pôsobení žiarenia menila.

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol s podporou projektu KEGA 049UMB-4/2016.

Literatúra

BIDLACK, J, E., JANSKY, S, H. 2011. *Stern's introductory plant biology.* New York : McGraw-Hill Education, 2011. 640 p. ISBN 978-0-07-122212-9

GÁPEROVÁ, S., ROTH, P. 2007. *Anatómia a morfológia rastlín.* Banská Bystrica : Univerzita Mateja Bela, Fakulta prírodných vied, 2007. 146 s. ISBN 978-80-8083-552-1

HUDÁK, J., DVOŘÁK, M., HERICHOVÁ, A., LUX, A., NÁTR, L., PETERKOVÁ, I. 1989. *Biológia rastlín.* Bratislava : Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1989. 400 s. ISBN 80-08-00065-1

IANCU, E, C., CIOANCA, O., MIRCEA, C., HĂNCIANU, M. 2013. *Contributions regarding the leaf histo-anatomy of some Pelargonium species,* 2013, Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi 117(3):812-8.

LUŠTINEC, J., ŽÁRSKÝ, V. 2005. *Úvod do fyziologie vyšších rostlin.* Praha : Univerzita Karlova v Praze – Nakladatelství Karolinum, 2005. 262 s. ISBN 80-246-0563-5

PROCHÁZKA, S., GLOSER, J., HAVEL, L., KREKULE, J., MACHÁČKOVÁ, I., NÁTR, L., PRÁŠIL, I., SLADKÝ, Z., ŠANTRŮČEK, J., ŠEBÁNEK, J., TESAŘOVÁ, M., VYSKOT, B. 1998. *Fyziologie rostlin.* Praha : Academia, 1998. 484 s. ISBN 80-200-0586-2

SEDLECKÝ, L. 2013. *Fotomorfogeneze: vliv světla na procesy vývoje rostlin ve výuce biologie na školách* : diplomová práca. Praha : Univerzita Karlova v Prahe, 2013. 147 s.

SHIMOKAWA, A., TONOOKA, Y., MATSUMOTO, M., ARA, H., SUZUKI, H., YAMAUCHI, N., SHIGYO M. 2014. *Effect of alternating red and blue light irradiation generated by light emitting diodes on the growth of leaf lettuce,* [online] 2014, [cit. 2016-03-30]. Dostupné na internete: http://biorxiv.org/content/early/2014/02/28/003103

STUTTE, G, W. 2015. *Lightning the Way to the Stars,* 2015, Patent number: KSC-E-DAA-TN23507

ŠETLÍK, I., ŠANTRŮČEK, J., SEIDLOVÁ, F. [s.a.]. *Fyziologie rostlin.* [online].[s.a.] [cit. 2016-2-2]. Dostupné na internete: <http://web.natur.cuni.cz/biochem/kucera/rostliny/is/fyzros.html>

VINTER, V. 2009. *Rostliny pod mikroskopem (Základy anatomie cévnatých rostlin*). Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. 201 s. ISBN 978-80-244-1972-5

VOTRUBOVÁ, O. 2010. *Anatomie rostlin.* Praha : Karolinum, 2010. 192 s. ISBN 978-80-246-1867-8.

Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela

ŠVK 2016

SEKCIA CHÉMIA

Recenzenti:
doc. RNDr. Fridrich GREGÁŇ, CSc.
RNDr. Zuzana MELICHOVÁ, PhD.
Mgr. Barbora TIRČOVÁ, PhD.

Vibračne rozlíšené UV-VIS spektrum alizarínu v metanolovom roztoku

Jela NOCIAROVÁ, Miroslav MEDVEĎ

Katedra chémie FPV UMB, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica,
e-mail: jela.nociarova@gmail.com

Abstract: Vibrationally resolved UV-VIS spectrum of alizarin in methanol solution: *Anthraquinones and their derivatives are an important class of organic dyes of large technological interest, mainly because of the possibility to tune their colour by applying substituents on the aromatic core and thus obtain a broad range of shades. Ab anitio methods of computational chemistry can be successfully used in prediction of their UV-VIS spectra. In this work, TD-DFT is used to simulate the vibrationally resolved electronic spectrum of 1,2-dihydroxyanthraquinone (alizarin) in methanol solution using the FCClasses program. Due to the excited-state internal proton transfer, the most used procedure to account for environmental effects (LR-PCM) is not suitable for the proper description of the excited state. Therefore, we use a more advanced model of the solvent (cLR) not only to correct the values of transition energies but also to calculate the vibrational frequencies and normal modes of the molecule. Calculated spectra are in good agreement with the measured ones.*

Keywords: *alizarin, vibrationally resolved UV-VIS spectrum, Franck-Condon principle, TD-DFT, solvation models*

Úvod

Hoci ľudstvo sa tisícročia venovalo získavaniu farbív z prírodných zdrojov, chémia farbív sa ako samostatná veda s nezanedbateľným dopadom na rozvoj priemyslu začala rozvíjať až od 19. storočia spolu s rozvojom poznatkov organickej syntézy. Významnou skupinou syntetických farbív sú deriváty antrachinónu, keďže voľbou vhodných substituentov na aromatických jadrách je možné získať celú paletu odtieňov. Niet preto divu, že ich výroba predstavuje takmer tretinu súčasnej svetovej produkcie farbív [1].

Pri výskume fotochemických vlastností látok sa dnes uplatňujú aj metódy teoretickej a počítačovej chémie. Simulácie vlastností molekúl sú v oblasti UV-VIS spektroskopie používané ako pomôcka pri priraďovaní pásov v experimentálne nameraných spektrách, odkrývajú hlbší vzťah medzi štruktúrou a spektrom zlúčenín a pomáhajú navrhnúť nové látky so špecifickými žiadanými vlastnosťami (napr. farbivá, materiály pre fotovoltaiku a LED diódy) [2].

Pomocou súčasne dostupných metód je relatívne jednoduché vypočítať (vertikálnu) excitačnú energiu a tak získať predstavu o elektrónových excitovaných stavoch molekuly. Priamo porovnávať tieto údaje s experimentálne nameranými spektrami však nie je možné, keďže v spektrách sa pozoruje rozšírenie spektrálnych čiar v dôsledku existencie mnohých vibračných hladín základného a excitovaného stavu (tzv. vibračný coupling) a ďalších efektov. Na správne zahrnutie týchto efektov pri simulácii UV-VIS spektra je potrebné poznať hyperplochu potenciálnej energie základného aj excitovaného stavu (vypočítať vibračné frekvencie a normálne módy molekuly), čo je výpočtovo náročné. Práve preto bolo donedávna priamych porovnaní medzi vypočítanými a experimentálnymi spektrami relatívne málo [3].

Cieľom tejto práce je simulácia vibračne rozlíšeného spektra 1,2-dihydroxyantrachinónu pochádzajúceho z prechodu elektrónu do najnižšieho singletového excitovaného stavu (prechod $S_0 \rightarrow S_1$). 1,2-Dihydroxyantrachinón, známy aj ako alizarín, je prírodné farbivo oddávna používané na farbenie textílií. V súčasnosti je predmetom záujmu aj pre jeho možné farmakologické účinky, použitie v analytickej chémii a technologické aplikácie [4,5].

Teoretické východiská

Elektromagnetické žiarenie je vlnovo-korpuskulárna forma energie šíriaca sa vo vákuu konštantnou rýchlosťou $2{,}997\,925 \cdot 10^8\ m \cdot s^{-1}$. Medzi frekvenciou υ, energiou E a vlnovou dĺžkou λ žiarenia platia vzťahy:

$$E = h\upsilon \tag{1}$$

$$\upsilon = \frac{c}{\lambda} \tag{2}$$

kde h je Planckova konštanta. Na základne rozdielnych vlnových dĺžok je elektromagnetické žiarenie rozdelené na rádiové, mikrovlnné, infračervené, viditeľné, ultrafialové, RTG a gama žiarenie. Medzi týmito oblasťami však nie sú ostré rozdiely [6,7].

Pri interakcii elektromagnetického žiarenia s látkou môže nastať rozptyl, odraz, lom, interferencia, polarizácia alebo absorpcia žiarenia. Hoci všetky tieto javy našli v chémii uplatnenie (najmä pri inštrumentálnej analýze chemických látok), azda najvýznamnejším typom interakcie je absorpcia, pri ktorej dochádza k pohlteniu fotónu molekulou interagujúcej chemickej látky. Fotón pri tomto procese zaniká, jeho energia sa odovzdá molekule, ktorá sa dostáva zo základného stavu s energiou E_0 do excitovaného stavu s energiou E_1. O vzťahu medzi frekvenciou absorbovaného žiarenia ν a energetickými stavmi molekuly hovorí podmienka absorpcie [6]:

$$\Delta E = E_1 - E_0 = h\nu \tag{3}$$

Každá molekula chemickej látky sa vyznačuje ustavičným pohybom, ktorý môže byť formálne rozdelený na translačný pohyb celej molekuly, rotačný pohyb molekuly ako celku, vibračný pohyb jednotlivých atómov a pohyb elektrónov. Všetky tieto pohyby s výnimkou translačného sú kvantované, čo znamená, že im prislúchajúca energia nemôže pre viazaná stavy nadobúdať spojité hodnoty. Práve kvantovaním rotačnej, vibračnej a elektrónovej energie molekúl sa vysvetľuje existencia diskrétnych energetických hladín [7].

Za farebnosť látok je zodpovedná absorpcia elektromagnetického žiarenia s vlnovou dĺžkou prislúchajúcou viditeľnému svetlu (380 – 780 nm). Látka odráža (prípadne prepúšťa) žiarenie všetkých ostatných vlnových dĺžok okrem vlnových dĺžok absorbovaného žiarenia, teda sfarbenie látky je dané komplementárnou farbou k farbe žiarenia, ktoré látka pohlcuje.

Tab. 1 Vzťah medzi vlnovou dĺžkou absorbovaného svetla a farbou zlúčeniny (upravené podľa [7])

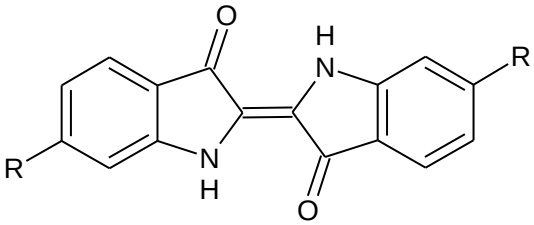
Vlnová dĺžka absorbovaného žiarenia (λ)	*Farba absorbovaného žiarenia*	*Farba zlúčeniny (komplementárna farba)*
400 – 435	fialová	žltozelená
435 – 480	modrá	žltá
480 – 490	zelenomodrá	oranžová
590 – 500	modrozelená	červenooranžová
500 – 560	zelená	purpurová
560 – 580	zelenožltá	fialová
580 – 595	žltooranžová	modrá
595 – 610	červenooranžová	zelenomodrá
620 – 760	červená	modrozelená

Vlnovej dĺžke viditeľného svetla prislúcha energia rádovo niekoľko elektrónvoltov (1,6 – 3,3 eV), čo zodpovedá energetickým rozdielom medzi elektrónovými hladinami v molekule. Keďže však tieto rozdiely sú oveľa väčšie ako rozdiely medzi vibračnými hladinami, a tie sú zasa oveľa väčšie ako rozdiely medzi rotačnými hladinami, každá elektrónová hladina má svoje vibračné podhladiny a taktiež každá vibračná hladina má rotačné podhladiny. Vďaka tomu sa vo vibračných spektrách pozoruje rotačná štruktúra a v elektrónových spektrách vibračná štruktúra absorpčných pásov (tzv. vibračný coupling) [7,8].

Za farebnosť zlúčeniny zvyčajne nezodpovedá celá molekula, ale len skupina atómov, ktorú nazývame chromofor (z gr. *nosič farby*). Chromofory umožňujú rozdeliť organické farbivá do

niekoľkých kategórií, z ktorých najznámejšie sú azofarbivá, indigové farbivá a antrachinónové farbivá [7,9].

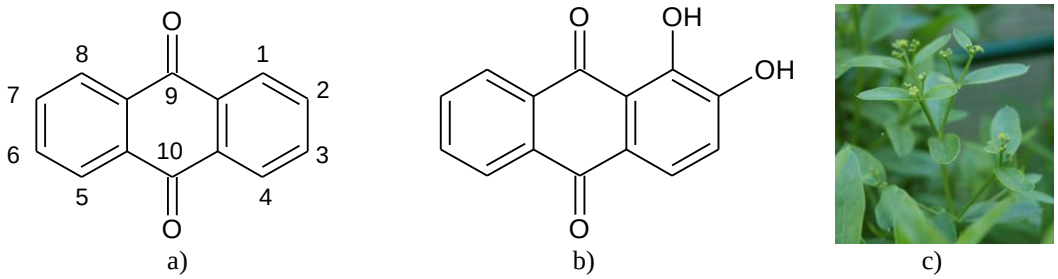
Ľudia sa odpradávna venovali farbeniu látok prírodnými farbivami, získanými z rastlinných či živočíšnych zdrojov. Príkladom prvej skupiny farbív je indigo (obr. 1), tmavomodré farbivo získavané z tropických a subtropických rastlín rodu *Indigofera*, v súčasnej dobe už úplne nahradené svojím syntetickým analógom. Iné indigové farbivo, týrsky purpur, sa získavalo z tiel morských ulitníkov rodu *Murex*, čo takmer viedlo k ich vyhynutiu [10].



Obr. 1 Základný skelet indigových farbív
R = H: indigo, R = Br: 6,6‘-dibromoindigo,
hlavná zložka farbiva týrsky purpur

Prelom v používaní farbív nastal až v roku 1856, kedy sa anglickému chemikovi Williamovi Henrymu Perkinovi podarilo pripraviť prvé syntetické farbivo nazvané mauveín. Syntézou antrachinónu (obr. 2a) sa otvorila cesta k príprave ďalších farebných zlúčenín, a tak farebné textílie prestali byť výsadou šľachty. Výnimočnosť antrachinónových farbív spočíva v tom, že vlnová dĺžka maxima ich absorpcie sa dá ľahko ovplyvňovať vhodnou voľbou substituentov na aromatických jadrách v polohách 1-8 [1,11].

1,2-dihydroxyantrachinón (alizarín; obr. 2b) je organické antrachinónové farbivo vyskytujúce sa v prírode v koreňoch rastlín z čeľade marenovité (*Rubiaceae*). Už od antických dôb sa extrakt z týchto rastlín používal na farbenie látok a ako maliarsky pigment. V roku 1868 sa alizarín stal prvým prírodným farbivom, ktoré sa podarilo pripraviť synteticky. V súčasnosti sa alizarín stále používa na farbenie látok, aj keď v menšej miere ako kedysi. Schopnosť alizarínu tvoriť komplexy s niektorými iónmi kovov je zodpovedná za jeho farmakologické účinky a využitie v analytickej chémii. Alizarín vykazuje zaujímavé fotochemické vlastnosti, preto sa uvažuje s jeho aplikáciou vo farbivom senzibilizovaných solárnych článkoch. [4,5,11].

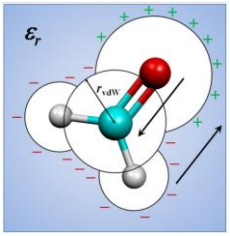


Obr. 2 (a) Antrachinón, (b) alizarín a (c) marena farbiarska (*Rubia tinctorum)*, jej koreň bol v minulosti hlavný zdroj alizarínu a príbuzných farbív
(Zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rubia_tinctorum_flowers.jpg)

Metodológia

Spomedzi mnohých kvantovochemických prístupov je v súčasnosti jedna z najpoužívanejších teória funkcionálu hustoty (*Density Functional Theory*, DFT) a jej časovo závislé rozšírenie pre excitované stavy molekúl (*Time-Dependent DFT*, TD-DFT). Metóda DFT má oproti ostatným viacero výhod, hlavne relatívnu presnosť poskytovaných výsledkov pri súčasnej menej náročnej výpočtovej náročnosti [11].

Väčšina fotochemických procesov sa týka solvatovaných molekúl, preto je pri výpočtoch potrebné správne zahrnúť efekty rozpúšťadla. Na modelovanie solvatačných efektov sa často používa metóda polarizovateľného kontinua (*Polarizable continuum model*, PCM), ktorá patrí medzi implicitné modely, čo znamená, že neopisuje rozpúšťadlo ako jednotlivé molekuly, ale ako homogénne prostredie charakterizované jeho elektrickou permitivitou. Molekula je umiestnená v dutine (kavite) v tomto prostredí. Interakcia medzi

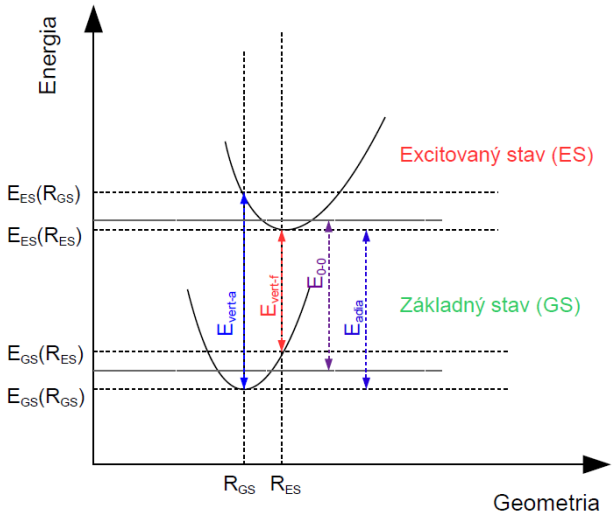


Obr. 3 Detail implicitného modelu rozpúšťadla
(Zdroj: [12]

molekulou a prostredím sa prejavuje ako nabitie rozhrania medzi molekulou a rozpúšťadlom a prispôsobením elektrónovej hustoty molekuly (obr. 3) [12].

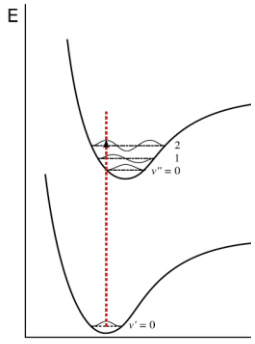
Pre opis excitovaných stavov bolo vytvorených niekoľko variácií modelu PCM. Najjednoduchší prístup je založený na teórii lineárnej odozvy (*Linear Response*, LR), ktorá však nemusí poskytnúť správne výsledky v prípadoch, keď dochádza k veľkému prenosu náboja počas prechodu, teda rozdiel medzi polaritou základného a excitovaného stavu je veľký. V týchto prípadoch býva užitočné na opis interakcie molekuly a rozpúšťadla použiť upravenú metódu lineárnej odozvy (*Corrected Linear Response*, cLR) alebo SS-PCM (*State-Specific* PCM), ktoré vo väčšine prípadov poskytujú fyzikálne správnejší opis solvatácie molekuly v excitovanom stave [12-14].

Vo všetkých prípadoch (či už sa použije metóda LR alebo cLR, resp. SS-PCM), výpočet solvatácie v excitovanom stave je možné uskutočniť v rovnovážnom alebo nerovnovážnom režime (*Equilibrium / Non-equilibrium regime*). Na zmenu elektrónového stavu molekuly prostredie reaguje dvoma spôsobmi: mení sa elektrónová distribúcia v molekulách rozpúšťadla, čo je rýchly proces, no molekuly rozpúšťadla taktiež menia svoju orientáciu (napr. rotáciou), čo je oveľa pomalší dej. Simulácia solvatácie v rovnovážnom režime zahŕňa oba tieto procesy a je vhodná napríklad pri výpočte optimálnej geometrie elektrónovo excitovanej molekuly. Naopak, výpočet v nerovnovážnom režime zahŕňa len redistribúciu elektrónov v molekulách rozpúšťadla a je vhodný pri simulácii rýchlych procesov, napr. pri výpočte vertikálnej excitačnej energie (energetický rozdiel medzi základným a excitovaným stavom v bode prislúchajúcom zoptimalizovanej geometrii základného stavu, na obr. 4 označené ako $E_{vert\text{-}f}$). Tieto energie môžu byť pomocou TD-DFT spočítané relatívne jednoducho, no neumožňujú priame porovnanie s experimentálnymi spektrami, v ktorých hrajú nezanedbateľnú rolu vibračné príspevky – hovoríme o vibronických prechodoch [15-16].



Obr. 4. Diagram znázorňujúci energetické rozdiely medzi excitovaným a základným stavom a rôzne druhy excitačných energií (upravené podľa [15])

O vibračnej štruktúre elektrónových spektier hovorí Franckov – Condonov princíp: Keďže jadrá atómov sú oveľa ťažšie ako elektróny, elektrónový prechod sa odohrá oveľa rýchlejšie, ako stihnú zareagovať jadrá, teda prechod sa uskutoční bez zmeny polôh jadier atómov (ide o tzv. vertikálny prechod). Elektrón prejde na tú vibračnú hladinu excitovaného stavu, ktorá najviac pripomína vibračný stav základného elektrónového stavu molekuly (v zmysle prekryvu vibračných vlnových funkcií). Molekula sa pred absorpciou žiarenia nachádza v základnom vibračnom stave (v niektorých prípadoch môžu hrať rolu aj excitované vibračné stavy, ktoré sú obsadené podľa Boltzmannovej distribúcie), teda prechod (väčšinou) nastáva z jedinej vibronickej hladiny základného stavu do niekoľkých hladín excitovaného stavu. Keďže vibračné hladiny sa nachádzajú tesne vedľa seba, v spektre sa pozoruje väčší počet píkov, ktorých vzdialenosti závisia od vibračných hladín excitovaného stavu [8].



Obr. 5 Franckov – Condonov princíp [18]

Veličina vyjadrujúca pravdepodobnosť prechodu elektrónu medzi dvoma stavmi i a f s rozdielom energie $h\upsilon$ sa nazýva efektívny absorpčný prierez $\sigma(\upsilon)$ a (v prípade zahrnutia teploty a teda existencie viacerých obsadených vibračných hladín w_i základného stavu i) sa počíta ako:

$$\sigma(\upsilon) = \frac{4\pi^2\upsilon}{3c}\sum_{w_i}\rho_{w_i}\sum_{f,w_f}\left|\langle w_i|\mu_{if}^e|w_f\rangle\right|^2\varrho(E_{w_f}) \tag{4}$$

kde c je rýchlosť svetla, ρ_{w_i} je Boltzmannova populácia stavu w_i, w_i a w_f sú vibračné vlnové funkcie prislúchajúce elektrónovým stavom i a f, μ_{if}^e je elektrónový prechodový dipólový moment a $\varrho(E_{w_f})$ je hustota stavov (počet stavov v intervale energií vydelený šírkou tohto intervalu) [17]. V rámci Franckovej – Condonovej aproximácie je elektrónový prechodový dipólový moment μ_{if}^e považovaný za konštantný, preto je vzťah (4) možné upraviť vybratím μ_{if}^e pred integrál:

$$\sigma(\upsilon) = \frac{4\pi^2\upsilon}{3c}\sum_{w_i}\rho_{w_i}\sum_{f,w_f}\left|\mu_{if}^e\right|^2\cdot\left|\langle w_i|w_f\rangle\right|^2\varrho(E_{w_f}) \tag{5}$$

Intenzita vibronického prechodu je teda v rámci tejto aproximácie priamo úmerná druhej mocnine prekryvového integrálu $\langle w_i|w_f\rangle$ vibračných vlnových funkcií príslušných elektrónových stavov. Na výpočet týchto integrálov sa uplatňuje analytická alebo rekurzívna metóda [3,18].

Na simuláciu spektier je možné použiť *FCClasses*, program na výpočet vibračne rozlíšených absorpčných, emisných spektier a spektier cirkulárneho dichroizmu [19]. Výpočet absorpčného spektra prebieha podľa Franckovho-Condonovho princípu, ktorý je vhodný, pokiaľ je prechodový dipólový moment relatívne veľký. Ďalej sa predpokladá, že platí harmonická aproximácia (potenciálnu energiu je možné opísať kvadratickou funkciou). Vibračný pohyb N atómov, ktoré tvoria (vo všeobecnosti nelineárnu) molekulu, je možné opísať pomocou systému $3N-6$ normálnych módov (normálny mód je nezávislý pohyb atómov v molekule, ktorý sa vyskytuje bez ovplyvnenia iných normálnych módov).

<u>Na simuláciu vibračne rozlíšeného absorpčného spektra programom *FCClasses* je potrebné poznať:</u>

1. Optimálne geometrie molekuly v základnom a excitovanom stave
2. Normálne módy a frekvencie vibrácií molekuly v základnom a excitovanom stave
3. Prechodový dipólový elektrónový moment v geometrii základného a excitovaného stavu
4. Veľkosť adiabatickej excitačnej energie ($E_{adia,}$ obr. 4) v elektrónvoltoch

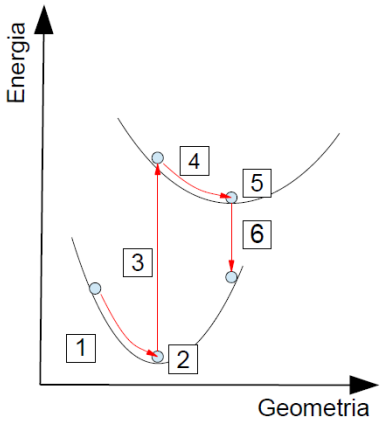
Potrebné vstupné údaje je možné získať akýmkoľvek kvantovochemickým programom, ktorý umožňuje opis vlastností molekuly v základnom aj excitovanom stave, napr. programom Gaussian 09 [20].

Výstupom z programu *FCClasses* je čiarové spektrum, ktoré je ďalej upravené konvolúciou (zjednodušene povedané, čiarovým spektrom sú postupne prekladané vhodné funkcie závislé od intenzity danej spektrálnej čiary). Takto sa získa závislosť molárneho absorpčného koeficientu ε (ktorý je priamo úmerný účinnému prierezu) od energie pohlteného žiarenia priamo porovnateľná s experimentálne nameranými spektrami, v ktorých sa okrem rozšírenia spektrálnych čiar vplyvom vibračných príspevkov pozorujú ešte ďalšie efekty známe ako homogénne a nehomogénne rozšírenie. Homogénne rozšírenie ovplyvňuje všetky molekuly vzorky rovnako, jeho priebeh má charakter Lorentzovej funkcie. Zahŕňa tzv. prirodzené rozšírenie (spôsobené platnosťou Heisenbergovho princípu neurčitosti: súčin doby života častice a neurčitosti určenia jej energie je väčší ako redukovaná Planckova konštanta) a rozšírenie kvôli vzájomným zrážkam častíc. Nehomogénne rozšírenie ovplyvňuje každú molekulu rozdielne, vytvára distribúciu molekúl opísateľnú Gaussovou funkciou. Do tejto kategórie patrí rozšírenie vďaka Dopplerovmu efektu a vďaka prostrediu, v ktorom sa molekula nachádza (použitému rozpúšťadlu). Prítomnosť ďalších častíc v okolí absorbujúcej molekuly ovplyvňuje lokálne elektrické pole, čím dochádza k rozšíreniu spektrálnych čiar známemu ako Starkov jav. Tento efekt je výrazný hlavne v polárnych rozpúšťadlách. Na rozšírenie spektrálnych čiar má vplyv aj tvorba asociátov, napríklad vodíkových mostíkov [7-8,21-24].

Metódy

Kroky, ktoré je potrebné vykonať, aby sme získali všetky potrebné vstupné údaje do programu FCClasses na simuláciu vibračne rozlíšeného absorpčného spektra alizarínu rozpusteného v metanole, vznikajúceho vďaka elektrónovému prechodu do najnižšieho elektrónového excitovaného stavu (prechod $S_0 \rightarrow S_1$) sumarizuje obr. 4:

1. Určenie optimálnej geometrie v základnom stave
2. Vibračná analýza optimálnej štruktúry základného stavu (výpočet frekvencií a normálnych módov)
3. Výpočet vertikálnej excitačnej energie na optimálnej štruktúre základného stavu (výpočet prechodového dipólového momentu v geometrii základného stavu)
4. Optimalizácia molekuly v excitovanom stave (optimálna geometria excitovaného stavu)
5. Vibračná analýza optimálnej štruktúry excitovaného stavu (výpočet frekvencií a normálnych módov)
6. Výpočet vertikálnej (de)excitačnej energie na optimálnej štruktúre excitovaného stavu (výpočet prechodového dipólového momentu v geometrii excitovaného stavu)
7. Adiabatická excitačná energia sa získa ako rozdiel absolútnych energií molekuly v bode 2 a 5.



Obr. 5 Schéma výpočtu vstupných údajov pre simuláciu absorpčného spektra programom FCClasses

Optimalizácia molekuly alizarínu v základnom stave a následná vibračná analýza boli urobené metódou DFT s použitím funkcionálu B3LYP a bázy 6-31G(d,p). Vplyv rozpúšťadla bol zahrnutý na úrovni PCM. Kvôli spresneniu výsledkov boli použité prísnejšie konvergenčné kritériá pri optimalizácii (opt=tight) a iteračnom riešení SCF rovníc (SCF=(conver=10,novaracc)). Takto bol lokalizovaný stacionárny bod na hyperploche potenciálnej energie a vibračnou analýzou bolo potvrdené, že má skutočne charakter minima a nie tranzitného stavu.

Získanú štruktúru alizarínu zodpovedajúcu minimu v základnom stave sme použili ako vstup na **výpočet vertikálnej excitačnej energie** metódou TD-DFT, s použitím toho istého funkcionálu, ale väčšej bázy (6-311+G(2d,p) a zahrnutím vplyvu rozpúšťadla metódou LR-PCM v nerovnovážnom režime. Výpočet predbežne ukázal, že za farebnosť alizarínu je zodpovedný elektrónový prechod $S_0 \rightarrow S_1$, a teda práve prvý excitovaný stav je ten, ktorému je potrebné venovať pozornosť v ďalších výpočtoch (td=(root=1)).

Optimalizácia excitovaného stavu S_1 (TD-DFT, funkcionál B3LYP, báza 6-31G(d,p), LR-PCM v rovnovážnom režime) nasvedčuje tomu, že po excitácii dochádza k prenosu protónu –OH skupiny (tautomérii) na kyslík karbonylovej skupiny. Uskutočnili sme sken hyperplochy potenciálnej energie pozdĺž väzby O–H na uhlíku č. 1: dĺžku väzby O–H sme fixovali na hodnotách od 0.8 Å do 2.0 Å s krokom 0.05 Å, pričom ostatné parametre geometrie molekuly (väzbové dĺžky, väzbové a torzné uhly) boli voľne optimalizované. Keďže na takto získanej krivke závislosti absolútnej energie molekuly od dĺžky väzby O–H existovalo len jedno minimum (prislúchajúce tautoméru po prenose protónu), pokúsili sme sa zachytiť stabilnú štruktúru pred prenosom protónu pomocou solvatačného modelu cLR-PCM.

S použitím tejto metódy zatiaľ nie je možné vykonať optimalizáciu molekulovej geometrie, preto sme v jednotlivých bodoch skenu vykonali výpočty vertikálnej excitačnej energie metódou cLR (v rovnovážnom režime), pri ktorých sa počíta aj celková energia excitovaného stavu. Na základe závislosti korigovaných energií excitovaného stavu E_{cLR} od väzbovej dĺžky O–H sme získali predbežný odhad polohy minima prislúchajúceho štruktúre pred prenosom protónu, ktorý sme ďalej spresnili opakovaním uvedeného postupu s použitím užšieho intervalu väzbových dĺžok a menšieho kroku (až do 0.001 Å) v okolí predpokladaného minima. Vďaka platnosti harmonickej aproximácie je závislosť energie od väzbovej dĺžky v okolí minima opísateľná kvadratickou funkciou, takže sme vypočítanými bodmi preložili parabolu a výpočtom súradníc vrcholu sme zistili dĺžku väzby O–H v minime excitovaného stavu. Následne sme uskutočnili LR-PCM optimalizáciu molekuly, pričom dĺžka väzby O–H bola fixovaná na hodnote získanej z minima závislosti korigovaných energií E_{cLR} od väzbovej dĺžky a ostatné parametre geometrie boli voľne optimalizované. Získaná štruktúra zodpovedá odhadu polohy

minima na hyperploche potenciálnej energie, ktoré prislúcha excitovanej molekule alizarínu pred prenosom protónu na úrovni výpočtu B3LYP/6-31G(d,p)/cLR-PCM. Celkovú energiu E_{cLR} prislúchajúcu tejto geometrii je možné získať rovnakým spôsobom, teda výpočtom vertikálnej excitačnej energie s použitím solvatačného modelu cLR-PCM.

Výpočet frekvencií minima excitovaného stavu sa v prípade LR-PCM prevádza numericky priamo v programe Gaussian. Získané minimum však zodpovedalo solvatačnému modelu cLR-PCM a výpočet frekvencií touto metódou nie je v G09 implementovaný. Základom výpočtu frekvencií je hessián – matica druhých parciálnych derivácií energií podľa súradníc jednotlivých atómov. S touto maticou sa ďalej robia isté matematické operácie (diagonalizácia, normovanie normálnych módov, ...), ktoré už nezávisia od metódy použitej na výpočet energií, preto sa problém výpočtu frekvencií s použitím modelu cLR-PCM redukuje na zostavenie hessiánu.

Druhú deriváciu funkcie f podľa premenných x a y v bode (a, b) numericky je možné vypočítať ako:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(a,b) = \frac{f(a+d,b+d) - f(a+d,a-d) - f(a-d,b+d) + f(a-d,b-d)}{4d^2} \qquad (6)$$

kde d je pevne zvolené číslo predstavujúce posun atómu o malú hodnotu, napr. $0{,}001$ Å. Na zostavenie hessiánu teda potrebujeme vypočítať hodnoty energií E_{cLR} štruktúr, ktorých geometria je takmer zhodná s geometriou minima, ale vždy práve 2 atómy sú kladne alebo záporne vychýlené zo svojej polohy v jednom z troch smerov (predstavujúcich súradnice x, y, z) o hodnotu d. Pre N atómov opísaných $3N$ súradnicami a 2 možné výchylky ($+d$ alebo $-d$) ide o $36N^2$ výpočtov. Vzhľadom na to, že hessián je matica symetrická podľa diagonály, tento počet klesne približne na polovicu, no výpočet normálnych módov a vibračných frekvencií molekuly v excitovanom stave aj tak predstavuje výpočtovo najnáročnejší krok simulácie vibračne rozlíšeného spektra.

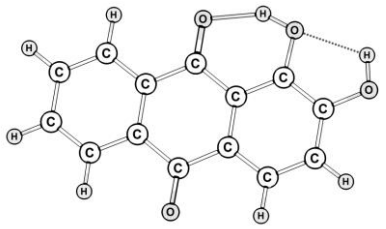
Na dokončenie výpočtu cLR-PCM frekvencií a normálnych módov sme využili modul implementovaný v programe G09 s upraveným pomocným súborom (tzv. checkfile), do ktorého sme vložili nami vypočítaný cLR-PCM hessián. Posledným krokom na získanie všetkých potrebných vstupných dát pre program FCClasses je **výpočet vertikálnej excitačnej energie** v optimálnej geometrii excitovaného stavu, ktorý sme uskutočnili na úrovni B3LYP/6-311+G(2d,p)/cLR-PCM.

Adiabatickú excitačnú energiu sme vypočítali ako rozdiel celkových energií prislúchajúcich optimálnym geometriám molekuly v základnom a excitovanom stave.

Po získaní všetkých potrebných údajov sme uskutočnili samotnú simuláciu vibračne rozlíšeného spektra programom FCClasses, pričom sme použili konvolúciu Lorentzovou funkciou a Gaussovou funkciou s polovičnou šírkou v polovičnej výške (half-width in half-maximum, HWHM) 0,062 eV, čomu zodpovedá 500 cm^{-1} , čo je typická hodnota HWHM používaná v literatúre [2] na zohľadnenie nehomogénneho rozširovania píkov vplyvom rozpúšťadla a ďalších efektov.

Výsledky

V štruktúre základného stavu sú oba atómy vodíka hydroxylových skupín viazané vodíkovou väzbou (obr. 6). Molekula nie je symetrická (patrí do bodovej grupy C1, ktorej jediným prvkom symetrie je identita), ale je takmer planárna.



Obr. 5 Geometria molekuly alizarínu v základnom stave

Vibračná analýza potvrdila, že lokalizovaná štruktúra je skutočne minimum na hyperploche potenciálnej energie.

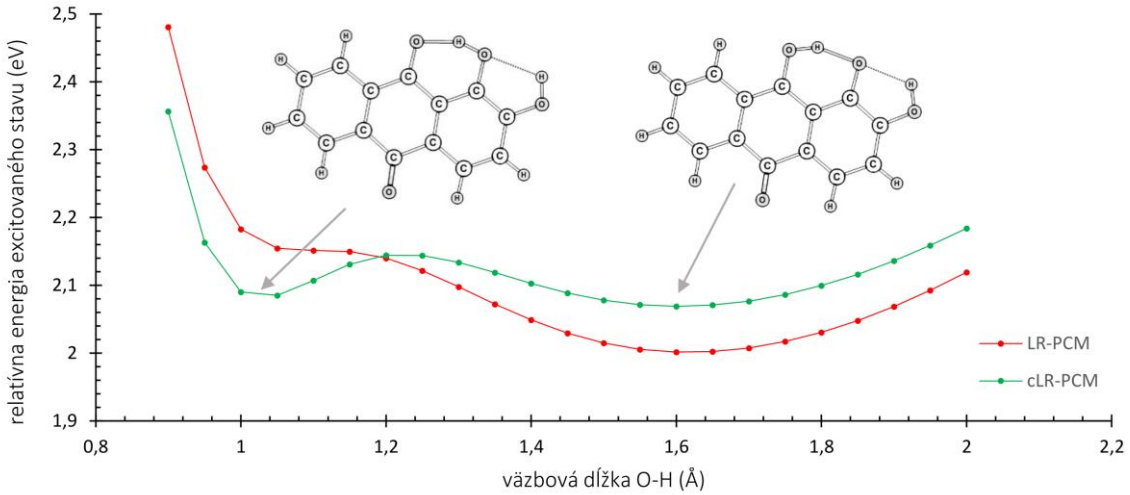
Výpočet vertikálnej excitačnej energie ukázal, že farebnosť alizarínu je spôsobená elektrónovou excitáciou do prvého excitovaného stavu. Prechodový dipólový moment je relatívne veľký, teda pri simulácii vibračne rozlíšeného spektra je možné použiť Franckov – Condonov princíp (tab. 2).

Tab. 2 Charakteristiky prvého singletového excitovaného stavu alizarínu

Excit. stav	*Vertikálna ex. energia*	*Vlnová dĺžka*	*Sila oscilátora*	*Prechodový dipólový moment*		
				x	*y*	*z*
1	2.7967 eV	443.33 nm	0.1321	-1.3572	0.2934	0.0000

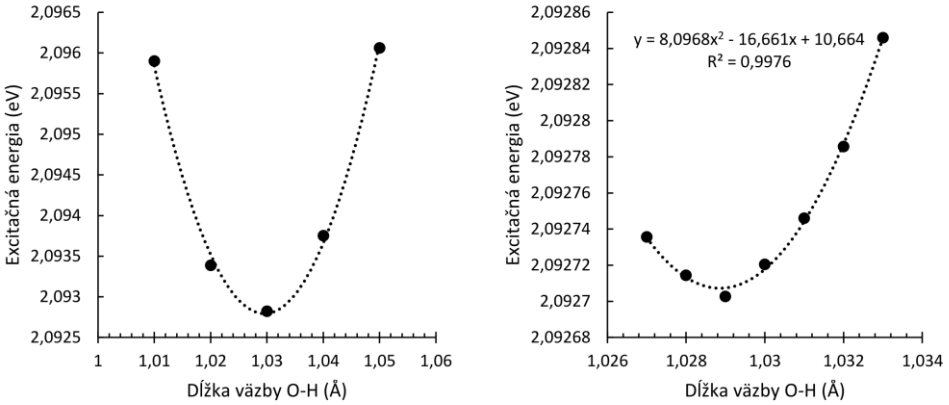
Optimalizácia štruktúry alizarínu v excitovanom stave naznačuje, že po excitácii dochádza k intramolekulovému presunu vodíka. Na hyperploche potenciálnej energie (na úrovni B3LYP/6-31G(d,p)/LR-PCM) pravdepodobne neexistuje minimum prislúchajúce štruktúre pred prenosom protónu. Najvýraznejšou zmenou v štruktúre počas tohto deja je zmena vzdialenosti kyslíka a vodíka na uhlíku č. 1. Závislosť celkovej energie excitovaného stavu od vzdialenosti O–H je znázornená na obr. 6 (červená krivka). Tieto údaje boli získané pomocou skenu hyperplochy potenciálnej energie pozdĺž dĺžky zmienenej väzby a predstavujú opis systému na úrovni B3LYP/6-31G(d,p)/LR-PCM.

V jednotlivých bodoch skenu sme uskutočnili výpočet excitačných energií E_{cLR} so zahrnutím vplyvu rozpúšťadla metódou cLR. Výsledky sumarizuje zelená krivka na obr. 6, ktorá predstavuje rez hyperplochou potenciálnej energie systému na úrovni B3LYP/6-31G(d,p)/cLR-PCM. Uvedená krivka má dve minimá, ktoré prislúchajú štruktúram pred a po prenose protónu. Tieto výsledky súhlasia s prácou [4], v ktorej je publikované porovnanie hyperplôch potenciálnej energie vypočítaných pomocou SS-PCM v etanole a v benzéne.



Obr. 6 Rez hyperplochou potenciálnej energie excitovaného stavu alizarínu
Graf predstavuje závislosť celkovej energie excitovaného stavu od väzbovej dĺžky O-H. Ako referenčná nulová hodnota energie bola zvolená celková energia základného stavu v optimálnej geometrii.

Pre výpočet absorpčného spektra je podstatná poloha prvého minima, ktorú sme ďalej spresnili pomocou skenu a výpočtov E_{cLR} v jeho blízkom okolí. Výsledky sumarizuje obr. 7. Preložením paraboly vypočítanými údajmi sme zistili polohu minima, $r(OH)_{min}$ = 1,0289 Å. Následnou LR-PCM optimalizáciou geometrie pri fixovanej väzbovej dĺžke O–H a výpočtom E_{cLR} sme získali štruktúru zodpovedajúcu minimu v excitovanom stave pred prenosom vodíka. Geometria tejto molekuly je podobne ako v základnom stave takmer planárna. (Zároveň pri výpočte vertikálnej excitačnej energie sme získali aj hodnotu prechodového dipólového momentu v optimálnej geometrii excitovaného stavu, potrebnú do vstupu pre FCClasses).



Obr. 7 Závislosť relatívnej energie excitovaného stavu od väzbovej dĺžky v okolí energetického minima

V ďalšom kroku sme uskutočnili výpočet vibračných frekvencií a normálnych módov získanej štruktúry metódou LR-PCM (priamo v programe Gaussian) a cLR-PCM podľa postupu uvedeného vyššie (numericky vypočítaný hessián na základe energií E_{cLR} sme vložili do checkfile-u a reštartom frekvenčného výpočtu v G09 sme získali 72 normálnych módov a vibračných frekvencií). Vibračné módy s frekvenciami líšiacimi sa o viac než 10 cm^{-1} sumarizuje tab. 3.

Tab. 3 Porovnanie frekvencií molekuly alizarínu v excitovanom stave vypočítaných na základe LR-PCM, resp. cLR-PCM

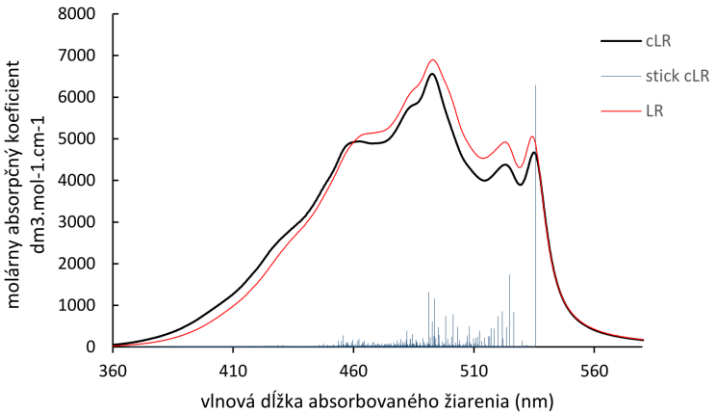
Vibr. mód	Frekvencia (LR-PCM), cm^{-1}	Frekvencia (cLR-PCM), cm^{-1}	Rozdiel frekvencií cLR-LR, cm^{-1}
2	87.4	76.9	-10.6
50	1367.0	1345.0	-22.0
51	1377.3	1366.2	-11.1
55	1483.3	1458.2	-25.1
59	1551.9	1564.7	12.8
60	1570.9	1587.0	16.1
63	1661.5	1672.9	11.5
65	2631.5	2649.8	18.2

Posledným krokom je výpočet adiabatickej excitačnej energie ako energetického rozdielu medzi zoptimalizovanou štruktúrou alizarínu v základnom a excitovanom stave (tab. 4).

Tab. 4 Energie základného a excitovaného stavu alizarínu v metanole

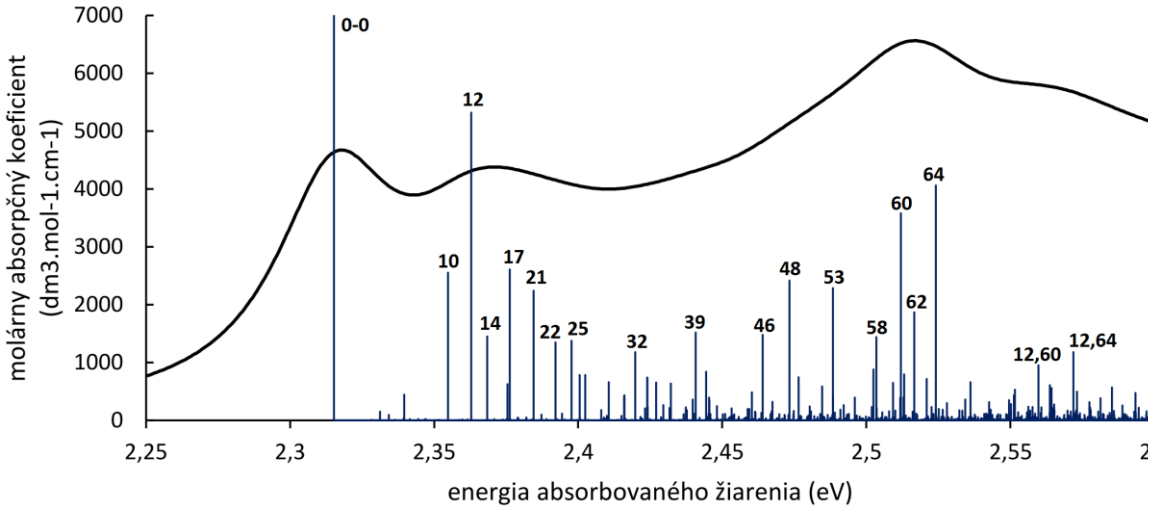
Solvatačný model (opis exc. stavu)	*Celková energia základného stavu E_0 (Hartree)*	*Celková energia excitovaného stavu E_1 (Hartree)*	*Adiabatická excitačná energia ΔE (Hartree)*	*Adiabatická excitačná energia ΔE (eV)*
cLR-PCM	-839.496967675	-839.409002732	0.087965401	2.393

Predchádzajúce výsledky sme použili na simuláciu spektra alizarínu v metanole s použitím frekvencií excitovaného stavu získaných metódou LR-PCM a cLR-PCM. Vypočítané čiarové spektrum bolo v prvom kroku konvolované Lorentzovou funkciou (s HWHM rovnou 0.025 eV), čím sa získala závislosť molárneho absorpčného koeficienta od energie absorbovaného žiarenia, ktorú možno ľahko prepočítať na bežnejšie používanú závislosť $\varepsilon(\lambda)$, známu ako absorpčná krivka (obr. 8). Spektrum získané oboma metódami sú takmer totožné, čo je prekvapivé vzhľadom na rozdielny tvar kriviek potenciálnej energie (obr. 6).



Obr. 8 Absorpčná krivka alizarínu v metanole
Porovnanie výsledkov získaných na základe opisu frekvencií metódami LR a cLR

Možné vysvetlenie tohto javu sa spočíva v bližšom pohľade na jednotlivé príspevky z hlavných vibronických prechodov (obr. 9). Najsilnejším príspevkom je 0-0 prechod, čo je prechod zo základnej vibračnej hladiny molekuly v počiatočnom energeticky nižšom elektrónovom stave do základného vibračného stavu excitovanej molekuly. Porovnaním s normálnymi módmi v tab. 3 vidíme, že žiaden z normálnych módov, ktoré sa najviac líšia pri porovnaní medzi LR a cLR, nemá významný príspevok do tvaru celého spektra.

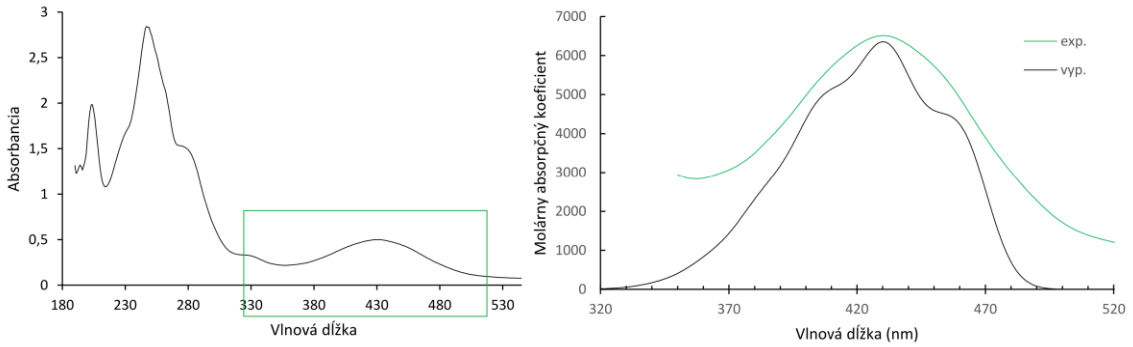


Obr. 9 Detail absorpčného pásu prislúchajúcemu prechodu $S_0 \rightarrow S_1$ s priradenými príspevkami s vibračných stavov excitovanej molekuly s najväčším vplyvom na výsledný vzhľad spektra

V tejto súvislosti je zaujímavá práca [5] (Carta, *et al.*), v ktorej je použitá metóda VG|FC (Vertical Gradient Franck-Condon approximation – nie je nutná optimalizácia excitovaného stavu, jeho poloha je odhadnutá na základe gradientu energií pôsobiacich na excitovanú molekulu v rovnovážnej geometrii základného stavu) na výpočet absorpčného spektra alizarínu, pričom efekty rozpúšťadla (metanolu) sú zahrnuté modelom C-PCM (resp. C-PCM s explicitne pridanými molekulami vody). Vhodnosť tohto postupu je v uvedenej práci potvrdená na základe simulácie spektra dideprotonovanej formy alizarínu, pre ktorú sa nepozorovali výrazné rozdiely v tvare spektra medzi kompletnou simuláciou (pomocou rovnovážnej geometrie a frekvencií excitovaného stavu) a modelom VG|FC. Deprotonovaná forma alizarínu neobsahuje vodíky –OH skupín, preto je pravdepodobne relatívne jednoduché lokalizovať rovnovážnu geometriu excitovaného stavu (tautoméria nie je možná), čo je výrazný rozdiel oproti neutrálnej forme alizarínu. Dá sa predpokladať, že uspokojivý súlad medzi teóriou VG|FC a experimentom je v prípade alizarínu spôsobený skôr zanedbateľnými vibračnými príspevkami módov

s veľkým rozdielom frekvencií pri opise LR-PCM resp. cLR-PCM, než vhodnosťou simulácie spektra metódou vertikálneho gradientu.

Kvôli porovnaniu vypočítaného spektra s experimentálne nameraným sme uskutočnili aj simuláciu s konvolúciou Gaussovou funkciou so šírkou v polovičnej výške 0,062 eV (500 cm^{-1}), ktorá je vhodnejšia pre opis interakcií solvatovaných molekúl v rozpúšťadle. Výsledky zobrazuje obr. 10b. Experimentálne spektrum (obr. 10a) bolo merané UV-VIS spektrometrom *AGILENT 8453 UV-visible spectroscopy system* v metanolovom roztoku v rozsahu vlnových dĺžok 190 – 1100 nm pri izbovej teplote. Vypočítané spektrum bolo v porovnaní s experimentom posunuté o 0.35 eV k vyšším hodnotám energie. Keďže presná poloha absorpčného pásu je veľmi citlivá na voľbu funkcionálu, dôležitejšie než porovnanie excitačných energií (príp. vlnovej dĺžky maxima absorpcie) je porovnanie tvaru spektra, napr. jeho šírky, kde sa pozoruje celkom dobrá zhoda medzi vypočítaným a nameraným spektrom.



a) b)

Obr. 10 Porovnanie vypočítaného a nameraného spektra alizarínu
(a) experimentálna závislosť absorbancie od vlnovej dĺžky v celej oblasti UV-VIS
b) detail spektrálneho pásu pochádzajúceho z prechodu $S_0 \rightarrow S_1$

Záver

Pomocou kvantovochemických programov Gaussian 09 a FCClasses sme vypočítali vibračne rozlíšené absorpčné spektrum alizarínu so zahrnutím opisu interakcie rozpúšťadla (metanolu) pomocou cLR-PCM. Tento model je pravdepodobne fyzikálne správnejší než dosiaľ publikované simulácie, ktoré detailne nezohľadňujú zmenu frekvencií molekuly pri prechode do excitovaného stavu, avšak rozdiel medzi nimi a simuláciou so zahrnutím frekvencií na úrovni cLR-PCM je v konečnom dôsledku malý. Tento jav je dôsledkom toho, že vibračné módy, ktoré sa najviac zmenia pri opise rozpúšťadla s cLR-PCM prispievajú do celkového spektra len malou intenzitou.

Vypočítané spektrum bolo porovnané s nameraným a vykazuje celkom dobrú zhodu, čo sa týka šírky pásu. Keďže metanol patrí medzi polárne rozpúšťadlá, vplyvom medzimolekulových interakcií a iných efektov v roztoku alizarínu v skutočnosti dochádza k natoľko výraznému rozšíreniu absorpčných pásov, že zaniká vibračná štruktúra elektrónového prechodu. Na overenie a potvrdenie správnosti opísaného postupu simulácie spektra by bolo vhodné uskutočniť celý výpočet ako aj meranie v menej polárnom rozpúšťadle.

Literatúra

1. JACQUEMIN, D. et al.: TD-DFT vibronic couplings in anthraquinones: from basis set and functional benchmarks to applications for industrial dyes. In: *Journal of chemical theory and computation*, ISSN 1549-9626, vol. 7, 2011, no. 6, pp. 1882-1892
2. BARONE, V. (ed.).: *Computational strategies for spectroscopy: from small molecules to nano systems*. 1. ed. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, 2011. 608 s. ISBN: 978-0-470-47017-6
3. BARONE, V. et al.: Fully integrated approach to compute vibrationally resolved optical spectra: from small molecules to macrosystems. In: *Journal of chemical theory and computation*, ISSN 1549-9626, vol 5, 2009, no. 3, pp. 540-554

4. AMAT, A. et al. DFT/TDDFT investigation on the UV-vis absorption and fluorescence properties of alizarin dye. In: *Physical Chemistry Chemical Physics*, ISSN 1463-9076, vol. 17, 2015, no. 9, pp. 6374-6382
5. CARTA, L. et al.: Environmental and complexation effects on the structures and spectroscopic signatures of organic pigments relevant to cultural heritage: the case of alizarin and alizarin–Mg (ii)/Al (iii) complexes. In: *Physical Chemistry Chemical Physics*, ISSN 1463-9076, vol. 16, 2014, no. 7, pp. 2897-2911
6. LABUDA, J. et al.: *Analytická chémia.* 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita : Nakladateľstvo STU, 2014. 671 s. ISBN: 978-80-227-4242-98
7. MILATA, V. et al.: *Aplikovaná molekulová spektroskopia.* 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita : Nakladateľstvo STU, 2008. 600 s. ISBN: 978-80-227-2618-4
8. ATKINS, P. et al.: *Physical chemistry*. 9. ed. New York : Oxford university press, 2014. 972 s. ISBN: 978-0-19-954337-3
9. HUNGER, K. (ed.): *Industrial dyes: chemistry, properties, applications*. Weinheim : Wiley-VCH, 2003. 660 s. ISBN: 3-527-30426-6
10. GŁOWACKI, E. D. et al.: Indigo and Tyrian purple–from ancient natural dyes to modern organic semiconductors. In: *Israel Journal of Chemistry*, ISSN: 1869-5868, vol. 52, 2012, no. 6, pp. 540-551
11. LAURENT, A. D., ADAMO, C., JACQUEMIN, D.: Dye chemistry with time-dependent density functional theory. In: *Physical Chemistry Chemical Physics*, ISSN: 1463-9076, vol. 16, 2014, no. 28, pp. 14334-14356.
12. [cit. 2016-03-29]. Dostupné na internete: <http://old.vscht.cz/fch/cz/pomucky/Prirucka_TeorChem.pdf
13. CARICATO, M. et al.: Formation and relaxation of excited states in solution: a new time dependent polarizable continuum model based on time dependent density functional theory. In: *The Journal of chemical physics*, ISSN: 1089-7690, vol. 124, 2006, no. 12, pp. 124520
14. BUDZÁK, Š. et al.: Unveiling Solvents Effect on Excited-State Polarizabilities with the Corrected Linear-Response Model. In: *The Journal of Physical Chemistry A*, ISSN: 1520-5215, vol. 118, 2014, no. 30, pp. 5652-5656
15. FERRÉ, N., FILATOV, M., HUIX-ROTLLANT, M. (Eds.) : *Density-Functional Methods for Excited States*. Switzerland : Springer, 2016. 481 s. ISBN: 978-3-319-22081-9
16. [cit. 2016-03-26]. Dostupné na internete: <http://www.gaussian.com/g_tech/g_ur/k_scrf.htm>
17. BLOINO, J.: *Development and application of time dependent and time independent models for the study of spectroscopic properties in compounds of biological interest*. 2008. PhD Thesis. Università degli Studi di Napoli Federico II.
18. IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). XML on-line corrected version: http://goldbook.iupac.org (2006-) created by M. Nic, J. Jirat, B. Kosata; updates compiled by A. Jenkins. ISBN 0-9678550-9-8
19. [cit. 2016-03-26]. Dostupné na internete: <http://village.ipcf.cnr.it>
20. [cit. 2016-04-19]. Dostupné na internete: <http://www.gaussian.com/index.htm>
21. LAKOWICZ, J. R. (ed.): *Principles of fluorescence spectroscopy*. 3. ed. New York : Springer Science & Business Media, 2013. 954 s. ISBN: 978-0-387-31278-1
22. [cit. 2016-03-28]. Dostupné na internete: <https://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_line_shape>
23. [cit. 2016-03-26]. Dostupné na internete: <http://mathworld.wolfram.com/Convolution.html>
24. [cit. 2016-04-02]. Dostupné na internete: <http://www.fizik.itu.edu.tr/akturks/files/L&P%2007%20broadening.pdf>

Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela

ŠVK 2016

SEKCIA TECHNIKA A TECHNOLÓGIE

Recenzenti:

PaedDr. Ján STEBILA, PhD.
Ing. Petra KVASNOVÁ, PhD.
Ing. Ján PAVLOVKIN, PhD.

Lineárny parabolický slnečný kolektor

Tomáš DZURIK, Ján PAVLOVKIN

Katedra techniky a technológie FPV UMB, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica,
tomidzu@gmail.com, Jan.Pavlovkin@umb.sk

Abstract: Linear parabolic the solar collector: *Solar energy is the cleanest and most available form of renewable energy that we can get. There are several principles to convert solar energy into another form of energy, most often it is converted into electrical and thermal energy. When converting solar energy into electrical distinguish between direct and indirect conversion. The principle of direct conversion of solar energy uses a photovoltaic cell or solar cell (wide semiconductor device) that directly converts solar energy into electricity using photoelectric effect. Photovoltaic cells are applied, for example, to power small devices (eg. calculator, solar toys) in the space industry as well as large are beginning to utilize the energy industry. The principle of the indirect conversion of solar energy into electricity is to turn the energy of the sun into heat energy, and subsequent conversion by means of suitable devices to electrical power. Indirect conversion efficiency of solar energy is higher than that of photovoltaic systems, so that we can achieve higher power per unit area of solar power plants.*

Keywords**:** *solar energy, photovoltaic cell, solar cell, efficiency of solar energy, conversion of solar energy,*

Úvod

Slnečná energia je najdostupnejšia a najčistejšia forma obnoviteľnej energie ktorú môžeme získať. Existuje viacero princípov premeny slnečnej energie na inú formu energie, najčastejšie je to premena na elektrickú a tepelnú energiu. Pri premene slnečnej energie na elektrickú rozlišujeme priamu a nepriamu premenu. Princíp priamej premeny slnečnej energie využíva fotovoltický článok alebo solárny článok (veľkoplošná polovodičová súčiastka), ktorá priamo premieňa slnečnú energiu na energiu elektrickú pomocou fotoelektrického javu. Fotovoltické články sa uplatňujú, napr. na napájanie malých zariadení (napr. kalkulačky, solárne hračky), v kozmickom priemysle a taktiež vo veľkom sa začínajú využívať v energetickom priemysle. Princíp nepriamej premeny slnečnej energie na energiu elektrickú spočíva v premene energie Slnka na tepelnú energiu a následnú premenu pomocou vhodných zariadení na elektrickú energiu. Účinnosť nepriamej premeny slnečnej energie je vyššia ako pri fotovoltických systémoch, takže môžeme dosahovať vyššie výkony na jednotku plochy slnečnej elektrárne.

Počas dňa za bezoblačného počasia dopadne zo Slnka na zemský povrch v priemere 1000 W/m^2. Celkovo tak na Slovensku za rok dopadne na vodorovnú plochu približne 950 – 1200 kWh na 1 m^2.

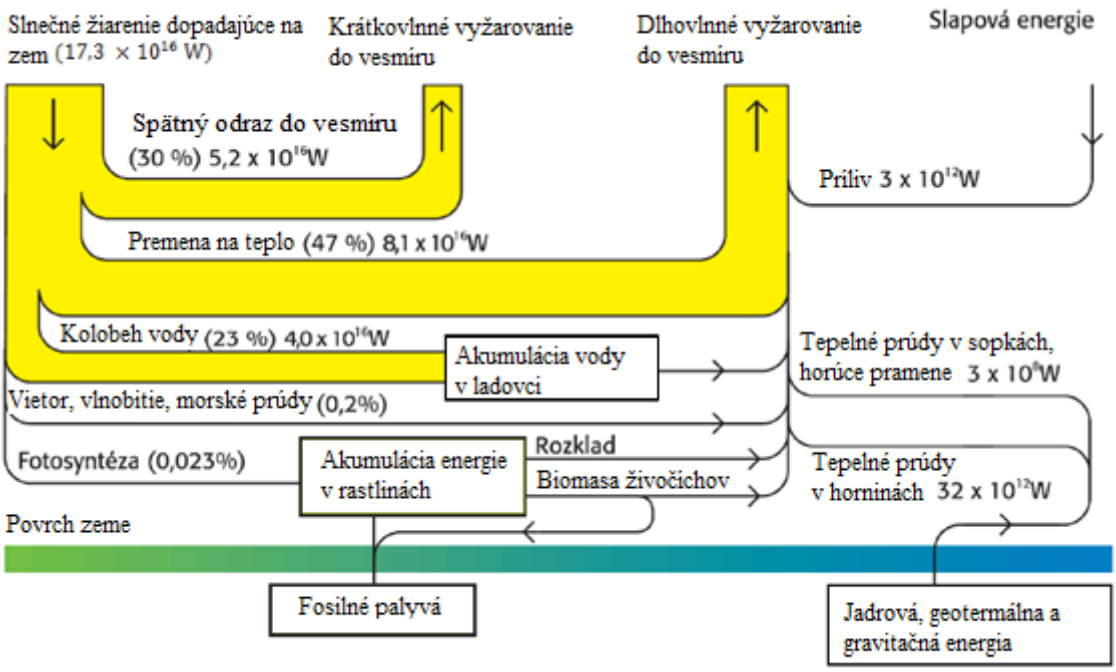
Lineárne parabolické zrkadlá sa využívajú na ohrev prúdiacej vody v potrubí. Slnko ohrieva potrubie cca. na takmer 400 °C. Kvapalina je prečerpávaná cez tepelné výmenníky, takže na konci uniká para s vysokou teplotou ktorá poháňa turbínu generátora vyrábajúceho elektrickú energiu. Potrubie v ohnisku parabolických zrkadiel je zo skla a celý systém je natáčaný smerom k Slnku. Najväčší takýto systém bol postavený na začiatku 80-tych rokov a jedno z deviatich zariadení malo výkon 13,8 MW. V roku 1990 boli dokončené ostatné s výkonom až 80 MW. Ako teplonosné médium sa používa olej. V dôsledku nízkych nákladov na prevádzku a údržbu sa solárne parabolické zrkadlá stali najlacnejšími a najspoľahlivejšími zariadeniami solárnej-termálnej výroby elektriny.

Obrázok. 1 Lineárne parabolické zrkadlá

Slnečná energia

Dopadajúce slnečné žiarenie pri dopade na zemský povrch sa časť slnečného žiarenia odrazí spať, ale podstatná časť energie je zužitkovaná na zjavné teplo, ohrev priestoru, ohrev pôdy, evapotranspirácia (zmena skupenstva vody) a fotosyntézu. Časť energie sa vyžaruje v dlhovlnné tepelnej zložke späť do priestoru.

Množstvo slnečnej energie, ktorá dopadá za jednu sekundu na plochu jedného m² hornej vrstvy atmosféry zemi, orientovanou kolmo k slnečným lúčom sa pohybuje v rozmedzí od 1438 W/m² do 1345 W/m² v závislosti na okamžitej vzdialenosti zeme od Slnka, ktorá ho obieha po eliptickej dráhe. Zem dostáva iba dve miliardtiny z celkovej žiarivosti slnka (180 000 TW). Z toho sa cca 1/3 odráža. Celková bilancia slnečnej energie prichádzajúcej na Zem je schematicky znázornená na obrázku 2. Táto schéma popisuje rozdelenie slnečného žiarenia na celej Zemi.



Obrázok 2. Energetická bilancia planéty Zem

Celé ľudstvo využíva pre svoje potreby približne 10 TW, z toho potrava tvorí asi 0,6 TW. Potrebný energetický príkon je čerpaný prevažne z fosílnych palív, ktoré vznikali milióny rokov viazaním slnečnej energie fotosyntézou s účinnosťou nižšou ako jedno percento. Slnečné žiarenie, ktoré prichádza na zemský povrch sa čiastočne odráža, čiastočne ohrieva povrch zeme a od nej sa ohrieva aj vzduch, ktorý prúdi nahor. Časť energie sa spotrebuje na vyparovanie vody (latentné teplo, skryté

teplo) a časť prechádza do zeme (tok tepla do podložia). Fotosyntéza a ohrev priestoru spotrebúvajú veľmi nízky podiel slnečnej energie s porovnaním s odrazom, výparom vody a zjavným teplom.

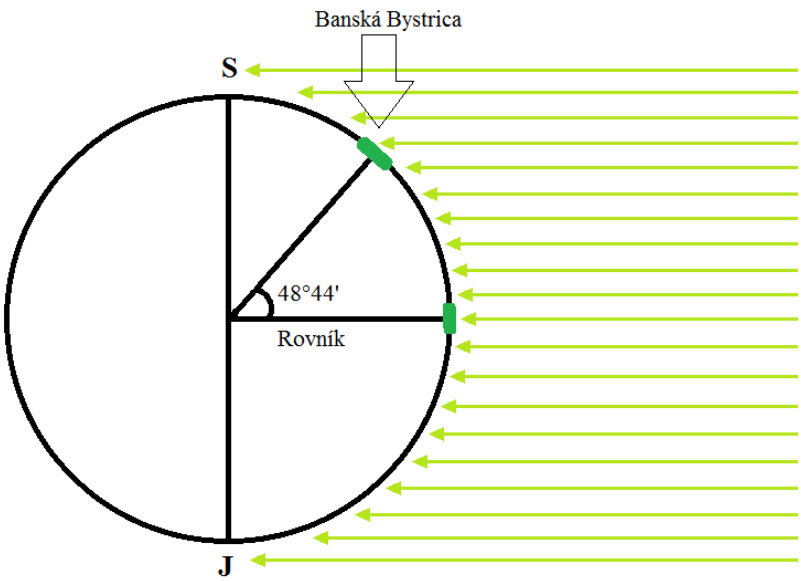
Solárne kolektory sú základným a najdôležitejším zariadením slnečných vyhrievacích systémov. Sú to vlastne zariadenia, ktoré svojou plochou zachytávajú globálne slnečné žiarenie a premieňajú ho na tepelnú energiu. Ich využitie je určené predovšetkým na produkciu teplej úžitkovej vody, s možnosťou ďalšieho vykurovania. Prenos energie do kvapaliny kolektora prebieha na veľmi veľkú vzdialenosť následkom čoho sú problémy s výmenou tepla pri nízkych a premenlivých hustotách toku energie. Pre oblasť Slovenskej republiky je celková doba slnečného svitu, t. j. bez oblačnosti, čas slnečného svitu 1600 – 2000 hod/rok.

Hustota žiarenia na jednotku plochy v Banskej Bystrici napoludnie

Pod trvaním slnečného svitu rozumieme časový interval, počas ktorého priame slnečné žiarenie dosahuje zemský povrch. Závisí nielen na dĺžke dňa, ktorá je daná zemepisnou šírkou a ročnou dobou (astronomická dĺžka trvania slnečného svitu), ale tiež na výskyte oblačnosti, alebo hmly, ktoré neprepúšťajú slnečné žiarenie a na prekážkach v okolí miesta pozorovania (skutočná dĺžka trvania slnečného svitu). Udáva sa buď v hodinách, prípadne desatinách hodín za deň, mesiac, alebo rok. Na jeho meranie sa používa slnomer – heliograf.

Aby sme získali jednotku energie na plochu zeme na Slovensku musíme urobiť niekoľko korekcií. Potrebujeme kompenzovať uhol medzi Slnkom a Zemou, ktorý znižuje plošnú plošnú hustotu žiarenia približne o 60 % oproti jeho hodnote na rovníku (obr. 3). Ďalšiu časť solárnej energie strácame aj tým, že nie je stále poludnie. Iný stav je počas bezoblačného dňa v marci alebo v septembri. Pomer priemernej intenzity žiarenia k poludňajšej intenzite je približne 32 %. A nakoniec strácame časť solárnej energie aj pre mraky. Na typickej lokalite v Banskej Bystrici svieti Slnko iba 34 % denného času.

Banská Bystrica sa nachádza na zemepisnej šírke 48°, to znamená že slnečné lúče nedopadajú kolmo ale pod uhlom a tým sa zníži percento hustoty žiarenia na jednotku plochy. Na obrázku 3. je znázornený aj rovník ktorý je kolmo na dopadajúce lúče.



Obrázok 3. Slnečné žiarenie dopadajúce na Zem

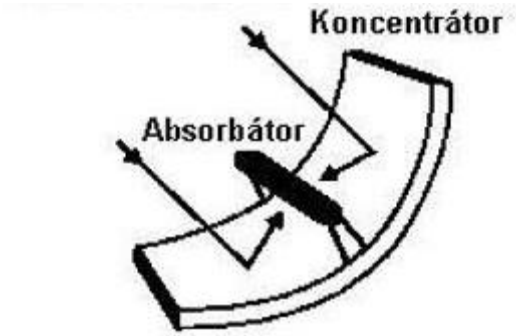
Lineárny parabolický slnečný kolektor

Princíp lineárneho parabolického slnečného kolektora je zobrazený na obrázku 4. Tieto systémy využívajú parabolické zrkadlá v tvare koryta, ktoré koncentruje slnečné žiarenie do potrubia umiestneného v ohnisku zariadenia. V potrubí prúdi kvapalina, ktorá sa ohrieva na takmer 400 °C a je prečerpávaná cez sústavu tepelných výmenníkov tak, že na konci vzniká para s veľmi vysokou

teplotou, ktorá poháňa turbínu generátora vyrábajúcu elektrinu. Potrubia v ohnisku solárnych parabolických korýt sú zo skla a celý systém býva počas dňa natáčaný jedno alebo dvoj osovým natáčacím zariadením smerom ku Slnku.

Tabuľka 1 Charakteristika solárneho parabolického kolektora

Elektrický výkon [MW]	30-320
Prevádzková teplota [°C]	390
Vyťažiteľnosť počas roka [%]	23 - 50
Maximálna účinnosť [%] demoštrovaná	20
Priemerná účinnosť [%] demoštrovaná	11 - 16
Riziká technológie	Nízke
Možnosť skladovania energie	Obmedzená
Použitie	Výroba teplej vody pre domácnosť
Investičné náklady [€/W]	2,7 – 4,0



Obrázok 4. Princíp lineárneho parabolického slnečného kolektora

Z fyzikálneho hľadiska solárny kolektor pracuje na princípe asbsorbcie čierneho telesa, pretože je najlepším absorbérom žiarenia. Žiarenie dopadajúce na kolektor sa čiastočne absorbuje, čiastočne prejde kolektorom a časť žiarenia sa odrazí. Ak označíme F_0 dopadajúce žiarenie, potom kolektor charakterizujú koeficienty:

- reflektancie (odrazivosť) $r_e = F_r/F_0$,
- transmitancie (priepustnosť) $t_e = F_t/F_0$,
- absorbcie (pohltivosť) $a_e = F_a/F_0$,

kde: F_r, F_t, F_a sú zložky žiarenia odrazeného, prepusteného a pohlteného.

Zo zákona zachovania energie potom musí platiť:

$$F_0 = F_r + F_t + F_a \text{ resp. } r_e + t_e + a_e = 1 \quad (1).$$

Aby sme zabezpečili vysokú účinnosť musíme minimalizovať r_e, t_e a maximalizovať a_e. Nepriepustnosť žiarenia však vieme dobre zabezpečiť, a tak rovnica (1) prejde na tvar

$$r_e + a_e = 1. \quad (2)$$

Z tohto dôvodu sa využíva na stavbu kolektora "dvojvrstva" sklo-absorbér. U skiel je malá pohltivosť a_e, ktorá súvisí s nedostatkom voľných nosičov náboja vnútri pevnej látky. Odrazivosť pre kolmý dopad svetla u skla je r_e = 0,05. V celom obore viditeľného svetla je sklo temer úplne priepustné svetla (až 90-95 % žiarenia dopadne na absorbér, ktorého selektívna vrstva má vysoký koeficient absorbcie a_e). Pri vlnovej dĺžke asi 2500 nm nastáva pokles a sklo je pre infračervené žiarenie ďalej nepriepustné.

Z termodynamických zákonov o ekvivalencii vyžarovania a pohlcovania žiarenia povrchom telesa pre činiteľ vyžarovania C platí:

$$C = a_e \,.\, s \quad (3)$$

kde: s je Stefan-Boltzmanova konštanta.

Pre intenzitu vyžarovania telesa s teplotou T platí:

$$M_e = a_e \,.\, s \,.\, T^4 \text{ resp. } a_e = M_e/s\, T^4 \qquad (4)$$

Z toho môžeme určiť koeficient absorbcie a_e tak, že ak ohrejeme kolektor na teplotu T a rádiometrický zmeriame jeho intenzitu vyžarovania. Samotná účinnosť solárneho kolektora je daná vzťahom:

$$h = P/(S \,.\, E_e) \qquad (5)$$

kde: P je tepelný výkon, E_e je intenzita ožarovania, S je plocha kolektora.

Lineárny parabolický slnečný kolektor slúži ako ukážka využitia slnečného žiarenia, je to funkčný model, pomocou ktorého sa dá demonštrovať ohrievanie vody pôsobením slnečného žiarenia (obr. 5). Skladá sa z paraboly kde je osadený vysoko odrazový antikorový plech, ktorý zabezpečuje odraz slnečného žiarenia do ohniska. V ohnisku sa nachádza kovová (železná, hliníková, resp. medená) rúrka do ktorej sa odrážajú slnečné lúče z celej plochy odrazového antikorového plechu. V rúrke sa následne mení slnečná energia na tepelnú. Povrch trubky je matnej čiernej farby ktorý absorbuje svetelné žiarenie. Toto sú najdôležitejšie časti slnečného kolektora, ďalej sa parabola skladá z nastaviteľného stojana, s ktorým sa dá nastaviť uhol naklonenia paraboly vzhľadom na dopadajúce slnečné lúče. Rúrka ktorá sa nachádza v ohnisku je o parabolu pripevnená teleskopicky nastaviteľnými úchytmi pre lepšiu presnosť a nastavenie optimálneho dopadu odrazených lúčov.

Dôležitou súčasťou kolektora je cirkulácia vody ktorá je zabezpečená pomocou vodného čerpadla s príkonom 10 W a výkonom 800 l/hod, prietok vody je regulovaný škrtiacim ventilom pre nastavenie nižšieho prietoku vody. Čerpadlo je osadené v nádržke kde je zabezpečený cirkulačný okruh, pomocou hadičiek je zapojené čerpadlo na vstup kolektora a následne výstup z kolektora je spojený hadičkou do zásobnej nádržky, kde sa akumuluje ohriata teplá voda.

Obrázok 5. Lineárny parabolický slnečný kolektor

Meranie na lineárnom parabolickom slnečnom kolektore

Meranie na lineárnom parabolickom slnečnom kolektore sme realizovali pomocou prenosného systému na zber, zobrazenie a spracovanie dát ULAB (obr. 6), ktorý sa dá použiť v laboratóriu alebo mimo laboratória ako:

- všestranný multimeter pre priame zobrazenie fyzikálnych veličín meraných pripojenými senzormi,
- samostatný záznamník dát (datalogger) pre merania nezávislé na počítači so zobrazením meraných dát v reálnom čase priamo na monitore ULABu,
- merací panel pripojený k počítaču so zobrazením dát na obrazovke počítača v reálnom čase.

V prípade použitia vo funkcii meracieho panelu sa správa rovnako, ako CoachLabII+. ULAB je vybavený FLASH pamäťou (128 kB) a pamäťou SRAM (512 kB). FLASH pamäť umožňuje aktualizáciu operačného systému (firmware), operačného jazyka a knižnice senzorov. Pamäť SRAM umožňuje uložiť až 250 000 meraných bodov, max. 3 nastavenia meraní a používateľské nastavenia

senzorov. Údaje ostávajú uložené v pamäti aj po vypnutí prístroja. Vzorkovacia frekvencia dosahuje až 100 000 meraní za sekundu. Súčasne môže merať až 6 senzorov.

Merací pristroj ULAB s pripojenými dvomi snímačmi teploty sme využívali pri zisťovaní teplôt okolia a vo vnútri kolektora, resp. ohriatej vody. Merací pristroj sme nastavili aby zaznamenával údaje o teplote každé dve sekundy. Na spracovanie dát z meracieho prístroja sme použili softvér Coach 6, pomocou ktorého sme zaznamenané hodnoty spracovali a graficky vyhodnotili.

Obrázok 6 Merací prístroj ULAB a teplotný senzor

Namerané údaje

Pomocou meracieho pristroja ULAB so senzormi teploty sme zisťovali akú teplotu môžeme dosiahnuť pri prevádzke kolektora. Meranie bolo vykonané za slnečného dňa od cca 10:00 do 11:00. Vykonávali sme viacero meraní, prvým meraním sme zisťovali teploty prázdneho kolektora (obr. 7) čiže zistenie teploty v ohnisku lineárneho parabolického kolektora, t. j. v kolektore, meranie sme vykonávali po dobu 10 min. Ďalšie meranie bolo určené na zistenie teploty ohrevu vody (obr. 8). K meraciemu prístroj ULAB sme mali pripojené dva snímače teploty, takže sme zaznamenávali súčasne dve hodnoty. Prvá z hodnôt bola teplota okolia a druha bola teplota v kolektore. Hodnoty z meracieho prístroja ULAB sme transportovali do PC, v ktorom sme ich pomocou softvéru Coach 6 spracovali a následne vyhodnotili pomocou grafov (obr. 9).

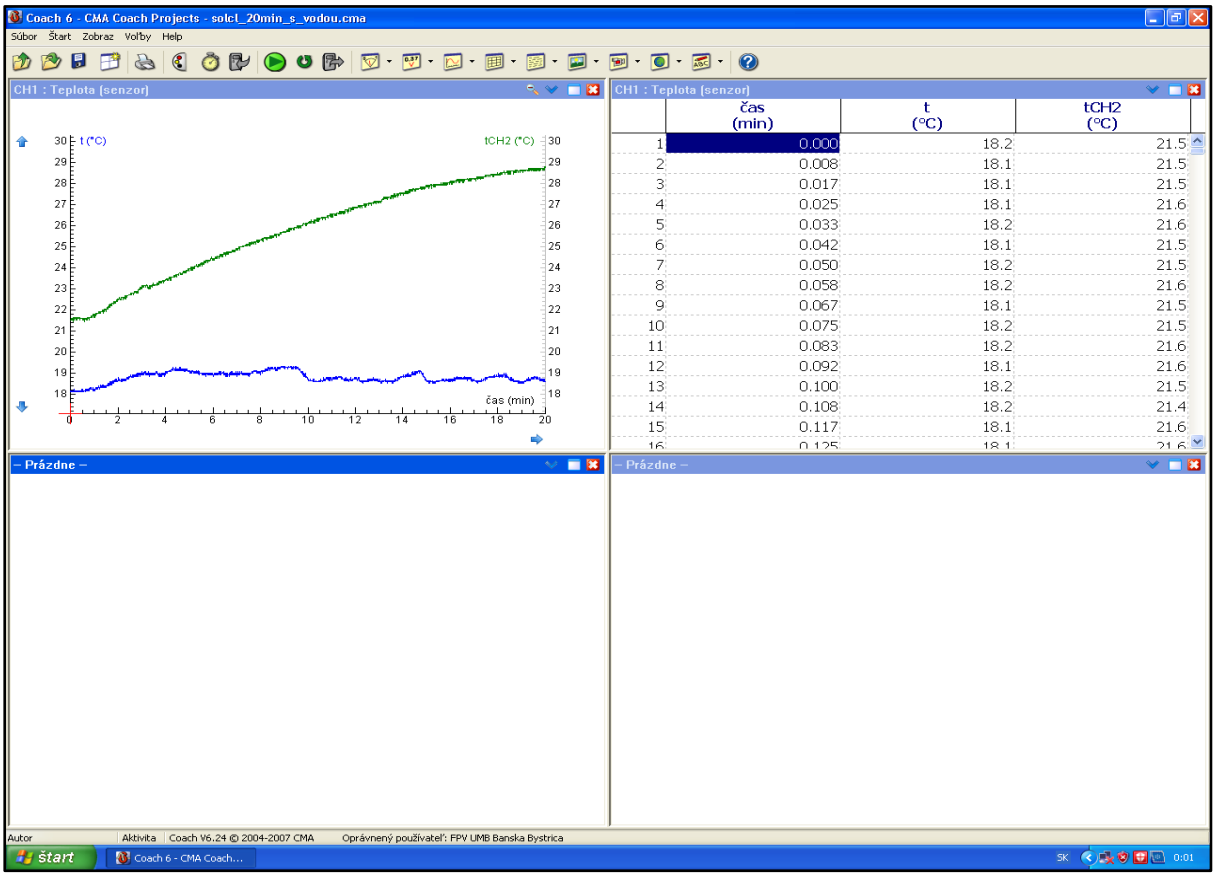
Obrázok 7. Meranie prázdneho kolektora

Obrázok 8. Meranie ohrevu vody

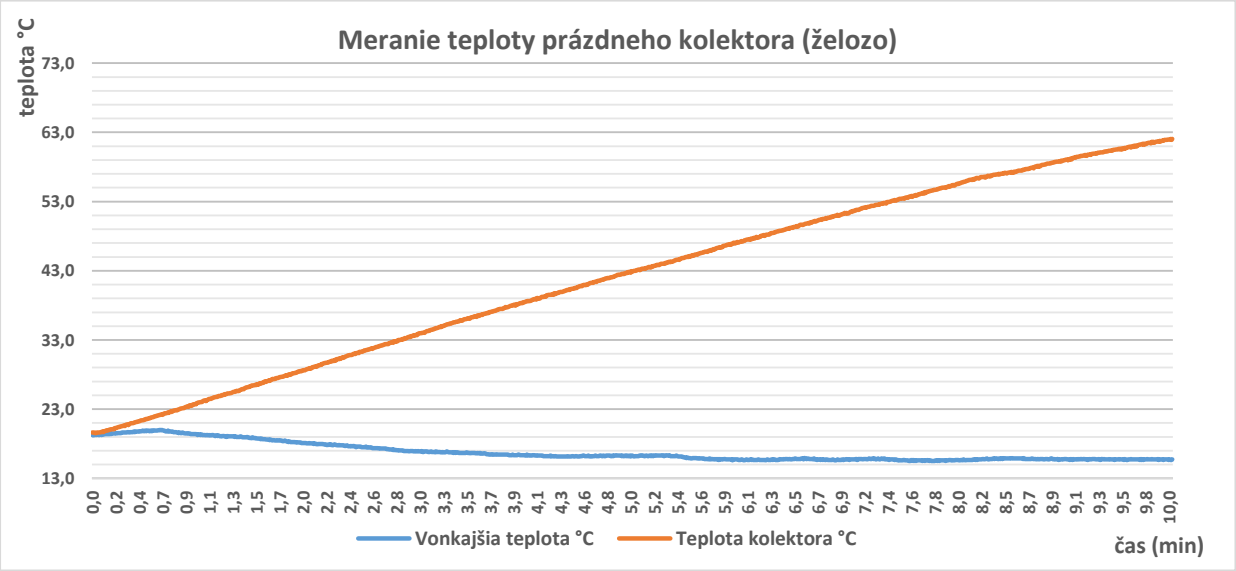
V grafe 1. sú zaznamenané hodnoty teploty v prázdnom kolektore zo železnej rúrky o priemere 27 mm, hrúbky steny 2,5 mm a hmotnosti 935 g. Meranie sme vykonávali 10 minút, teplota okolia bola cca 15 °C, začínajúca teplota v ohnisku 19,61 °C a maximálna teplota 62,03 °C, snímač meracieho prístroja bol umiestnený do rúrky kolektora. Rozdiel počiatočných teplôt okolia a kolektora bol spôsobený oneskoreným vsunutím teplotného senzora do kolektora. Počiatočné teploty mali byť rovnaké, čím by aj ohriatie kolektora bolo vyššie.

Meranie ohrievania vody sme tiež zaznamenali graficky, kde jedným snímačom sme zisťovali teplotu okolia druhým snímačom teplotu vody v nádržke pri výtoku vody z potrubia. V grafe 2. sú zaznamenané hodnoty priebehu ohrievania vody v objeme 1,6 l v železnej rúrke. Začínajúca teplota vody bola 21,5 °C a konečná teplota 28,8 °C a teplota okolia bola v priemere 18 °C. Dôležitou hodnotou je o koľko stupňov sa voda ohriala. Pri meraní ktoré trvalo 20 minút sa voda ohriala o 7,3 °C

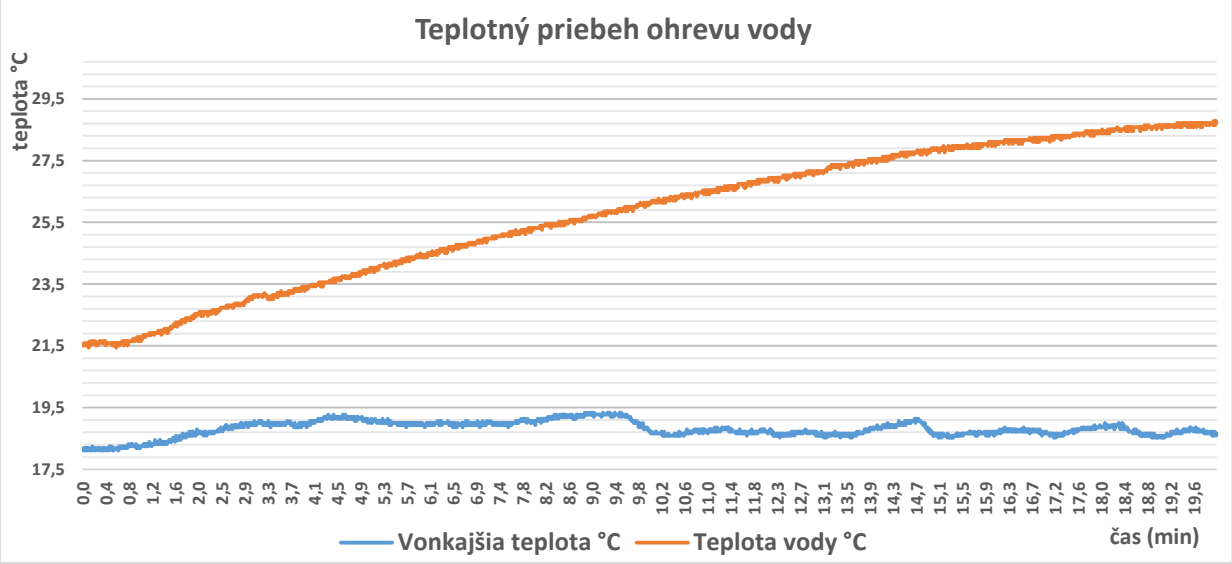
na konečnú teplotu 28,8 °C. Pri meraní sme neuvažovali straty, ktoré vznikali ochladzovaním vody v prípojných hadiciach, nádržke vody ako aj prúdením vzduchu okolo kolektora. Tieto straty možno eliminovať tepelnou izoláciou prívodných hadíc, nádržky a prekrytím parabolického kolektora sklom, ktoré by zabraňovalo prúdeniu vzduchu okolo kolektora.



Obrázok 9 Spracovanie nameraných výsledkov v programe Coach 6



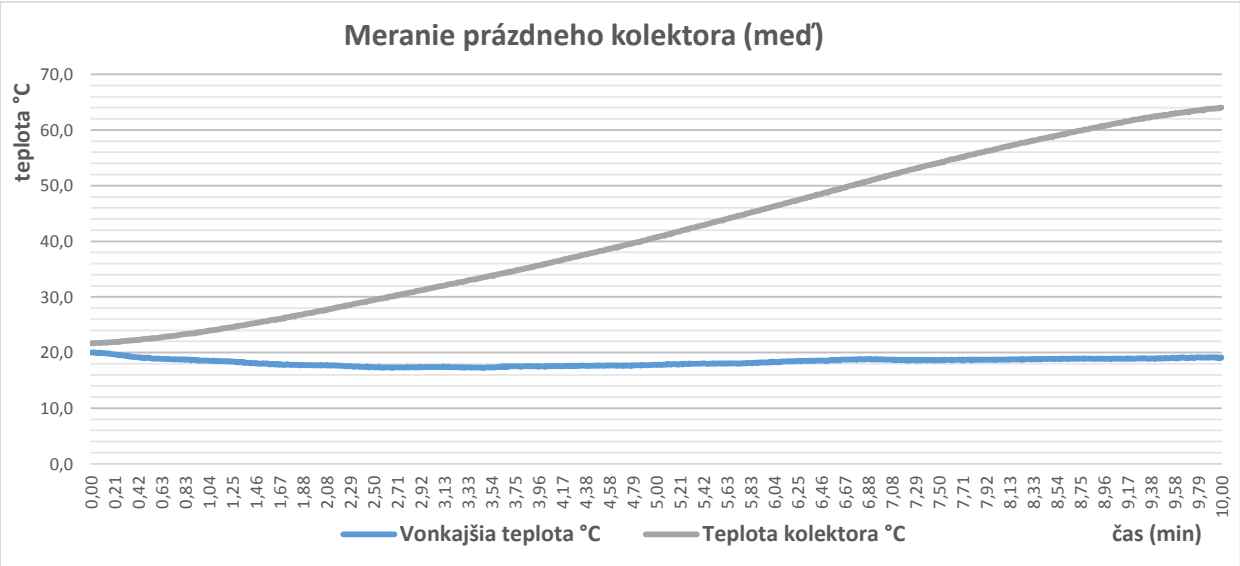
Graf 1. Meranie teploty prázdneho kolektora (železo)



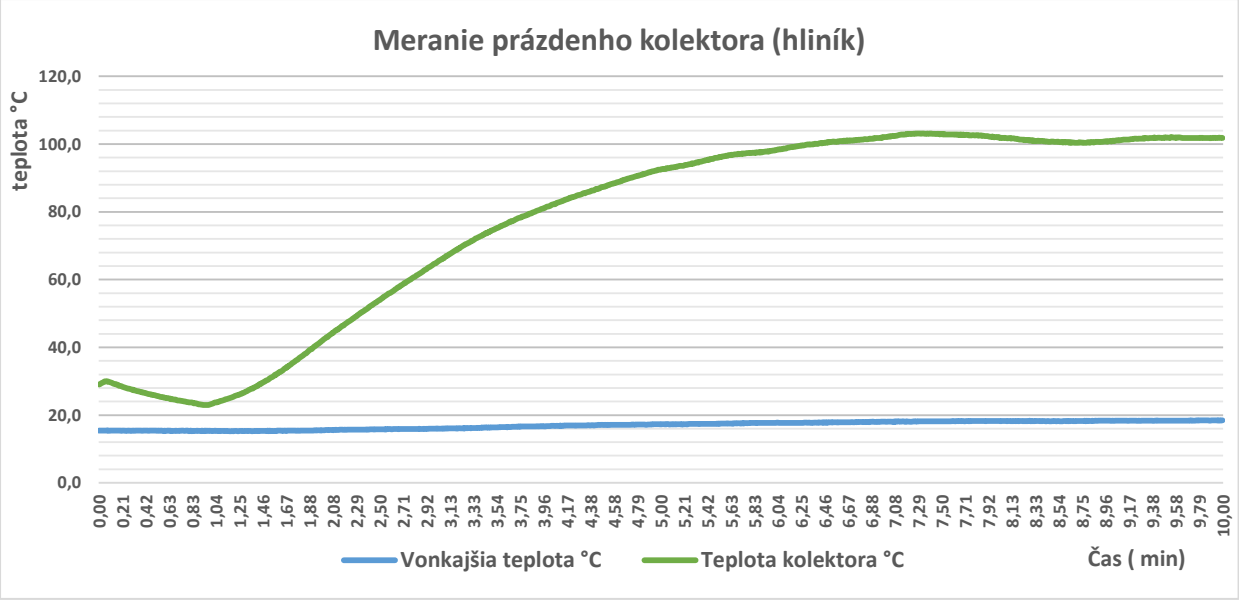
Graf 2. Teplotný priebeh ohrevu vody v železnej rúrke

Na ďalšom meraní sme sa zamerali na zistenie teploty v ohnisku bez cirkulácie vody. Pri meraní sme do ohniska kolektora umiestnili rúrky rôznych materiálov (meď a hliník) a tiež rôznych priemerov. V grafe 3 je zaznamenaná teplota medenej rúrky o vonkajšom priemere 15 mm, hrúbka steny 2,5 mm a hmotnosti 396 g.

V grafe 4 sú zaznamenané namerané hodnoty teploty v hliníkovej rúrke o vonkajšom priemere 10 mm, hrúbke steny 1 mm a hmotnosti 70 g. Z grafu 4 vidíme, že ohriatie kolektora na približne 100 °C sa uskutočnilo za 6 minút.



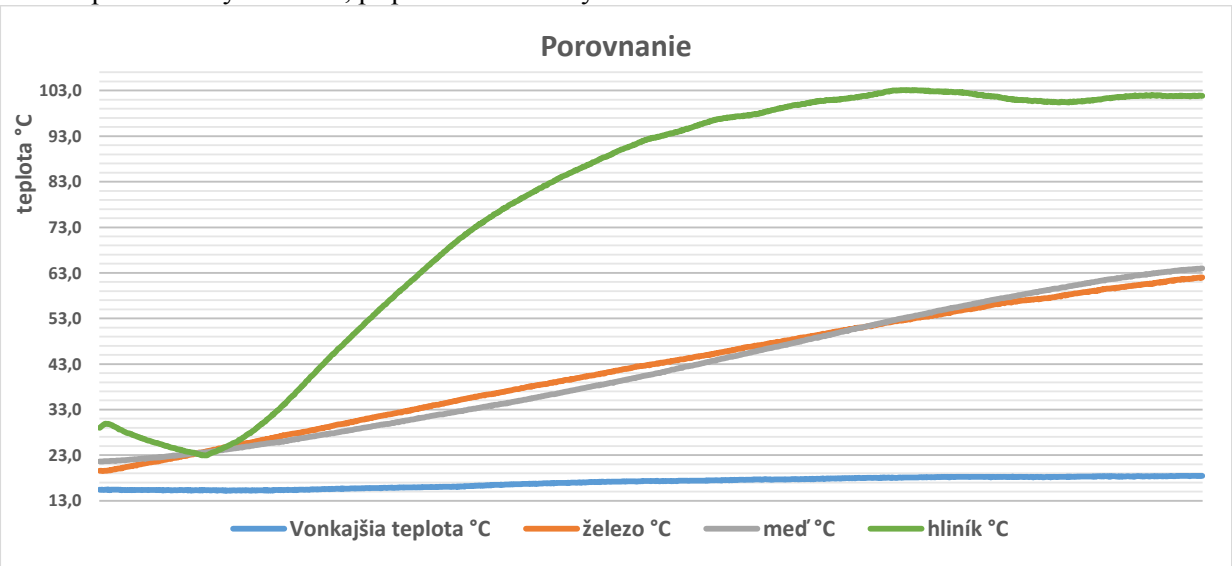
Graf 3. Meranie teploty prázdneho kolektora (meď)



Graf 4 Meranie prázdneho kolektora (hliník)

V nasledujúcom grafe 5 sme všetky tri materiály porovnali a môžeme zhodnotiť že z efektívnej plochy dopadov slnečných lúčov na lineárny parabolický kolektor ktorá je v našom prípade 0,208 m² nie je rozhodujúci materiál s ktorého je vyrobená rúrka umiestnená v ohnisku ale priemer rúrky a hrúbka steny rúrky.

V ďalších experimentoch porovnáme ohriatie kolektorov rovnakých geometrických rozmerov vyhotovených z rôznych materiálov. Merania sú časovo náročné a závislé od počasia. Zaujímavé sa javí porovnanie nameraných údajov počas slnečného bezoblačného dňa ráno, na obed a podvečer a tiež v polooblačných dňoch, prípadne zamračených.



Graf 5 Porovnanie rýchlosti ohrevu rôznych materiálov

V tabuľke 2 sú uvedené materiály ktoré sú použité v ohnisku kolektora na zohrievanie, ich začínajúce teploty, maximálne teploty a následný rozdiel teplôt, čo znamená o koľko stupenou Celzia sa zvýšila teplota z počiatočnej teploty okolia za čas 10 minút.

Tabuľka 2 Rozdiel teplôt materiálov

	min °C	max °C	ΔT °C
železo	19,61	62,03	42,42
meď	21,65	64	42,35
hliník	22,94	103,13	80,19

Záver

Meraním na line8rnom parabolickom kolektore sme ukázali ako funguje využitie slnečného žiarenia v praxi, poukázali sme na riešenie najvhodnejšieho konštrukčného umiestnenia kolektore v ohnisku, ktorý materiál je najvhodnejší na kolektor a s akým priemerom a hrúbkou steny. Ohrev vody je vhodné vykonávať počas celého dňa, najväčší výkon však získame napoludnie za bezoblačného dňa. Názorne sa dá ukázať výhodné ohrievanie vody využitím slnečného žiarenia.

Literatúra

MACKAY, DJC. 2012. *Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou*. Bratislava: Slovenská inovačná a energetická agentúra, 2012. ISBN 978-80- 88823-54- 4.

Obnoviteľné zdroje energie. Slnečná energia. [Dostupné on-line] [07.04.2016] <http://www.oze.stuba.sk/oze/slnecna-energia/>

Merací panel ULAB. [Dostupné on-line] [07.04.2016] <http://www.ddp.fmph.uniba.sk/~demkanin/CoachWebII/CoachUvod_files/Page926.htm >

Zážitková pedagogika v odbore technika

Lukáš KUBALIAK, Ľubomír ŽÁČOK

Katedra techniky a technológií FPV UMB, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica,
lukas.kubaliak@studenti.umb.sk, Lubomir.Zacok@umb.sk

Abstract: Experiential education in the field of technology: *Nowadays, oblivious to the self-realization in their free time, except for the endless work and responsibilities of student needs time to rest, entertainment, self-education of their own needs and interests. These are activities that you can freely choose. One of the patterns appears to be the use of new and non-traditional approaches in the educational process, such as the experiential learning and training experience. What the child learns through experience that remains stored in the memory longer and more durable. Already experiencing teaching as a specific method of education was attained through the experience and expertise to help students gain the knowledge, skills and abilities so that they acquired for life. Experience teaching, however, is not only focused on inducing experience, but above all for its processing. Education shall give pupils confidence in social and personal life.*

Keywords*: free time, activities, educational process, experiential learning and training experience, experience teaching*

Úvod

Človek v dnešnej dobe žije život pod vplyvom rôznych negatívnych faktorov, ako sú úrovne finančného zabezpečenia, materiálneho blahobytu, sociálneho zabezpečenia. Človek dnešnej doby zabúda na svoju sebarealizáciu vo voľnom čase, okrem nekonečnej práce a povinností potrebuje človek čas na odpočinok, zábavu, samotné sebavzdelávanie svojich potrieb a záujmov. Ide o činnosti, ktoré si môžeme slobodne vybrať. Jedným z možných prepojení sa javí využívanie nových a netradičných prístupov vo výchovno-vzdelávacom procese, akým je aj zážitková pedagogika a výchova zážitkom. To, čo sa žiak naučí pomocou zážitku, ostáva uchované v pamäti dlhšie a trvácnejšie. Zážitkové vyučovanie ako už konkrétny spôsob edukácie sa snaží prostredníctvom zážitku a skúsenosti pomôcť žiakovi získať vedomosti, schopnosti a zručnosti tak, aby si ich osvojil na celý život. Zážitkové vyučovanie sa však nesústreďuje len na vyvolanie zážitku, ale predovšetkým na jeho spracovanie. Vzdelanie má dať človeku istotu v spoločenskom aj osobnom živote.

Človek sa musí vedieť rýchlo orientovať v rýchlo meniacej sa skutočnosti, aby vedel na ňu reagovať tvorivým spôsobom, aby vedel správne využívať všetky hodnoty, ktoré mu spoločnosť poskytuje. Naučiť tvorivo myslieť je jednou z hlavných úloh a cieľov nášho školstva a zároveň spôsobom aktívneho zapojenia žiaka do vyučovacieho procesu, čím sa podstatne zvýši kvalita výchovy a vzdelávania. Žiakom sa aktivity páčia. Ich netradičnosť a novosť sú motivačným prostriedkom, ktorý pritiahne celé skupiny žiakov. Udržateľnosť získaných poznatkov, vedomostí a návykov je podstatne vyššia ako pri bežných výchovno-vzdelávacích aktivitách. Pomocou zážitkových aktivít sa u žiakov buduje pozitívny vzťah k životu, k samému sebe aj k sociálnej skupine, v ktorej sa pohybuje. Základným krédom musí byť, aby každý pedagóg sa stal nielen profesionálom v uplatňovaní tvorivosti vo svojej práci, ale aj pri rozvíjaní tvorivosti žiakov.

Obrázok1 Trávenie voľného času

Charakteristika voľného času

Pojmu voľný čas sa venuje množstvo odborných publikácií. Je to pojem multidisciplinárny, ktorým sa zaoberajú viaceré vedné disciplíny pedagogika, psychológia, sociológia, filozofia a ďalšie vedy ako sú medicína, antropológia, ekonomika.

Skúmať problematiku voľného času znamená sústrediť pozornosť na veľmi dôležitý, zaujímavý ako aj špecifický atribút života jednotlivca a spoločnosti. To, čo nazývame voľným časom, sa u väčšiny ľudí spája s predstavou niečoho príjemného, niečoho, čoho by sme chceli mať dostatok a často krát sme ochotní urobiť čokoľvek, aby sme svoj voľný čas mohli využiť v súlade s našimi túžbami. Podľa dostatku, resp. nedostatku voľného času subjektívne hodnotíme kvalitu nášho života a podľa podmienok a možností, ktoré na využívanie voľného času máme nezriedka hodnotíme aj kvalitu sociálneho a materiálneho prostredia, v ktorom žijeme (Knotová, 2008).

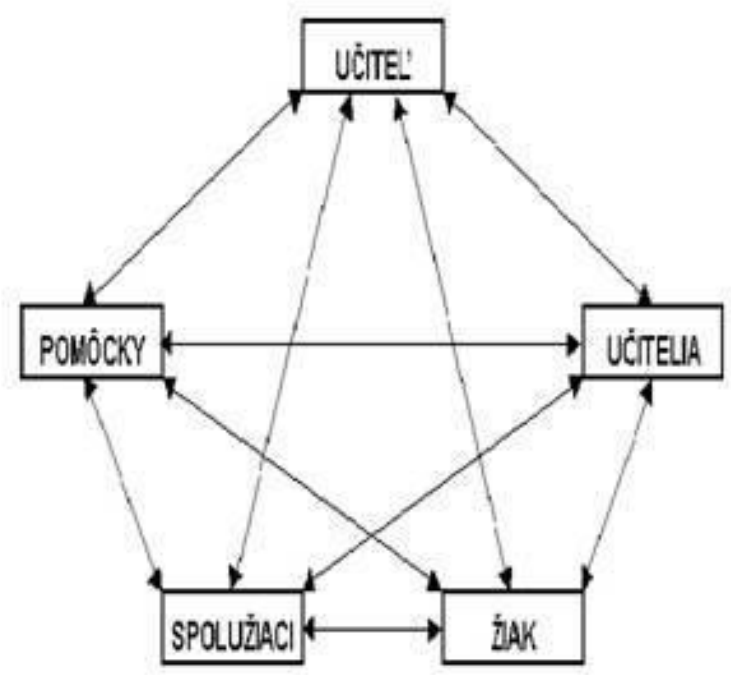
Každý z nás považuje voľný čas, ako čas ktorým disponuje podľa vlastného rozhodnutia, aby uspokojil svoje záujmy a potreby. Je to čas, ktorý každému z nás ostáva po splnení určitých povinností, či už pracovných alebo študijných a iných povinností. Je to vlastne čas, kedy si môžeme svoje činnosti svojvoľne vyberať bez obmedzenia, robíme ich dobrovoľne a s radosťou. Podľa Pávková a kol. (2002) voľný čas možno chápať ako opak doby nutnej pracovnej povinnosti a doby potrebnej k opätovnému získaniu síl. Pod pojmom voľný čas sa bežne zahŕňajú odpočinok, rekreácia, zábava, záujmové činnosti, záujmové vzdelávanie, dobrovoľná spoločensky prospešná činnosť i časové straty s týmito činnosťami spojené.

V historickom vývoji bol rozsah voľného času, ktorý zoradil Krytoň (2011) i obsah voľno časových aktivít determinovaný súborom rôznych činiteľov. V kontexte týchto faktorov je potrebné analyzovať charakter a význam, respektíve spôsob vnímania voľného času, k najdôležitejším môžeme zaradiť:

- charakter sociálno-ekonomických vzťahov typický pre danú spoločnosť, respektíve historické obdobie,
- kultúrnu úroveň spoločnosti, vrátane politickej kultúry, životného štýlu,
- religióznu a v širšom kontexte ideologickú orientáciu,
- stav rozvoja všeobecného a špecificky edukačného vedeckého poznania.

To, že voľný čas v minulosti bol neporovnateľne odlišný od súčasnej činnosti žiakov pri trávení voľného času, vieme posúdiť aj voľným okom pri pohľade z okna, kedy sídliská, hracie ihriská sú prázdne a deti pohltila moderná doba sociálnych sietí a rôznych ďalších mediálnych prostriedkov, pri ktorých dnešná mládež trávi svoj voľný čas.

Súčasnosť nám prináša množstvo pohľadov na trávenie voľného času. Ľudia sa čím ďalej tým viac venujú svojím koníčkom, ktoré stúpajú do enormných noriem, kedy sa neberie ohľad na čas a finančnú stránku. Musíme si však uvedomiť, že žijeme v modernej dobe, kedy už od útleho detstva máme kontakt s počítačmi a rôznymi inými ďalšími médiami, s ktorými trávime voľný čas. Médiá živia ilúzie všetkého možného, všetkého dovoleného. Masovo komunikačné prostriedky sa v súčasnosti svojím vplyvom, intenzitou a šírkou záberu stávajú spolu určovateľom nielen kultúrnosti vzájomných vzťahov ale i samotného spôsobu života.



Obrázok 2 Činitele, ktoré ovplyvňujú vyučovací proces podľa Petláka

Uplatňovanie princípov vo voľnom čase

Ak ide o správne vedenú cieľavedomú činnosť vo voľnom čase, je potrebné si ujasniť určité požiadavky, ktoré v pedagogike nazývame pedagogické princípy. Tento pojem, takzvaný princíp označuje základ, najneobecnejšej normy, ktorá je regulovaná v teórii vyučovania a výchovy. Výchovné princípy zreteľne vyjadrujú zo vzájomného ovplyvňovania medzi subjektom, jednotlivcom, spoločnosťou a objektom výchovy a rešpektovanie ich vzájomných vzťahov. V priebehu výchovného pôsobenia tvoria jednotný systém, sú prepojené, navzájom sa podmieňujú a doplňujú, ktoré ďalej uvádza Masariková (2002) ako:

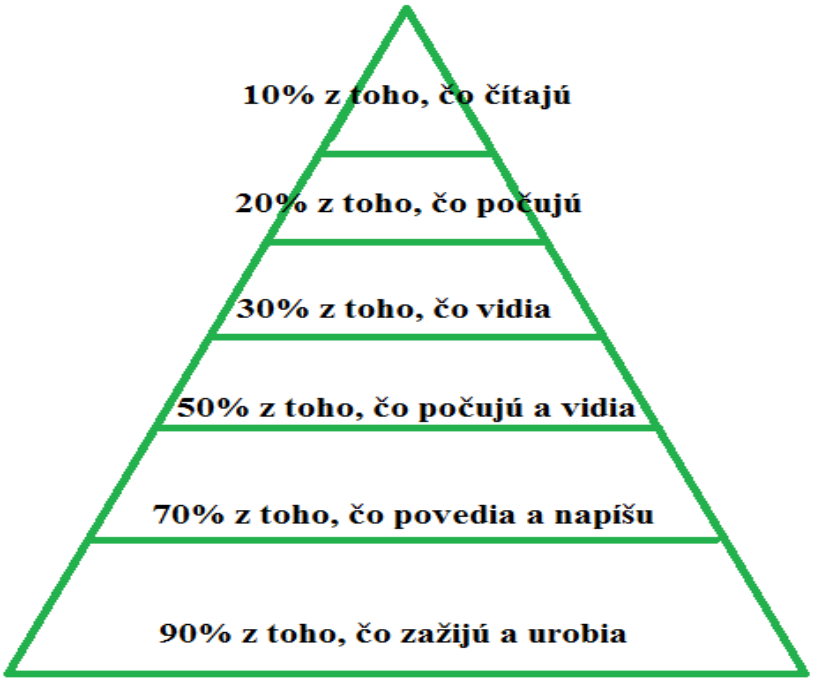
- princíp dobrovoľnosti,
- princíp názorového pluralizmu,
- princíp demokracie a humanizmu,
- princíp cieľavedomého činnostného zamerania aktivity,
- princíp jednoty teórie a praxe,
- princíp primeranosti a postupnosti,
- princíp aktivity, tvorivosti a samostatnej práce.

Dôležitú úlohu pri prevencii sociálnej patológie zohrávajú aj zariadenia pre výchovu mimo vyučovania, pretože väčšina prejavov deviantného správania mládeže je uskutočňovaná vo voľnom čase mimo vyučovania v rovesníckych skupinách. Vytváranie dostatočných možností k pozitívnym voľno časovým aktivitám, pestovanie správnych postojov k voľnému času ako k významnej individuálnej a spoločenskej hodnote javov (Hroncová, 1996).

Zážitková pedagogika

Pedagogika zážitku alebo výchova zážitkom je výchova postavená primárne na vlastnej skúsenosti vychovávaného. O teoretické uchopenie pojmu sa usilujú najmä autori, organizátori a inštruktori, ktorí realizujú vzdelávania v oblasti pedagogiky zážitkom (najmä českí autori M. Važanský, P. Neu-man, I. Jirásek, R. Hanuš, A. Martin a i.). Iní autori, skôr tí z tradičnejšieho prostredia, sa vyhýbajú v tomto zmysle pojmu pedagogika a hovoria skôr o metóde výchovy zážitkom**,** príp. o *problémových okruhoch* či významných témach pedagogiky (voľného času) alebo teórie výchovy.
E. Kratochvílová (2010, s. 269) charakterizuje pedagogiku zážitku ako „teóriu a metodiku výchovy

zážitkom, ktorá sleduje ciele intenzívneho celostného rozvoja osobnosti. Využíva špecifický obsah, formy, metódy a prostriedky výchovy, ktoré sú založené na osobných zážitkoch a získaných skúsenostiach.“ Významný odkaz pre zážitkovú pedagogiku zanechal už J. A. Komenský, podľa ktorého človek získava najdôležitejšie skúsenosti pomocou vlastných zmyslov. Vo svojom prístupe presadzoval celkový rozvoj osobnosti človeka – potrebu vzdelávať ducha, srdce, jazyk aj ruku. Samotný termín „pedagogika zážitku“ je prevzatý z Nemecka, keďže z tohto kultúrneho prostredia pochádza nemecký pedagóg, inšpirátor a realizátor mnohých zážitkových výchovných projektov, zakladateľ najvýznamnejšej organizácie zastrešujúcej pedagogiku zážitku Outward Bound Kurt Hahn. Je považovaný za zakladateľa modernej pedagogiky zážitku.



Obrázok 3 Východiská zážitkovej pedagogiky

Podmienky efektívnej výchovy zážitkom

Rôzni autori charakterizujú koncepciu zážitkovej pedagogiky pomocou štyroch základných prvkov, ktoré by zážitková aktivita mala obsahovať. Sú to:

1. hraničná situácia,
2. konfrontácia s prírodou,
3. vzťah k vlastnému telu,
4. solidarita.

Na základe už spomenutého ide teda pri zážitkovej aktivite o prekonávanie myslenej zóny komfortu, osobnej psychickej či fyzickej bezpečnosti tak, aby sa dieťa alebo mladý človek na základe učenia, poznania a výzvy prepracoval k prekonávaniu samého seba. Ak má byť opustenie zóny komfortu bezpečné, musí byť riadené či už pedagógom, rodičom, alebo samotným dieťaťom. Takýmto spôsobom sme na najlepšej ceste k tomu, aby sa dieťa dostalo do zóny motivujúceho stresu. Dieťa však môže opustiť zónu komfortu aj neriadeným spôsobom, keď prechádza priamo do zóny ohrozenia. Do tejto situácie sa dostávajú mnohí mladí ľudia najmä chlapci, ktorí sami dobrovoľne vyhľadávajú limitné skúsenosti – násilie a s ním spojené ozbrojovanie, skorý sexuálny život, obľubujú rizikové situácie, v krajných prípadoch sa uchyľujú k autoagresii až samovraždám. Podvedome tak napĺňajú potrebu postupu do vyššej vývinovej etapy. (Brestovanský, 2008)

Charakteristické znaky výchovy zážitkom, ako ich sumarizoval Martin (In Francz, Zounková, Martin, 2007):

- prvok dobrodružstva,

- istá miera neistoty a prijímanie rizík,
- element výzvy a reflexie,
- zasadenie aktivity do netradičného prostredia.

Technické tvorivé myslenie

V dnešnej dobe moderná veda a technika vstupuje do popredia. Zatiaľ čo v minulosti si technika vystačila s tým čo vytvorila, v súčasnosti sa preukazuje, že už nestačí narastajúcim nárokom spotrebiteľov. Súčasnosť si od každého človeka vyžaduje, aby tvorivým spôsobom riešili rôzne problémy. Metodici sa snažili zostaviť učebné osnovy tak, aby boli čo najzrozumiteľnejšie a žiaci si učivo osvojili čo najefektívnejšie.

Pri objasňovaní základných pojmov, súvisiacich s rozvojom technickej tvorivosti žiakov, sú dôležité tak pedagogické ako aj psychologické aspekty. Rozvíjanie technickej tvorivosti žiakov vo vyučovacom procese je vlastne využívanie poznatkov v pedagogike. Pedagogika ako veda aplikovala učenie o zákonoch vyššej nervovej činnosti najmä na vyučovací proces, čo pomohlo dôkladnejšie preskúmať jeho materiálnu podstatu a analyzovať rôzne výťahy na vývin osobnosti jedinca (Kožuchová, 1999).

V širšom slova zmysle pojem technika zahŕňa technické predmety a technické procesy, teda aj technické bádanie sa dotýka tak predmetov, ako aj procesov. Vzhľadom na to, že technickú tvorivosť nemôžeme obmedziť len na praktické problémy, rozlišujeme:

- **Poznávaciu techniku** - technické koncepcie vyplývajúce z technických vied.
- **Aplikačnú techniku** - štruktúra a funkcia technických výrobkov a technické procesy.

Nemecký pedagóg W. Hande (1985) definíciu technickej tvorivosti zameriava na činnosť žiaka, pretože práve v období základnej školskej dochádzky vidí najväčšie nedostatky v technickej tvorivosti. Pod pojmom tvorivá technická činnosť rozumie takú činnosť týkajúcu sa techniky, pre ktorú je charakteristické plné zaťaženie študentov technickým objektom poznania a zároveň aktívna a samostatná činnosť, ktorá je hlavnou úlohou ďalšieho rozvoja techniky. W. Hande (1985) uvádza vo svojom tvrdení poznatky a základné požiadavky, ktoré sú nevyhnutné pre plynulý a bezchybný rozvoj technickej tvorivosti žiakov na základnej škole:

1. Žiaci pri rozvíjaní technickej tvorivej činnosti majú využívať vedomosti z technických, ekonomických a prírodných vied
2. Majú sa oboznámiť s heuristickými metódami i s rozličnými technickými činnosťami za účelom vyriešenia technických problémov
3. Na technickú tvorivú činnosť musia byť vhodne motivovaní
4. Žiaci majú riešiť problémy, ktoré sú primerané ich schopnostiam

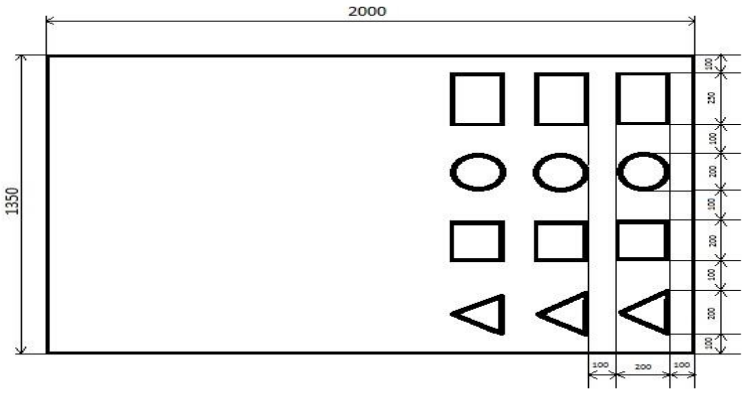
Technické myslenie v pravom slova zmysle je podľa Franusa (1978) založené na pochopení technických produktov súčasne a z aspektu prírodovedných zákonitostí v nich využitých ako aj z aspektu technických princípov. Pochopenie týchto princípov je znakom technického myslenia a garantom úspechu v technickej tvorivej činnosti detí a mládeže.

Praktická ukážka zážitkovej pedagogiky v odbore technika

Pri našich vzdelávacích aktivitách sa snažíme zapájať čo najväčšie spektrum zážitkovej pedagogiky od športových až po vedecké aktivity, kde sa snažíme vytvoriť súdržný kolektív žiakov. Atmosféru, ktorú tvoríme sa odráža od aktivít podporujúce všestranný rozvoj pohybových, koordinačných, kognitívnych schopností a zručností pre rôzne vekové kategórie žiakov. Môžeme podotknúť, že všetky aktivity, ktoré vykonávame sú na báze voľného času a voľno časových aktivít. Jedna z aktivít, ktorú sme si pripravili, bola zostavená na podporu technického tvorivého myslenia, kedy sme za pomoci zážitkovej pedagogiky a so spoluprácou mesta Tisovec zorganizovali aktivitu v mestskom kultúrnom stredisku. Ide o klasickú hru s názvom Twister, pri ktorej sme však začali od úplného začiatku.

Obrázok 4 Prípravné stanovište na rysovanie

Naším hlavným cieľom bolo ukázať žiakom, že hry, ktoré si kupujú, sa dajú aj hravou formou pri troche vedomostí o technickom kreslení vytvoriť svojpomocne. Tu nastáva fáza učenia bez toho, aby mali pocit, že sedia v školských laviciach. Postup bol jednoduchý a to taký, že sme sa rozdelili do troch skupín. Jedna skupina rysovala hraciu plochu podľa vopred narysovaného technického výkresu.



Obrázok 5 Technický výkres

Druhá skupina vytvárala inovatívnu formu točiaceho sa ukazovateľa, podľa ktorého sa v hre postupuje a udáva smer hry.

Obrázok 6 Inovatívna forma točiaceho sa ukazovateľa

Obrázok 7 Finálna podoba

Tretia skupina vytvárala svojimi zručnosťami a kreativitou tvar finálnej škatule, do ktorej celú hru umiestnime z dôvodu prenášania a manipulácie pri ďalších stretnutiach a súťažných aktivitách.

Obrázok 8 Zhotovenie inovatívnej škatule

Ďalším, už však zábavnejším postupom bolo po narysovaní jednotlivých geometrických útvarov maľovanie, do ktorého sa pustili všetci žiaci s plným nadšením a entuziazmom k vytvoreniu vlastnej hry. Postupne sme vymaľovali všetky geometrické tvary, kde trojuholník mal zelenú výplň, kocka modrú, kruh mal výplň červenej farby a obdĺžnik mal farbu čiernu.

Obrázok 9 Vymaľovanie jednotlivých geometrických útvarov

Po dokončení jednotlivých stanovíšť a zhotovením jednoduchých pravidiel nám už nebránilo nič k tomu, aby sme sa s obrovskou chuťou pustili do súťaživosti a mohli si vychutnať pocit z vlastnoručne vyrobenej hry, pri ktorej sme sa naučili pracovať s množstvom nových prostriedkov, preopakovaniu si výpočtov geometrických tvarov, prácu s nožničkami, lepidlom, papierom atď.

Obrázok 10 Záverečná fáza hra

Obrázok 11 Poďakovanie všetkým zúčastneným

Záver

Zážitkové vyučovanie je neoddeliteľnou súčasťou spomedzi didaktických metód v práci učiteľa, ktoré sa snaží nájsť u žiakov dostatočný motív a nabudenie pre spoluprácu na vyučovacích hodinách, ale aby malo široké uplatnenie vo všetkých vyučovacích predmetoch. Naším cieľom je, aby sa zážitkovému vyučovaniu prikladal taký význam, aký si zasluhuje, pretože má mnohodimenzionálny charakter. Nesmieme však zabúdať na voľný čas, ktorý by mal disponovať každý jeden z nás či už ide o dospelého jedinca alebo o žiakov. Je to súčasť života, čas pri ktorom realizujeme záujmovú činnosť, realizujeme svojvoľne svoje koníčky a popri tom rozvíjame svoju kreativitu. Preto nemôžeme podceniť tento fakt u žiakov, kde je to nevyhnutnosťou, aby spoločnosť nadobudla generáciu za generáciou kreatívnych a prispôsobivých ľudí. Správne využitý voľný čas môže z človeka vytvoriť kultúrnu, vzdelanú a vo svoj prospech rozvinutú osobnosť. Na každú osobnosť človeka vplývajú potreby a záujmy, ktoré sa môžu charakterizovať ako úsilie zaoberať sa činnosťami, ktoré človeka napĺňajú, ženú stále v pred, povzbudzujú po poznávacej a citovej stránke.

Literatúra

ZELINA, ZELINOVÁ, 1990. *Rozvoj tvorivosti detí a mládeže*. Bratislava: SPN, 1990. ISBN 80-08-00442-8.

PORTIK, KRAJČOVIČOVÁ, MIHOKOVÁ, 2009. *Základy tvorivosti.* Prešov: Prešovská univerzita v Prešove, Pedagogická fakulta, 2009. ISBN 978-80-8068-941-4.

PÁVKOVÁ a kol., 2002. *Pedagogika voľného času.* 3, Vydanie. Praha: Portál, s.r.o., 2002. ISBN 80-7178-711-6.

KRYSTOŇ, 2011. *Andragogické aspekty využívania voľného času.* Banská Bystrica: Pedagogická fakulta, Univerzita Mateja Bela, 2011. ISBN 978-80-557-0240-7.

KRUŠPÁN, PAZDĚRA, TOMKA, 1986. *Technická záujmová tvorivá činnosť.* Banská Bystrica: Pedagogická fakulta, 1986. 7- 32 s.

KRATOCHVÍLOVÁ, 2001. Voľný čas a pedagogika voľného času. In. *Vychovávateľ.* Roč. XLV, 2001, č. 5. 22-.23 s

KOŢUCHOVÁ, 1999. *Rozvoj technickej tvorivosti.* Bratislava: Univerzita Komenského, 1999. ISBN 80-223-1393-9.

FICHNOVÁ, SZOBIOVÁ, 2007. *Rozvoj tvořivosti a klíčových kompetencí dětí.* Praha: Portál, 2007. ISBN 978-80-7367-323-9.

BRESTOVANSKÝ, M. 2008. K pojmu animácia. In *Socialia 2007*. Banská Bystrica: PF UMB, 2008. ISBN 978-80-8083-595-8.

Drevené hračky v edukácií I – Rubikboard, Box pre malých kutilov, Ubongo, Matematické lanko, Domino

Monika TEKNÖSOVÁ, Michaela ĽUPTÁKOVÁ, Gabriela LENARTOVÁ, Alica BABICOVÁ, Gabriela DOBIÁŠOVÁ, Anna ŠIMJAKOVÁ, Mária KĽUSKOVÁ, Ján STEBILA

Katedra techniky a technológií PFV UMB, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica

Abstract: Wooden toys in the education: *Our aim was to construct wooden toys, the function of which is to develop the child. In our work we show our self-made wood toy, each of which is specific and exceptional, and which are made, inter alia, not only of wood, but we used a different material, but we will talk later.*

Keywords: *toys, wood, function, work, material*

Úvod

Naším cieľom bolo zhotoviť drevené hračky, ktorých funkciou je rozvíjanie dieťaťa. V našej práci vám ukážeme naše vlastnoručne vyrobené drevené hračky, z ktorých každá je špecifická a výnimočná, a ktoré sú okrem iného vyrobené nielen z dreva, ale použili sme aj iný materiál, ale to si povieme neskôr.

Drevo

Žiadny iný materiál nie je taký nadčasový a príjemný ako drevo. Patrí medzi najstaršie materiály v stavebníctve. Popri keramickej hmote a textilným útržkom je najčastejšie používaným materiálom pri výrobe remeselných hračiek. Drevo má svoje klady aj zápory. Medzi klady alebo výhody by sme zaradili to, že má nízku objemovú hmotnosť, malú tepelnú a zvukovú vodivosť, dobrú pevnosť a tiež sa ľahko opracúva. nevýhodami sú horľavosť a malá odolnosť proti poveternostným vplyvom a tiež je drevo náchylné na škodcov či už rastlinných alebo živočíšnych. Poznáme ihličnaté a listnaté dreviny a tie rozdeľujeme na mäkké a tvrdé. Na výrobu hračiek sa najčastejšie používa lipové drevo, buk a javor.

Hračka

Hračky sú hmotné prostriedky realizácie hier, ktoré môžu byť buď v pozícií nástroja hry alebo podnetu vyvolávajúcom hravú aktivitu. V časoch našich starých mám mali drevené hračky svoje nenahraditeľné miesto, nielen pre svoju trvácnosť, ale aj pre široké možnosti tvarovania. Jednoznačne a nespochybniteľne sú však hračky tými médiami, ktoré rozvíjajú senzorickú činnosť, rozumové schopnosti, fantáziu a tvorivosť, vzbudzujú radosť a uspokojenie, pomáhajú rozvíjať sociálne kontakty s dospelými aj rovesníkmi, sprostredkúvajú dieťaťu svet dospelých, rozvíjajú estetické cítenie.

Hračkou je bábika, autíčko, stavebnica či plyšový medvedík, ale rovnako aj drevené polienko, gaštany, škatuľa od topánok, mamin náhrdelník. Hračkou môže byť akýkoľvek predmet, ktorý nadobúda svoju pravú funkciu iba vtedy, ak vyhovuje požiadavkám hry, to znamená je zdrojom radosti, potešenia zábavy ale aj zdrojom informácií, vedomostí a nových poznatkov.

Každá hračka musí spĺňať istú kvalitu, musí mať vlastnosti, medzi ktoré patrí funkčnosť, ktorá zodpovedá pohlaviu, veku a dá sa použiť na hranie, variabilnosť, ktorá sa dá využiť vo viacerých hrách, viacúčelovosť, ktorá slúži na rozvíjanie osobnosti dieťaťa, bezpečnosť zohľadňujúca zdravotné hľadisko a estetickosť.

Naše produkty

Pri výrobe a opracovaní hračiek sme používali rôzne stroje a pomôcky ako kotúčová píla, fréza, brúsny papier, ručná píla, vŕtačka, pilníky, vypaľovačka. Nosný materiál našich hračiek je drevo.

Drevo sme doplnili iným materiálom ako sú lepidlá, farby a laky. Každá naša hračka je iná a v nasledujúcich podkapitolách vám ich predstavíme.

1 Rubikboard

Hra sa skladá z hracej dosky v tvare štvorca, na ktorej je umiestnených 49 kolíkov. Ku realizácií hry sú potrebné gumičky rôznych farieb. Ďalšou časťou hry sú hracie kocky, sú tri a každá predstavuje inú funkciu. Prvá kocka predstavuje malú násobilku a žiak má výsledok pomocou gumičiek znázorniť na kolíkoch a farebne rozlíšiť. Tak isto na kolíkoch žiaci znázorňujú funkcie druhej a tretej kocky, pričom druhá kocka je rozlíšená farbami a obsahuje názvy geometrických tvarov a na tretej kocke sa nachádzajú obrazce ako napríklad dom, strom a je určený počet gumičiek, ktoré môže žiak použiť.

Hra je určená pre deti na ZŠ, vo veku od 8-10 rokov. Je vhodná pre dievčatá aj chlapcov. Hra sa aplikuje v menších skupinkách v počte troch alebo štyroch detí.

Funkcie Rubikboardu je rozvoj fantázie a predstavivosti, zdokonaľovanie sa v matematike, podpora logického myslenia, kooperácia/spolupráca a taktiež sa rozvíja jemná motorika žiakov.

Obrázok 1. Rubikboard

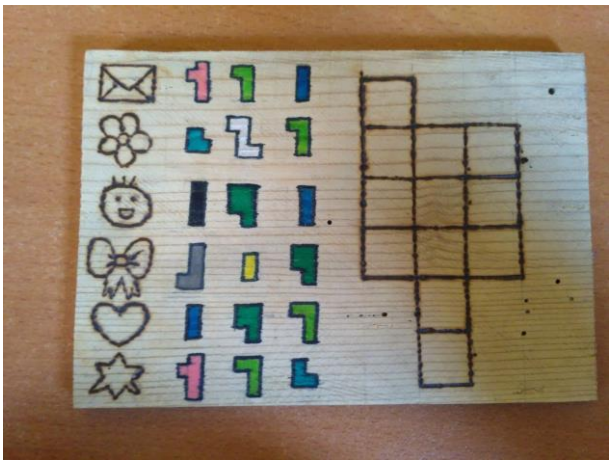
2 Box pre malých kutilov

Hračka je určená pre hru detí, pomocou ktorej napodobňuje svojho rodičov pri práci. Box obsahuje ručnú pílku, skrutkovač, kľúč , uholník a kladivko. Slúži na upútanie pozornosti dieťaťa, jeho zabavenie, na rozvoj motoriky a psychických schopností. Box pre malých kutilov precvičuje jemnú motoriku, trpezlivosť, priestorové a logické myslenie a rozvoj zručnosti. Dieťa môže opravovať drobné poruchy, na ktoré využije náradie. Box s náradím je vhodný darček pre majstrov, ktorí už oslávili svoje 6-te narodeniny, ale nemusí byť vekovo ohraničený.

Obrázok 2. Box pre malých kutilov

3 Ubongo

Každý hráč dostane jednu sériu 12 farebných dielikov. Okrem toho dostane každý hráč na začiatku každého kola novú hraciu kartu. Jeden z hráčov hodí kockou. Hodený symbol na kocke určí, ktoré zadanie bude hráč na svojej hracej karte riešiť. Teraz sa všetci hráči súčasne pokúšajú čo najrýchlejšie vyplniť svetlú plochu na svojej hracej karte príslušnými farebnými dielikmi. Hráč, ktorý ako prvý poskladá dieliky na hraciu kartu, zvolá „UBONGO“ a vezme si jednu guľôčku z vrecúška. Kto bude mať najviac guľôčok, vyhráva. Táto hra rozvíja súťaživosť, logiku, predstavivosť, tvorivosť a motoriku.



Obrázok 3. Ubongo

4 Matematické lanko

Hra je určená pre mladší školský vek, najmä pre žiakov 2-3 ročníka ZŠ. Matematické lanko sa môže využívať na hodinách matematiky, na rôznych krúžkoch alebo v družine. Hra je vhodná pre dievčatá aj chlapcov. Hrá sa v triedach, ale za pekného počasia sa môže hrať aj vonku.

Význam a funkcia Matematického lanka je, že má pozitívny vplyv na postoj žiakov k matematike. Hra je veľmi zábavná a vytvára uvoľnenejšiu atmosféru, uprednostňuje pozitivitu a odstraňuje negativitu v triede (nuda, strach). Táto hra podporuje aktivitu, tvorivosť, zručnosť, obratnosť a myslenie žiakov.

Matematické lanko je veľmi jednoduchá hra, žiak sa snaží hádzať lanká, čo najpresnejšie a získať, čo najviac bodov. Dvaja žiaci budú súťažiť proti sebe a obaja hráči budú mať po 4 lanách. Žiaci sa budú snažiť trafiť a hodiť lanká na farebné kolíky, ktoré majú čísla napr. prvý žiak hodí laná na kolíky s číslami 4,25 a 12. Druhý hodí na čísla 25, 19, 5x7, obaja žiaci si spočítajú koľko bodov nahodili a ako pomôcku môžu použiť tabuľu, ten žiak, ktorý nazbieral najviac bodov vyhráva súťaž.

Obrázok 4. Matematické lanko

5. Domino

Hra je určená pre deti od veku 6 a viac rokov, a je určená hlavne pre samostatné hranie. Dieťa tu trénuje jemnú motoriku, predstavivosť, trpezlivosť, zručnosť, logické a matematické myslenie. Hra spočíva tom, že si ľubovoľne zostavíme a zoradíme domino do tvaru, aký chceme a potom ťukneme do prvej domino kocky, ktorá následne odštartuje celý proces. Ďalšou funkciou hry sú číselné vyjadrenia na kockách, ktoré ku sebe vodorovne spájame, iba rovnakým počtom bodov znázornených na polovičkách hracej kocky.

Obrázok 5. Domino

Záver

Cieľom našej práce bolo zhotoviť drevené hračky, ktorých funkciou je rozvíjanie dieťaťa. V našej práci sme opísali naše vlastnoručne vyrobené drevené hračky a ich funkcie. Každá z hračiek je špecifická a výnimočná. S drevom sa nám pracovalo veľmi dobre, keďže je drevo výborný materiál na opracovanie a výrobu výrobkov. Používali sme hlavne smrekové drevo. Pri výrobe nám pomáhali naši známi a rodina. Vlastnoručná výroba drevených hračiek je pre nás veľkou skúsenosťou a prínosom. V budúcnosti určite využijeme tieto hračky a ich špecifické funkcie. Pri práci sme sa inšpirovali odbornou literatúrou, ktorá nám poskytla mnoho informácií o dreve a hračkách v edukácií.

Literatúra

ŠÍPKOVÁ, Ž.: *Drevo a jeho možnosti pri skvalitňovaní spôsobu života a životného prostredia vidieckych sídiel*. 2010, ISBN 978-80-970571-0-7.

BALAŽOVÁ, E.: *Hračky v škole*. Banská Bystrica: Občianske združenie, 2004. ISBN 80-968131-3-7.

BALAŽOVÁ, E.: *Hračky-edukačné médiá v Ludotéke*. Banská Bystrica: Pedagofická fakulta UMB, 2004. ISBN 80-8055-561-3

Drevené hračky v edukácií II – Cucuro, Topánka, Puzzle

Miriam LUKÁČOVÁ, Miriama HORŇÁKOVÁ, Karin KURTYOVÁ, Melánia DUBECKÁ, Ján STEBILA

Katedra techniky a technológií PFV UMB, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica

Abstract Wooden toys in the education II *- Cucuro, Shoes, Puzzle: Our aim was to construct wooden toys, the function of which is to develop the child. In our work we show our self-made wood toy, each of which is specific and exceptional, and which are made, inter alia, not only of wood, but we used a different material, but we will talk later.*

Keywords: *toys, wood, function, work, material*

Úvod

„Hrou si majú deti cvičiť myseľ k jemnosti, pohyby k obratnosti a telo ku zdraviu."

J.A. Komenský

Cieľom tejto práce je zhrnúť informácie o didaktických hračkách a poukázať na ich význam pri výchove detí. Hra je najtypickejším prejavom detí. Hračka je predmet, ktorý je pre dieťa najbližší a najobľúbenejší, hračkou môže byť všetko, s čím sa deti hrajú, teda aj predmety bežného použitia. Didaktická hračka hravou formou rozvíja poznávacie funkcie a celú osobnosť dieťaťa.

Aby bolo výchovné pôsobenie kvalitné, je potrebné mimo lásky a bezpečia tiež zabezpečiť materiálne a sociálne podmienky. K vytváraniu podnetného prostredia pomáhajú hračky, pri nedostatku vývojových podnetov a nedostatočnom uspokojovaní psychických potrieb. Keďže sa v každej vývojovej etape líši štruktúra potrieb dieťaťa a spôsob života, diferencujú sa aj pomôcky a hračky im určené.

Drevené hračky používali už deti starých Egypťanov, Sumerov, najviac ich mali azda v Oriente, najmä v Číne. Z nášho praveku sa zachovali časti hrkálok, loptičiek či guľôčok. Mnoho hračiek sa našlo v gréckych detských hroboch - hrkálky, bábiky, hojdačky. Hračky z dreva patria k tradičným výrobkom, ktoré v súčasnej dobe prežívajú renesanciu. Väčšina z nás si spomína na drevené kocky, stavebnice alebo hojdacieho koníka. Sú to hračky, ktoré tvoria „základnú výbavu" takmer každého dieťaťa. Zvieratká, koníky, vtáčiky, vozíky, kocky a stavebnice majú bohatú históriu a tradíciu.

V dnešnej dobe sa už deti veľmi málo stretávajú s drevenými hračkami, ktoré by stimulovali ich motoriku, mobilitu, duševný a emocionálny rozvoj a tiež plnia dôležitú úlohu pri socializácií dieťaťa. Okrem toho môže byť prostriedkom k redukcii a odstránenia škodlivého prebytku psychického napätia u dieťaťa. Preto sa nezamýšľajme nad drevenými hračkami iba len ako prostriedkami na hranie, pretože poskytujú dôležitú službu aj ako objekt, ktorý účinne pomáha pri rozvoji osobnosti dieťaťa a preto ma intelektuálne, didaktické, terapeutické a pedagogické rozmery.

Topánka na viazanie šnúrok

Drevené hračky majú prirodzenú krásu, ktorá sa nedá porovnať s hračkami vyrobenými z plastu. Hračky z prírodných materiálov pre deti a drevené hračky pozitívne vplývajú na zdravý vývoj dieťaťa a pomôžu dieťaťu budovať vzťah k prírode a zvieratám. Vzhľadom k tomu že hračky z dreva sú vyrobené z udržateľných a obnoviteľných materiálov nepoškodzujú životné prostredie tak ako hračky z plastu alebo PVC. Drevené hračky poskytujú nielen skvelú zábavu pre deti, ale aj pomáhajú im v ich mentálny vývoj. Môže byť aj prostriedkom na zníženie a odstránenie nežiaduceho nadmerného psychického napätia dieťaťa.

Význam:

- Deti sa môžu naučiť ako si zaväzovať vlastné šnúrky.
- Je stvorená pre výučbu motorických zručností.
- Je vhodná pre škôlkarov a predškolákov.
- Dieťa trénuje zručnosť a trpezlivosť.
- Ďalej môže byť použitá ako stojan pre uloženie ceruziek, pier, sladkostí atď.

Funkcie:

- Psycho-motorická funkcia.
- Stimuluje motoriku.
- Pohybový, mentálny a citový rozvoj dieťaťa.
- Zohráva aj dôležitú socializačnú funkciu.

Ako prvý krok sme si spravili nákres na papier (obr. 1a) s presnými rozmermi, ktorý sme následne prekreslili na drevo (obr. 1b).

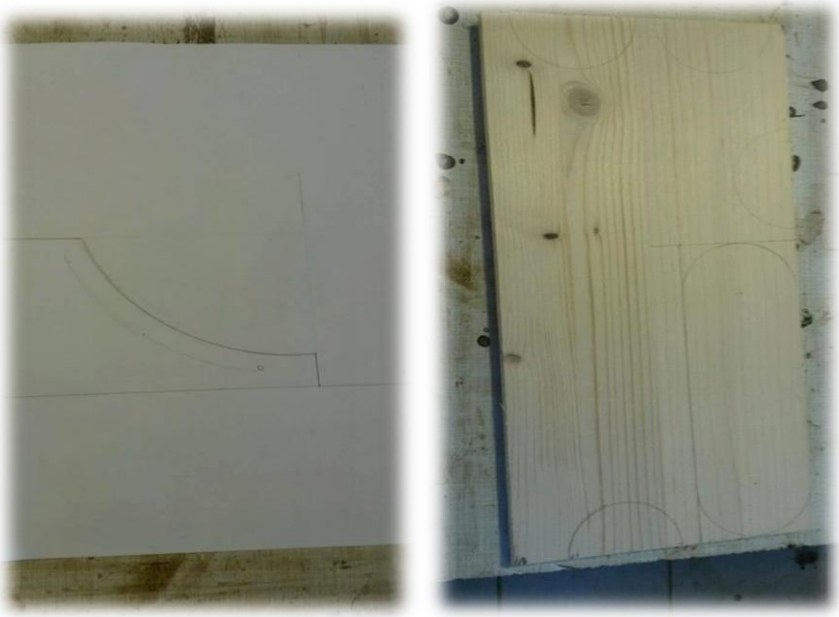
V druhom kroku sme si vyrezali spodnú časť (obr. 2a), bočné strany (obr. 2b), prednú a zadnú stranu topánky (obr. 2c) priamočiarou pílou. Vyrezané časti sme neskôr obrúsili a vyhladili brúsnym papierom.

V treťom kroku sme si vyrezali zárezy na bočné steny topánky (obr. 3).

Vo štvrtom kroku sme si zadnú a spodnú časť zlepili lepidlom (obr. 4).

V piatom kroku sme si všetky komponenty spojili (obr. 5).

V poslednom kroku sme nafarbili topánku temperovými farbami a dodali sme šnúrku na viazanie, čím sme dostali hotovú topánku (obr. 6).



a) b)

Obrázok 1 Náčrt šablóny na výrobu topánky

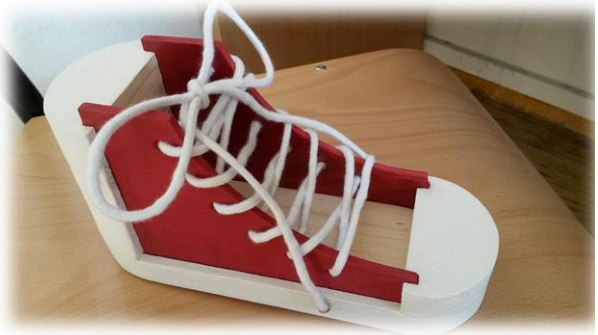
a) b) c)

Obrázok 2 Vyrezanie jednotlivých častí topánky

Obrázok 3 Vyrezanie drážok do spodnej časti topánky

Obrázok 4 Zlepenie spodnej a zadnej časti topánky

Obrázok 5 Zlepenie všetkých dielov topánky



Obrázok 6 Výsledná topánka

Puzzle

Puzzle, dnes už klasickú logickú hru, pozná úplne každý. Už malé deti si vďaka nej cvičia logické uvažovanie. Nad skladačkami sa sústredia nielen deti, ale aj mnoho dospelých. Aj pre nich je skladanie najrôznejších obrázkov zábava a zároveň mozgové cvičenie, ktoré navyše vraj znižuje pravdepodobnosť ochorenia Alzheimerovu chorobu. Prvá bola mapa, za ktorú má zásluhu londýnsky kartograf John Spilsbury, ktorý pred štvrť tisícročím nalepil svoju mapu na drevenú doštičku a potom rozrezal. Skladanie malých dielikov nemalo slúžiť pre zábavu, pán Spilsbury ho zamýšľal použiť ako učebnú pomôcku pre výučbu zemepisu. John Spilsbury prispel k vzniku herného fenoménu 20. storočia.

Funkcie:

- Od dvoch rokov sú veľmi vhodnou hračkou puzzle, ktoré rozvíjajú jemnú motoriku, reč, či rozumové schopnosti dieťaťa.
- Touto hračkou si dieťa cvičí logické myslenie, môže si rátať z koľkých častí sa skladajú puzzle.
- Puzzle u dieťaťa vzbudzujú záujem, ale mali by byť aj pútavé, rozvíja trpezlivosť, vnímanie a pozornosť.

Na preglejku sme si nakreslili náčrt drevenej hračky (obr. 7). Nakreslili sme si obrázok motýľa na prednú časť preglejky (obr. 8). Po načrtnutí nákresu sme priamočiarou pílou sme vyrezávali časti puzzle (obr. 9). Po vyrezaní sme puzzle poskladali a vyfarbili prednú časť (obr. 10). Výsledná práca puzzle je na (obr. 11).

Obrázok 7 Náčrt drevenej hračky

Obrázok 8 Nakreslenie predlohy motýľa

Obrázok 9 Vyrezávanie puzzle

Obrázok 10 Vyfarbenie predlohy

Obrázok 11 Výsledné puzzle

Cucuro

Dieťa si pri tejto hre rozvíja motoriku a trpezlivosť. Hračka je určená pre 6 - 10 ročné deti no zahrajú sa s ňou aj staršie.

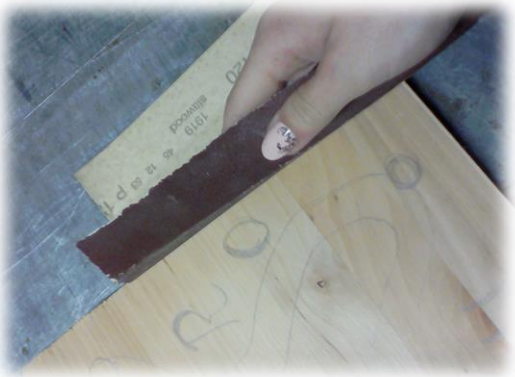
Pravidlá:

- Guľôčka sa musí dostať po trase od štartu až do cieľa.
- Pri spadnutí guľôčky do jamky sa musí hráč vrátiť späť na štart a začať od znova.
- Hráč môže použiť viacej guľôčok naraz a tým si zvýšiť náročnosť hry.

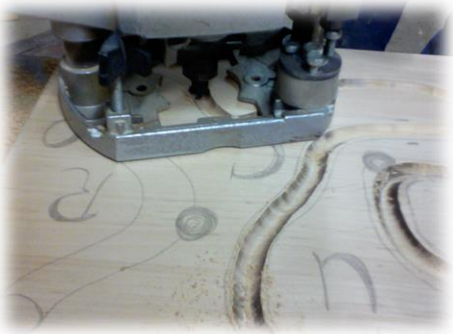
Pripravili sme si drevenú dosku v štvorcovom tvare (obr. 12). Na pripravenú dosku sme si nakreslili náčrt drevenej hračky (obr. 13). Následne sme si dosku obrúsili brúsnym papierom a vyhladili okraje (obr. 14). Ručnou frézou sme si vyrezali cestičku pre guľôčku (obr. 15). Pomocou vrtáka sme vyvŕtali diery (obr. 16). Nakoniec sme pomocou pájkovačky vypálili názov drevenej hračky (obr. 17).

Obrázok 12 Základný materiál

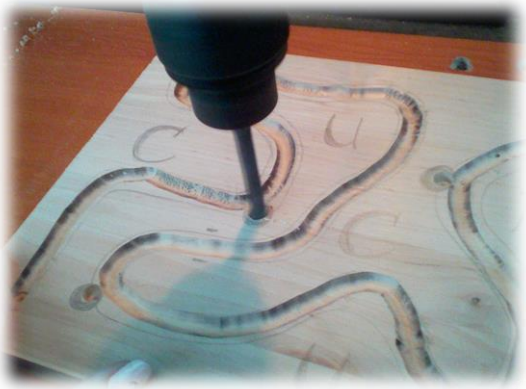
Obrázok 13 Nakreslená dráha na doske



Obrázok 14 Úprava základnej dosky



Obrázok 15 Frézovanie cesty pre guľôčku



Obrázok 16 Vŕtanie otvorov

Obrázok 17 Vypaľovanie názvu hry

Záver

Hračka sprevádza ľudstvo už od praveku. V dnešnej dobe je jej venovaná veľká pozornosť aj preto, že sa z výroby a predaja hračiek stalo ekonomicky zaujímavé odvetvie. Hračka má pozitívny význam pre deti, kedy je nepostrádateľnou súčasťou pri didaktických procesoch. Najdôležitejší je čas, ktorý venujeme deťom pri hre. Naučíme ich tým mnohému, lepšie porozumieme ich svetu a tiež sa naučíme mnohému od nich. Pri hre sa dozvedáme o individuálnych rozdieloch povahových vlastnostiach dieťaťa. Pri pozorovaní hry detí môžu objaviť svoje vlastné prejavy, zvyky a zlozvyky. Deti sú úprimné a nedokážu nič predstierať. Dieťa je s hračkami v silnom kontakte, trávia s nimi veľa času, do hry vkladá, ale z nej aj získava energiu. Hračka sama o sebe však nie je zárukou kvalitnej hry. Pre dosiahnutie didaktických cieľov je nutné ju dieťaťu dať vo správny čas a vysvetliť mu, ako ju používať.

Cieľom našej práce bolo poukázať na to akú dôležitú úlohu zohrávajú drevené hračky v edukácii. Na hračkách sa malé deti učili poznávať a odhadovať tvar, veľkosť, farbu, materiál a množstvo. Deti si hrami rozvíjali pamäť, pozornosť, pohotovosť, presnosť, rýchlu reakciu a pod.

Pri hre s edukačnou hračkou bolo pozorované postupné zdokonaľovania jeho fyzických a psychických schopností. Z toho vyplýva, že hračky tvorili a tvoria veľmi dôležitú úlohu vo vývoji dieťaťa.

Literatúra

http://hravo.justplugin.sk/03_text_kt_en.html
http://korzar.sme.sk/c/4459416/hracky-a-hry-prezili-tisicrocia.html
https://is.muni.cz/th/105594/pedf_b/didakticke_hracky.pdf

Holografia a jej uplatnenie v edukačnom procese

Denis MITROVIĆ, Ján PAVLOVKIN

Katedra techniky a technológie FPV UMB, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica,
denis.mitrovi@gmail.com, Jan.Pavlovkin@umb.sk

Abstract: Holography and its application in the educational process: *The theme of this paper is a new direction in the optics that could be used as a didactic resource in the educational process. This is a holography and will point to its application as teaching techniques and teaching aids. To holography to create the need to obtain holographic projector specific application typifies us holography in the form of holograms. Its design is also the subject of this post also mentioned the history of holography, which will reveal the discoverer of holography and its existing use and possible visions of the future for the development of holography as didactic tools.*

Keywords*: holograms, holography, educational process, teaching techniques, teaching aids.*

Úvod

Holografia ako nový smer v optike sa začal intenzívne rozvíjať v polovici 60-tych rokov dvadsiateho storočia. V súčasnosti už patrí k zaujímavým technológiám nášho storočia a využíva sa na sledovanie procesov a javov v rôznych vedných disciplínach aj v praxi (Černecký et al. 2003). Preto sme sa rozhodli v príspevku aplikovať holografiu do vyučovacieho procesu, aby sme poukázali na jej uplatnenie v antropogogických vedách ako didaktický prostriedok. Taktiež spomenieme jej históriou a samotné premietanie hologramu, ktoré holografiu živo znázorní.

História holografie

Holografiu objavil anglický fyzik maďarského pôvodu Denis Gábor. Priamym problémom, ktorý viedol Gábora k objavu holografie, bola snaha zdokonaliť elektrónový mikroskop. V rokoch 1947-48 získal Gábor so spolupracovníkom J, Williamsom prvé plošné hologramy pri ohybe lúčov ortuťovej výbojky.

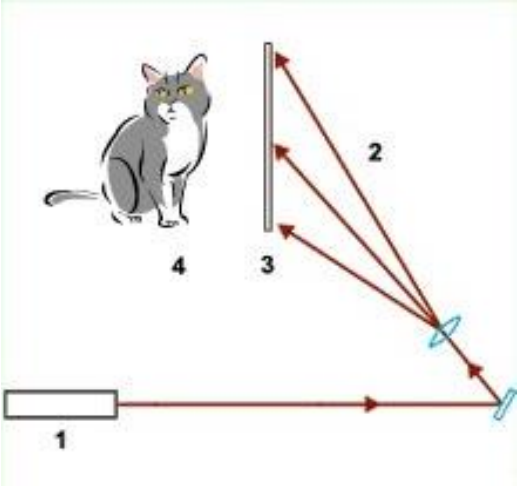
Gábor mienil ďalej pokračovať vo svojich pokusoch s elektrónovým mikroskopom. Princíp holografie upadol na dlhšiu dobu do zabudnutia, pretože skôr ako Gábor dospel k novým výsledkom, podarilo sa dosiahnuť zdokonalenie obrazu v elektrónovom mikroskope inými metódami.

Nová etapa vývoja holografie začala až po dvanástich rokoch, po objave lasera v roku 1962. Veľký pokrok znamenali pokusy amerických rádiofyzikov a optikov Leitha a Upatnieksa, ktorí vylúčili vzájomné prekrývanie skutočného a neskutočného obrazu.

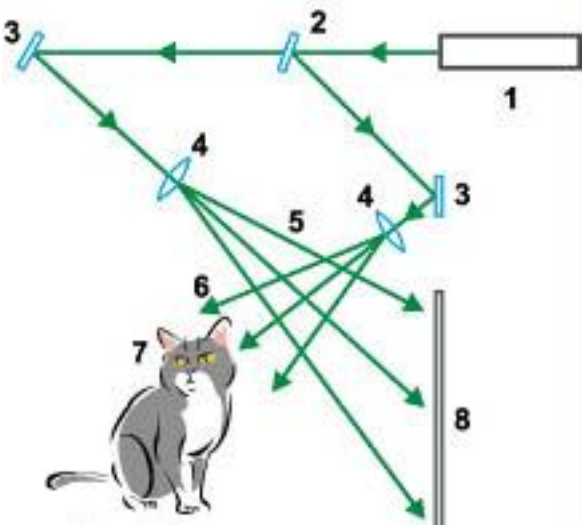
Kvalitu obrazu ďalej zväčšilo difúzne osvetlenie predmetu. Pri takomto osvetlení totiž každý bod predmetu vysiela široký zväzok lúčov, v dôsledku čoho pozorovateľ (pri rekonštrukcii obrazu) vidí pri pohľade cez ľubovoľný bod hologramu súčasne celý predmet, ktorý má všetky vlastnosti trojrozmerného objektu, o ktorých sa zmienil Gábor vo svojej práci v roku 1948.

K rozvoju holografie prispel aj Stroke, ktorý vypracoval súčasné schémy holografických zariadení a teoreticky zdôvodnil možnosti konštrukcie röntgenového holografického mikroskopu.

V roku 1962 sovietsky vedec J. N. Denisjuk publikoval prácu o objemových hologramoch. Kým podľa klasickej Gáborovej metódy dopadal na fotografickú dosku predmetový zväzok a aj referenčný zväzok z jedného smeru, Denisjuk volil protichodný smer šírenia obidvoch svetelných zväzkov. Tým bolo možné zaznamenať hologram nepriehľadných odrazených predmetov (Černecký et al. 2003).



Obrázok 1 Gáborov princíp holografie



Obrázok 2 Denisjukov princíp holografie

Vlastnosti hologramov

Hologram nemá nijaké znaky, ktoré by pripomínali zobrazovaný predmet. Je to systém svetlých a tmavých miest (vzniknutých interferenciou dvoch zväzkov lúčov), ktorý ani pod mikroskopom neposkytuje nijakú informáciu o zobrazovanom predmete. Ak je hologram osvetlený obyčajným svetlom, voľným okom nie je možné určiť predmet, ktorý je na holograme zaznamenaný (výnimku tvorí napr. dúhový hologram). Napriek tomu je v holograme zašifrovaný priestorový (dokonca farebný) obraz predmetu.

Ako už bolo vyššie uvedené, vytvorenie viditeľného obrazu pomocou hologramu sa nazýva rekonštrukcia obrazu. Aby bolo možné vidieť, v priestore obraz predmetu, hologram treba presvietiť porovnávacím (referenčným) zväzkom svetla. Vtedy pod určitým uhlom k dopadajúcemu zväzku vzniká obraz. Pozorovateľ vidí pôvodný trojrozmerný predmet v priestore. Na takýto predmet možno hľadieť z rôznych smerov ako cez okno, ktoré je ohraničené rozmermi hologramu. Viditeľnosť objektu cez hologram je spôsobená difrakciou osvetľujúceho referenčného zväzku na mriežkovej štruktúre hologramu. Takéto pozorovanie je sprevádzané paralaxou – ak sa zmení bod pozorovania, pozorovaný objekt zmení svoju polohu. Ak v čase expozícia nejaké blízke predmety zakrývali predmety vzdialenejšie, zmenou polohy svojich očí môže pozorovateľ nerušene vidieť vzdialenejšie predmety.

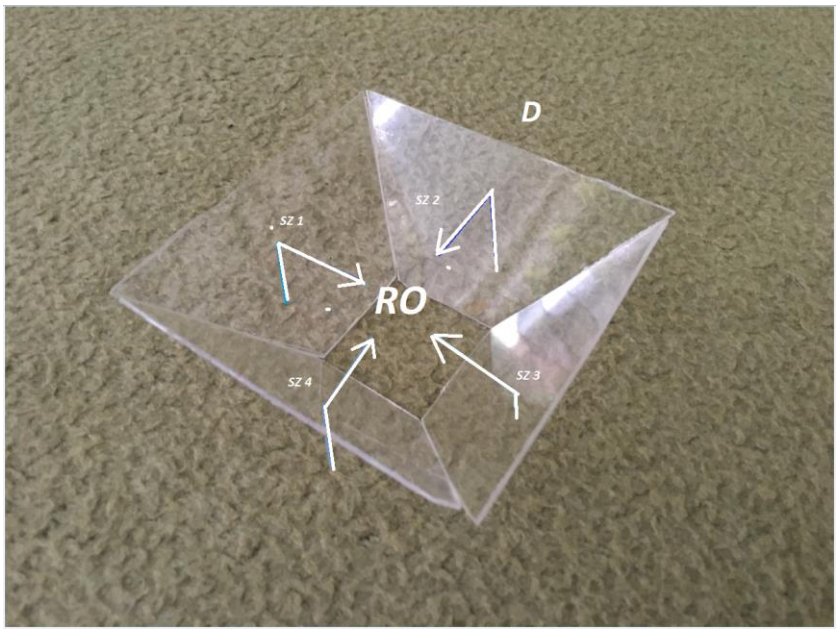
Pri holografii ide o záznam priestorovej štruktúry svetelnej vlny, ktorá je rozptýlená predmetom. Tento záznam sa získava pomocou interferenčného obrazu, ktorý zachováva súčasne amplitúdové pomery rozptýleného svetla, t.j. relatívnej intenzity, od ktorých závisí miera sčernenia tmavých oblastí interferenčného obrazu, ako aj jeho fázové pomery, ktoré určujú vzájomné rozloženie tmavých a svetlých oblastí (Černecký et al, 2003).

Konštrukcia holografického projektora

Pri konštrukcii holografického projektora treba uviesť že ide o zariadenie ktoré vytvára spojením štyroch svetelných zväzkov rekonštrukciu obrazu. Tá je v podobe trojrozmerného obrazu.
Holografický premietač sa skladá z nasledovných častí:

1. **Delič svetelných zväzkov**

   Ide o predmet ktorý usmerňuje svetelné zväzky a je v tvare zrezaného ihlana. Svetelný zväzok ktorý prechádza jednou zo strán deliča sa rozdelí. Časť zväzku, ktorý prejde deličom je usmernený a dopadá na protichodné a priľahlé svetelné zväzky ostatných strán deliča čím spolu vytvárajú rekonštrukciu obrazu.



SZ 1-4 – svetelné zväzky, D – delič, RO – rekonštrukcia obrazu

Obrázok 3 Delič svetelných zväzkov

2. Premietacia technika

Pri premietacej technike treba dbať hlavne na dostatočnú svietivosť displeja zariadenia a na jeho veľkosť (v našom prípade to je 8 palcový displej) ktorá následne ovplyvňuje veľkosť deliča svetelných zväzkov.

Obrázok 4 Tablet ako premietacia technika

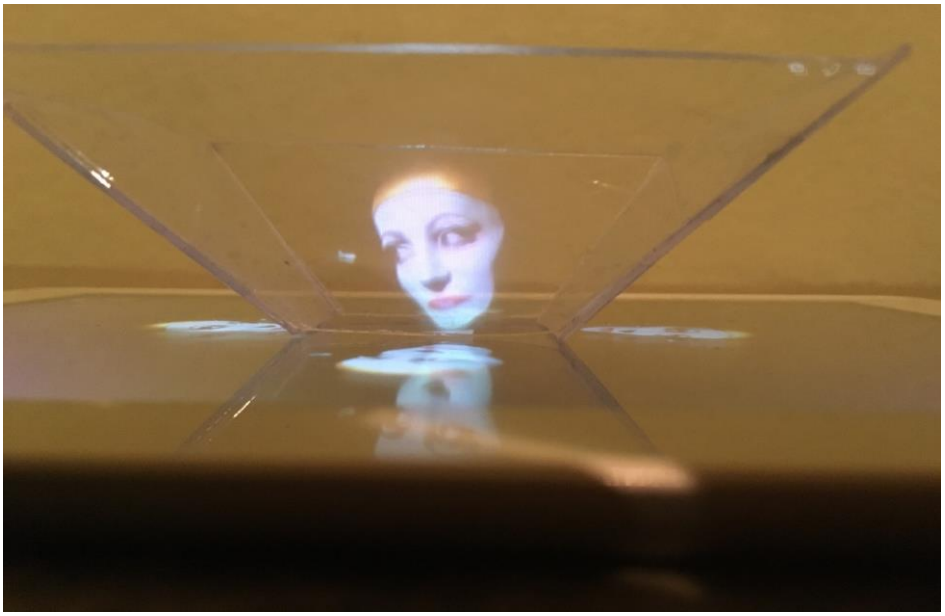
3. Premietaná animácia

Vytvorená animácia ktorá, je softvérovým vybavením premietacej techniky je časť holografického projektora, potrebná k vytvoreniu konkrétneho holografického objektu. Animácia je zložená zo štyroch častí ktoré sú rozdelené na vrchnú, spodnú, ľavú a pravú časť

displeja. V každej z častí je rovnaká animácia, ktorá je kolmá na stranu podstavy zrezaného ihlana.

Obrázok 5 Premietaná animácia

Spojením týchto troch častí vznikne uprostred deliča svetelných zväzkov rekonštrukcia obrazu ktorá nie je pozorovateľná z vrchu ale len z boku. Preto by bolo dobré zväčšiť veľkosť displeja a aj deliča svetelných zväzkov. Pri zväčšení holografického projektora by bolo možné hologram pozorovať aj z väčšej vzdialenosti no nevýhodou sú náročnejšie ekonomické požiadavky na vyhotovenie.



Obrázok 6. Hologram

Holografický projektor ako učebná pomôcka

Učebné pomôcky vo výchovno-vzdelávacom procese plnia väčšinou funkciu znázorňovania. Tieto prostriedky obsahujú informácie súvisiace s učivom. Číže, pod pojmom učebné pomôcky budeme rozumieť nosiče informácií. V tomto prípade chápeme informácie ako dôležité poznatky, odkazy, pokyny a pod. (Ďuriš, Stebila, Žáčok, 2011).

Vo vyučovacom procese žiaci pod vedením učiteľa spoznávajú svet, t.j. objektívnu realitu v jej najrozmanitejších podobách. Výsledkom tohto poznávania sú vedomosti, zručnosti a návyky, postoje, rozvinuté schopnosti a vôbec celá osobnosť žiaka. Všetky javy a objekty sveta však nemôžu byť priamo sprítomnené iba slovne, opisom. Preto učiteľ siaha po takých prostriedkoch, ktoré "približujú to, čo je ďaleké, zväčšujú to, čo je nepatrné, zmenšujú to, čo je veľmi veľké, spomaľujú to, čo je rýchle, zrýchľujú to, čo je pomalé, odhaľujú to, čo je skryté, konkretizujú to, čo je abstraktné, sprítomňujú to, čo je dávno minu1é, fixujú to, čo je prchavé, sprehľadňujú to, čo je príliš zložité".'

Tieto prostriedky sú **nositeľom učiva** a nazývajú sa **učebné pomôcky**. Učebné pomôcky sa môžu v niektorých prípadoch uplatniť len prostredníctvom rozličných zariadení, strojov a prístrojov, ktoré sa nazývajú **didaktická technika**. Vlastný vyučovací proces, a teda aj učebné pomôcky a didaktická technika sa realizujú v určitých priestoroch, vo vyučovacích interiéroch: v školách (makrointeriéry) a v učebniach (mikrointeriéry).

Holografický projektor ako učebná pomôcka sa tým pádom môže uplatniť len v niektorých predmetoch ktoré sú prírodovedného charakteru a zaoberajú sa tematikou šírenia a lomu svetla. Ak by sme uviedli príklad tak môžeme hovoriť o predmete fyzika na stredných školách, pri téme optika. Holografický projektor znázorňuje lom a šírenie svetla živo, čo žiakom umožňuje lepšie pochopiť učivo s touto tematikou.

Je nositeľom informácie ktorá poukazuje na možnosti šírenia svetla a ich využitie pri tvorbe hologramov.

Holografický projektor ako didaktická technika

Didaktická technika je spravidla sprostredkovateľom informácií medzi zdrojom informácií (učiteľ, nosič informácií) a prijímačom informácií (žiak) (Ďuriš, Stebila, Žáčok, 2011).

Ak by sme chceli holografický projektor, ktorý je vybavený svetelným zdrojom a optickou sústavou, prispôsobiť na premietanie holografických objektov z príslušnej animácie začleniť medzi didaktickú techniku, tak by z technicko-technologického pohľadu patril medzi prostriedky audiovizuálnej komunikácie. Je sprostredkovateľom informácií. Ako príklad môžeme uviesť premietanie rôznych druhov zvierat pri predmetoch environmentálneho charakteru. Znázorniť ich výzor, pohyb, to aké vydávajú zvuky, akú potravu konzumujú atď.

Aby učiteľ vedel vytvárať vlastné zobrazované hologramy musí si vedieť vytvoriť príslušnú animáciu k danej téme ktorej tvorba vyžaduje určité počítačové zručnosti v oblasti softvéru, konkrétne práca s grafikou.

Záver

Budúcnosť využívania holografického projektora nie je až taká nereálna. Vzhľadom na požiadavky výroby bude zaobstaranie holografického projektora relatívne možné a pri jeho technologickom rozvoji bude sprostredkovanie informácii učiacim sa objektom kvalitnejšie a zaujímavejšie. Príklady ktoré boli v krátkosti uvedené pre uplatnenie holografického projektora v edukačnom procese sú len malou zložkou širokého spektra toho ako sa holografický projektor môže uplatniť v edukácii. Preto predpokladáme že väčšina vyučujúcich by si vedela predstaviť holografický projektor ako didaktický prostriedok pri ich výučbe.

Literatúra

ČERNECKÝ, J et al, 2003, *Holografia a jej technické aplikácie.* Radom: Instytut Technologii Eksploatacji, 2003, 66 s. ISBN 83-7204-352-3.

DRIENSKY, D., HRMO, R.: *Materiálne didaktické prostriedky*. Bratislava: MC, 2004.

ĎURIŠ, M et. al. 2011 *Didaktika odborných predmetov 1,* Banská Bystrica: Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela – Belianum, 2011, 173 s. ISBN 978-80-557-0269-8.

HRMO, R., et al., 2005. *Didaktika technických predmetov.* Bratislava: MC, 2005. 137s. ISBN 80-227-2191-3.

TUREK, I.: *Didaktika.* Prvé vydanie. Bratislava: Iura Edition, 2008. ISBN 978- 80- 8168- 004- 5.

Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela

ŠVK 2016

SEKCIA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE

Recenzenti:
prof. RNDr. Iveta MARKOVÁ, PhD..
RNDr. Jana JAĎUĎOVÁ, PhD.
Ing. Radoslava KANIANSKA, PhD..

Palynologická analýza sedimentov nádrže Veľká Richňava ako súčasť rekonštrukcie historických vplyvov človeka v povodí

Juraj MAJER, Katarína TRNKOVÁ

Katedra životného prostredia FPV UMB, Tajovského 55, 97401 Banská Bystrica,
e- mail: juromajer@zoznam.sk; katarina.trnkova@umb.sk

Abstract: Palynological analysis of sediments reservoir Veľká Richňava as part of historical impact human in basin: *This paper includes the results of palynological analysis of the sediments in Veľká Richňava water reservoir. Palynological analysis helps to take a look in the period from which no tangible evidence of cultivation and human impact on the surrounding environment has been preserved. The pollen grains preserved in the sediments are very resistant to the impact of the surrounding environment. This makes them possible to remain preserved and intact for a long period of time. Examination of the chronologically deposited lake sediments puts us in the picture about the development of the vegetation cover in a given region. On the basis of the data identified so far we are able to conclude that our results copy the rough framework of knowledge about the changes which have been made by human activity. Chronology of succession will be known after the evaluation of other results which are the part of the multiproxy approach.*

Keywords: *pollen grains, palynological analysis, reservoir Veľká Richňava, mining.*

Úvod

Banská Štiavnica aj jej okolie patrí medzi unikátne prírodné pamiatky Slovenska. V minulosti tu prekvitalo baníctvo, s ktorým súvisia aj zachované technické pamiatky, umelé vodné nádrže zvané tajchy. Po ukončení banskej činnosti v regióne zmenili svoj charakter a stali sa turisticky vyhľadávanou atraktivitou celého regiónu. Banícka činnosť sa z hľadiska dopadu na okolitú krajinu dlhodobo negatívne hodnotila najmä z pohľadu zmeny krajinného obrazu. Prezentovaná práca sa snaží tieto aktivity, ako i ďalšiu činnosť človeka v tomto území, vnímať ako environmentálny problém. Predkladaná práca vznikla v rámci projektu sledovania antropických vplyvov v banskoštiavnickej banskej oblasti, ktorý sa prostredníctvom komplexu multi - proxy metód pokúša o paleolimnologickú rekonštrukciu zmeny prostredia počas posledných 250 rokov. Tento prístup využíva biologické a abiotické indikátory sedimentov vodných nádrží (analýza sedimentov na obsah organickej hmoty, datovanie sedimentov a ich analýza na obsah stopových prvkov a ťažkých kovov, analýza na peľové zrná, makrozvyšky vegetácie, rozsievky, perloočky, pakomáre, lastúrničky, zvyšky iných skupín vodného hmyzu a bentických kôrovcov). Cieľom našej práce bolo na základe palynologickej analýzy sedimentov z nádrže Veľká Richňava načrtnúť schému zmien vegetácie v jej povodí s ohľadom na rôznorodé historické využívanie územia (predovšetkým banská činnosť).

Palynológia

Palynológia je svojim štúdiom zameraná na peľové zrná uložené v rôznych druhoch sedimentov. Pre peľovú analýzu sa vhodný materiál získava z rôznych sedimentov, najlepšie však z chronologicky uložených. Patria k nim napríklad bývalé ale aj súčasné jazerá, slatiniská, lesný humus, ako aj niektoré pôdne profily a antropogénne sedimenty (studne, odpadové jamy), ale napríklad aj stredoveké studne a depónie (Jankovská, 2011). Samotná metóda nám poskytuje cenné podklady, ako vyzeral vegetačný kryt územia v určitom čase v minulosti (ktoré rastlinné formácie boli v tom ktorom období dominantnejšie). Hlavnou oblasťou výskumu palynológie je štúdium palynomorfov, teda peľových zŕn a spór (Jankovská, 1995). V sedimentoch zachované peľové zrná sú veľmi odolné voči vplyvom okolitého prostredia, čo im umožňuje zotrvať zachované a neporušené dlhé časové obdobie. Túto schopnosť im umožňuje ich vonkajší obal nazývaný exina (pri peľových zrnách) a exospóra (pri spórach) (Moore et al., 1991). Chemická zlúčenina, ktorá exine peľových zŕn umožňuje odolávať mechanickým, fyzikálnym aj chemickým vplyvom sa nazýva polenín. Pri spórach sa táto zlúčenina

označuje pojmom sporenín (Gabrielová, 1986; Jankovská, 1997). Pri peľových zrnách je dôležité, že sa v sedimentoch nachádzajú v pomerne veľkých množstvách a líšia sa od seba v závislosti od druhov, rodov a čeľadí. Ich peľové zrná majú rôzne tvary, skulptúry, veľkosť, ale aj počty otvorov (Jankovská, 1997).

Palynológia je všestranne využiteľná metóda v rôznych vedných odboroch, napr. v archeológii, ekotoxikológii, alergológii, štúdiu klimatických zmien, dopadov človeka na krajinu, melisopalynológii – štúdium peľových zŕn v neupravenom mede a iných (Stoklasa, 1975; Moore et al., 1991; Jankovská, 1994; Mičieta & Murín, 1997).

Podstatou palynologickej analýzy je získanie peľového spektra každej skúmanej vzorky sedimentu a vyhodnotenie profilu v podobe peľového diagramu. Peľovým spektrom sa rozumie celkový počet spočítaných a determinovaných peľových zŕn a spór v jednej vzorke. Peľové spektrá každej vzorky sa vyhodnotia a výsledky sa interpretujú graficky prostredníctvom peľového diagramu.

Medzi nevýhody palynológie patrí preplavovanie sedimentov medzi vrstvami zo starších do mladších vrstiev, veľké rozptyľovanie peľových zŕn a následné unášanie vodou a vetrom na rôzne vzdialenosti (vetroopelivé *vs.* hmyzoopelivé rastliny), sezónnosť výskytu niektorých druhov rastlín, rozdielna peľová produkcia druhov, s ktorou súvisia aj tzv. plodné roky. Počas týchto, pre rastliny a dreviny plodných rokov je produkcia peľu vyššia ako obvykle, čo môže viesť k ich zvýšenému výskytu v peľovom spektre. Niektoré druhy majú peľové zrná náchylnejšie na poškodenie, napr. hrab (*Carpinus*) alebo smrekovec (*Larix*), keďže majú menej odolnú bunkovú stenu, čo môže spôsobiť znížený výskyt determinovateľných peľových zŕn týchto druhov v odobratom materiáli a následne aj v peľovom spektre resp. výslednom peľovom diagrame (Jankovská, 2011).

Palynologické analýzy ponúkajú pohľad na tvorbu a využívanie krajiny človekom do čias, z ktorých nie sú zachované žiadne dôkazy o vtedajšom vplyve na krajinu. Umožňujú rekonštruovať vývoj vegetácie v danej oblasti v časovom slede a podať obraz, ako sa formovali územia až do súčasnosti.

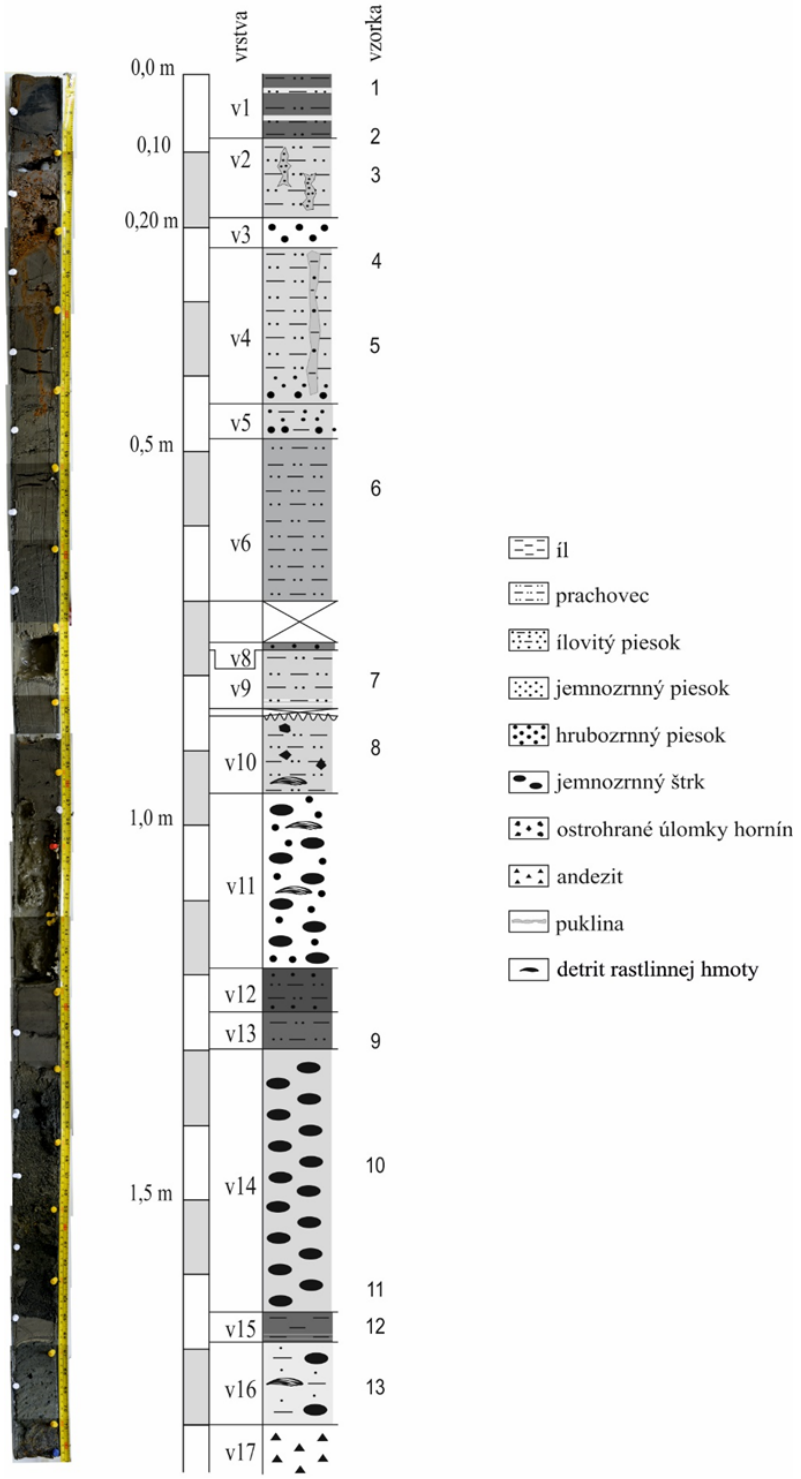
Metodika

Odber sedimentu

Odber sedimentu z vodnej nádrže Veľká Richňava pri Banskej Štiavnici, ktorá patrí k najväčším v celom vodohospodárskom systéme (Lichner, 2005), bol urobený v spolupráci s pracovníkmi GÚ SAV v septembri roku 2015. Na odber bolo použité vrtné zariadenie UWITEC (Ø 60 mm), pomocou ktorého bol z dna nádrže odobratý sediment dĺžky 184 cm (Obr. 1).

Laboratórne spracovanie

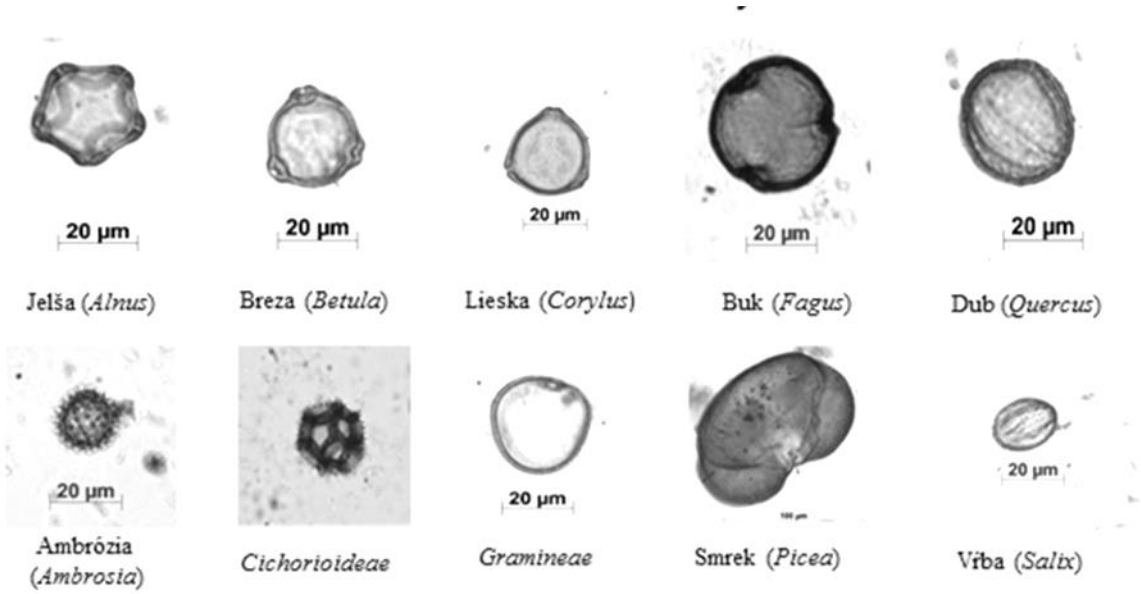
Odobratý sediment bol prevezený do laboratória, rozdelený po celej dĺžke na dve časti a následne litologicky opísaný (Obr. 1). Polovica celej dĺžky profilu bola rozdelená na 1 cm hrubé vrstvy – sedimentačné vzorky. Vzorky boli uložené do označených plastikových vrecúšok a uschované v chladničke pri teplote približne 4°C pre neskoršiu analýzu. Pre palynologické analýzy bolo z celého profilu sedimentačného jadra vybratých 13 vzoriek, podľa zlomových vrstiev hlavného sedimentu (Obr. 1), ktoré boli následne spracované v laboratóriu v priebehu novembra 2015 až januára 2016. Vzorky sedimentu pre peľovú analýzu boli spracované klasickou acetolyzačnou metódou (Erdtman, 1969). Extrahovaný materiál (zmes peľových zŕn) bol skladovaný v roztoku glycerínu a vody v pomere 2:1. Za účelom získania dát o absolútnych peľových koncentráciách bola použitá metóda exotického markera (Benninghof 1962). Exotický marker je ľahko rozpoznateľné peľové zrno, v našom prípade spóry *Lycopodium*. Tie sa do vzoriek ešte pred ich chemickým spracovaním pridali vo forme tabliet so známym množstvom spór. Nájdené spóry sa v jednotlivých preparátoch počítajú a k ich celkovému počtu sa následne vztiahne množstvo všetkých určených peľových zŕn, resp. tých, ktoré počítame do základnej sumy.



Obr. 1 Odobraný sediment a litologický popis s vyznačením vzoriek pre peľovú analýzu
(Zdroj: Dobríková, 2015; Kyška-Pipík, 2016)

Mikroskopická analýza peľových zŕn

Mikroskopická analýza bola vykonaná pri 400-násobnom zväčšení pomocou svetelných mikroskopov Nikon Eclipse C*I* a Zeiss AXIO s kamerou. Vzorky pripravené na mikroskopickú analýzu sme pomocou pipety v malom množstve nanášali na podložné sklíčko, rovnomerne rozotreli a následne prekryli krycím sklíčkom. Preparáty sme prezerali vo zvislých pásoch rovnomerne po celej ploche krycieho sklíčka, aby sme zabránili započítaniu jedného peľového zrna viackrát. Započítavali sme všetky zrná v zornom poli, vrátane spór indikátorového druhu *Lycopodium*. Peľové spektrum jednotlivých analyzovaných vrstiev sme počítali v programe PolPal (Walanus & Nalepka 2003), pričom pre každú vrstvu bolo potrebné napočítať minimálne 700 peľových zŕn (súčet AP + NAP = 100%, AP = Dreviny, NAP = Byliny). Determinácia jednotlivých zástupcov v peľovom spektre bola robená pomocou determinačných kľúčov autorov Beug (2015), Moore et al. (1991), Faegri et al. (2000), Demske et al. (2013) a ďalších dostupných opisov druhov peľových zŕn a databáz (Polleninfo, PalDat) (Pollenatlas, s.a; PalDat – Palynological database, s.a.).



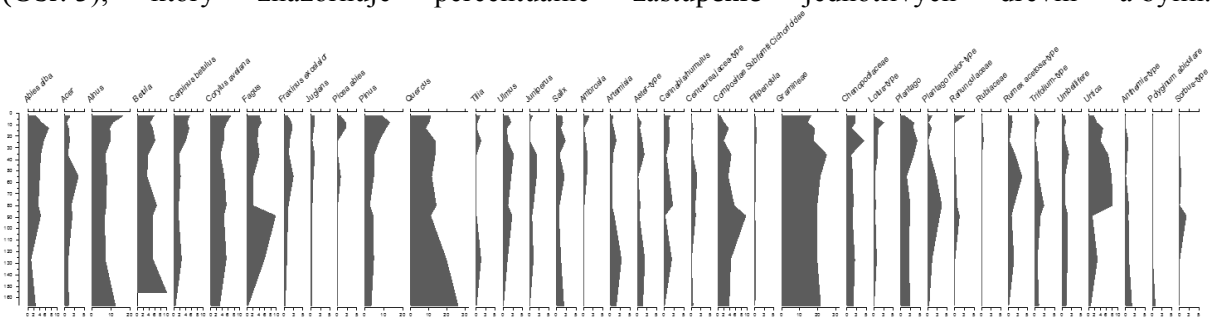
Obr.2 Taxóny s najväčším percentuálnym zastúpením a preukaznou váhou (Zdroj: Trnková & Majer, 2016)

Peľový diagram

Z pôvodne 13 vybratých a analyzovaných vzoriek sme pre výsledný peľový diagram použili dáta získané z 10 vrstiev. Vzorka č. 13 (Obr. 1) bola vybratá z vrstvy, ktorá tvorila bázu profilu a nenachádzal sa v nej dostatočný počet peľových zŕn. Vzorky z vrstvy 10 a 11 sa nachádzali v silne mineralizovaných vrstvách, v ktorých sa peľové zrná nezachovajú, preto boli z výsledného hodnotenia vylúčené. Dáta z programu PolPal sme v programe Microsoft Excel previedli na percentuálne podiely jednotlivých determinovaných taxónov. Získané peľové spektrum pre všetky analyzované vrstvy bolo v podobe peľového diagramu vytvorené v programe C2 (Juggins, 2007) (Obr. 3).

Výsledky a diskusia

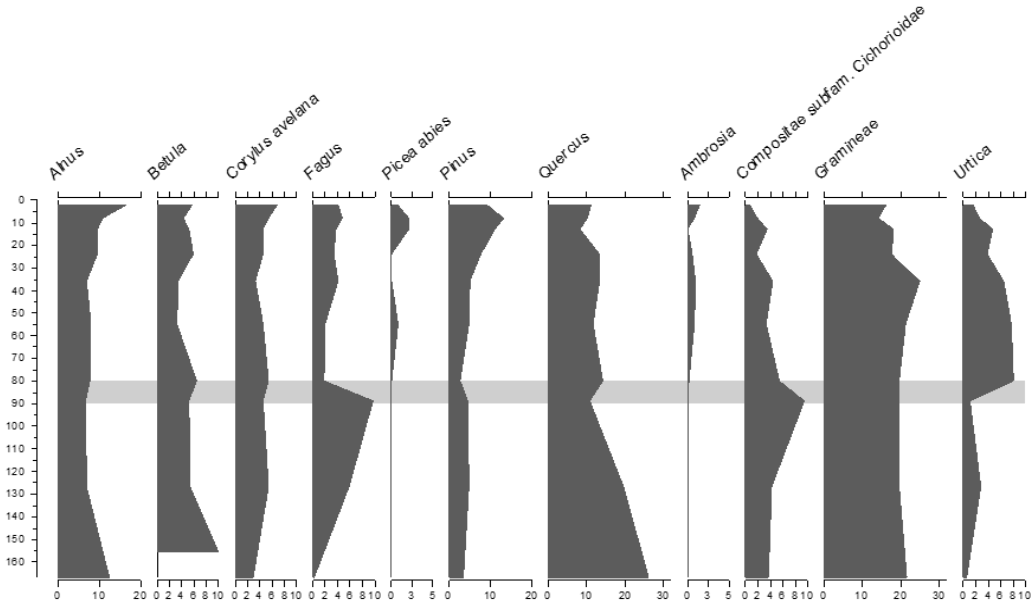
Z odobratého sedimentu vodnej nádrže Veľká Richňava sme pripravili a analýzou peľu spracovali 13 vzoriek, z ktorých sme pre výsledný peľový diagram vyhodnotili 10 vrstiev. V priemere sme pre každú vrstvu spočítali a determinovali približne 750 zŕn a tiež spóry indikátorového druhu, ktorých množstvo vo vrstvách bolo rôzne (od 153 po 817) v závislosti od hustoty výskytu peľových zŕn vo vzorke. Celkovo sme pre vyhodnotenie v peľovom diagrame napočítali 7 453 determinovaných peľových zŕn a 4 426 spór indikátorového druhu. Pre determinované peľové spektrá všetkých vzoriek bol vytvorený výsledný peľový diagram (Obr. 3), ktorý znázorňuje percentuálne zastúpenie jednotlivých drevín a bylín.



Obr. 3 Výsledný peľový diagram (Zdroj: Trnková & Hamerlík 2016)

Peľové spektrum analyzovaných vrstiev pozostávalo zo zástupcov drevín a bylín - spodné vrstvy kopírujú zloženie drevinnej zložky vegetácie, doloženej v mape potenciálnej vegetácie pre skúmané územie a ďalšie mapové podklady

Pre zvýraznenie zmien v peľovom spektre sme z výsledného peľového diagramu vybrali druhy, ktoré sa v peľovom spektre prejavili najviditeľnejšou zmenou, prípadne mali najväčšiu preukaznú váhu a v kontexte tejto práce a skúmanej problematiky sú významné. Druhy, ktoré boli v peľovom spektre málo početné (pod 10 %) sme z hodnotenia vyradili (Obr. 4). V takto upravenom peľovom diagrame sa približne na úrovni 7. a 8. vrstvy prejavila zmena, ktorú sme vyznačili.



Obr. 4 Peľový diagram taxónov s najväčším percentuálnym zastúpením
(Zdroj: Trnková & Hamerlík, 2016)

Taxóny s najväčším percentuálnym zastúpením a preukaznou váhou vybraté do peľového diagramu boli: jelša (*Alnus*), breza (*Betula*), lieska (*Corylus*), buk (*Fagus*), smrek (*Picea*), borovica (*Pinus*) dub (*Quercus*), ambrózia (*Ambrosia*), *Compositae* subf. *Cichorioidae*, *Gramineae* a přhľava (*Urtica*) (Obr. 2).

Z výsledkov práce možno konštatovať, že peľová analýza potvrdila očakávané predpoklady o zmenách vegetácie v sledovanom území. Ako možno vidieť z peľového diagramu v spodných vrstvách sedimentu bolo determinované spoločenstvo drevín, ktoré svojím zastúpením kopíruje potenciálnu prirodzenú vegetáciu Štiavnických vrchov (Michalko et al., 1986). Dokazuje to najmä výrazné zastúpenie duba (*Quercus*), avšak spodné vrstvy analyzovaného profilu obsahovali tiež peľové zrná liesky (Corylus) a jelše (*Alnus*), v menších počtoch sa objavuje hrab (*Carpinus*) a buk (*Fagus*). Naopak úplne absentovali druhy, ktoré sú charakteristické pre súčasné obdobie (napr. *Picea, Ambrosia*). Smerom k vyšším vrstvám pozorujeme postupné pribúdanie taxónov a tiež nárast početnosti pre dominantné dreviny a to až po vrstvu 7. V tejto časti profilu, medzi vrstvami 7 a 8, ktoré považujeme v našej štúdii za zlomové, totiž dochádza k náhlemu a zjavnému úbytku zástupcov drevinnej zložky vegetácie. Zmena môže súvisieť aj s intenzívnym využívaním týchto drevín na banské účely, predovšetkým na stavbu štôlní. Výrazne ustupuje hlavne dub (*Quercus*) a buk (*Fagus*), ale aj ostatné dreviny potenciálnej prirodzenej vegetácie, breza (*Betula*), borovica (*Pinus*).

Neskôr do peľového spektra pribúda smrek (*Picea*), ktorý je typickou zložkou lesov v súčasnosti. S výsadbou sa začalo pre jeho širokú ekologickú prispôsobivosť na rôznorodé podmienky, schopnosť rýchlo sa šíriť, ale taktiež preto, že patrí do skupiny tzv. „ekonomických“ drevín, ktoré vykazujú rýchle prírastky drevnej hmoty (Sarvaš et al., s.a.).

Ďalšia výraznejšia zmena, ktorá bola zaznamenaná najmä vo vrstvách 6, 7 a 8, sa prejavila hojnejším výskytom nepeľových objektov zástupcov makrofytov a rias. Toto zistenie môže indikovať možnú zvýšenú eutrofizáciu nádrže (Lellák & Kubíček, 1991).

Aj keď z grafu je zjavné, že *Pinus* je v každej vrstve peľového záznamu zastúpený pomerne rovnomerne, výrazne narastá v recentných vrstvách. Tento prejav môže súvisieť o. i. aj s historickým údajom zmieňujúcim činnosť lesníckej fakulty Banskej akadémie, kedy jej zásluhou bolo okolie umelo zalesnené borovicou čiernou a borovicou lesnou (Križáni & Danáková, 2003).

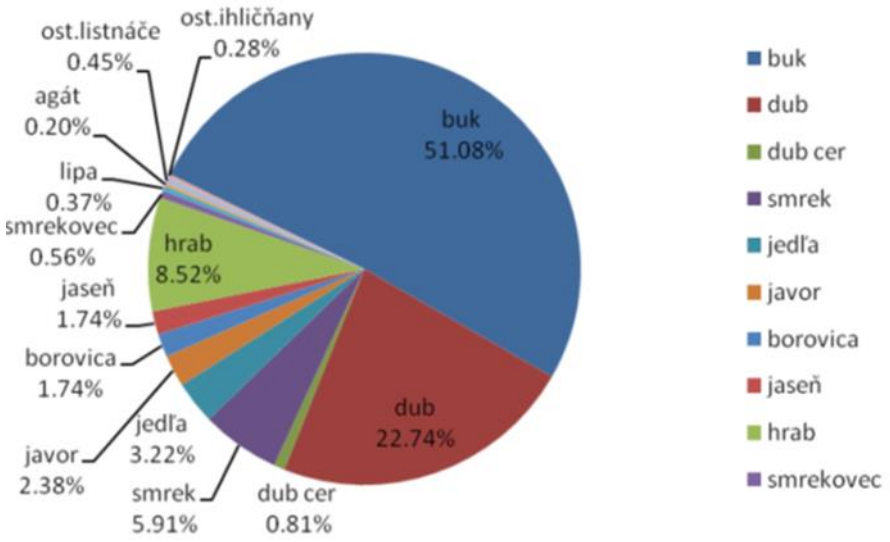
Nárast peľových zŕn tráv (*Gramineae*) súvisí z odlesnením územia, ktorým tak bol poskytnutý väčší priestor na rozširovanie svojho areálu výskytu na plochy, ktoré boli v minulosti zalesnené. Do skupiny tráv (*Gramineae*) sme započítavali aj zástupcov obilnín a to z dôvodu ich veľmi nízkeho zastúpenia v peľovom spektre. V prípade samostatnej skupiny obilnín by boli z výsledného peľového diagramu vylúčené. Vzhľadom na geomorfologické a klimatické pomery skúmaného územia, ako aj dostupné historické záznamy však usudzujeme, že poľnohospodárska činnosť nebola v blízkosti nádrže výrazná.

Ľudskú činnosť v jej okolí dokumentuje aj nárast skorocelu (*Plantago*) a pastevných indikátorov štiavu lúčneho (*Rumex acetosa*) a přhľavy (*Urtica*) (Pokorný et al., 2015) v dôsledku využívania okolitých pasienkov a lúk.

Smerom k vrchným vrstvám sedimentu sa postupne začalo zloženie vegetácie podobať súčasnej skladbe lesov Banskej Štiavnice a okolia. Dub (*Quercus*) ostal dominantným druhom, avšak k nemu sa v čoraz väčších počtoch pridávali postupne lieska (Corylus), jelša (*Alnus*), jedľa (*Abies*), borovica (*Pinus*), hrab (*Carpinus*) a iné. Zaznamenaný je výraznejší pokles tráv (Gramineae) a aj pastevných indikátorov štiavu lúčneho (*Rumex acetosa*) a přhľavy (*Urtica*), ktoré svedčí o určitom útlme ľudskej aktivity v území a postupnom zalesňovaní oblasti.

Za významný považujeme nález rodu *Ambrosia*, jednak ako nepôvodného druhu, ale tiež významnej alergénnej a karanténnej rastliny - ambrózia palinolistá (*Ambrosia artemisiifolia*) (Ujházy et al., 2014). Keďže sa jedná o neofyt bude, po doplnení datovania vrstiev, zaujímavé aj zistenie, do ktorého obdobia spadá preniknutie a šírenie ambrózie v tejto oblasti.

Jedno z posledných mapovaní reálnej vegetácie okresu Banská Štiavnica spracované v roku 2011 (Obr. 5), vyjadruje percentuálne zastúpenie jednotlivých drevín v okrese (Regionálny územný systém ekologickej stability okresu Banská Štiavnica, 2011).



Obr. 5 Plošné percentuálne zastúpenie drevín v okrese Banská Štiavnica (*Upravené podľa*: Regionálny územný systém ekologickej stability okresu Banská Štiavnica, 2011)

K tomuto stavu sa približuje peľové spektrum najvrchnejších vrstiev sedimentu, ktoré sú bohaté početnosťou aj druhovým zastúpením. Naprieč celým peľovým diagramom dávajú naše výsledky údaj o sukcesii jednotlivých druhov v čase. Potvrdzujú doteraz zistené informácie o rastlinných spoločenstvách a ich zmenách v súvislosti s banskou činnosťou, ktorá kedysi prebiehala v banskoštiavnickej oblasti. Jednou z prác, ktorá porovnávala spoločenstvá vegetujúce na haldách a na banícky nedotknutej pôde, bola štúdia autorov Križáni & Danáková z roku 2003. Autori v nej sledovali vegetačnú situáciu a kontamináciu flóry ťažkými kovmi. Zistili, že vývoj vegetácie na banských haldách prebiehal veľmi pomaly, pričom jednotlivé sukcesné štádiá, ktoré pozorovali v priestore sa zhodujú s našimi, dá sa povedať sukcesnými štádiami, zistenými v priebehu času. Naša práca prináša nový pohľad na historické zmeny vegetácie, ktoré sa v tejto oblasti doposiaľ len odhadujú. To, že baníctvo a s ním spojený výrazný rozmach regiónu spôsobili významné zásahy do krajiny je zjavné a potvrdené radom štúdií. Banská činnosť si vyžiadala veľké zásahy najmä do drevinnej zložky vegetácie, masívne odlesnenie je viditeľné nielen historických nákresoch. Avšak skutočné časovanie zmien a druhovú skladbu vegetácie historického obdobia pred nástupom intenzívnych ľudských aktivít bude možné zistiť len na základe paleoekologických analýz, ktorých súčasťou palynológia je.

Aby sme mohli presne interpretovať výsledky, musí byť palynologická analýza podložená datovaním odobraného sedimentu. Vzorky sedimentu z nášho profilu boli zaslané na túto analýzu do laboratória Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanislawa Staszica v Krakowe, Wydział Energetyki i Paliw v Poľsku. Keďže na Slovensku je zatiaľ v rámci obdobia holocénu podrobne paleoekologicky spracovaných len málo profilov, budú tieto výsledky cenným materiálom, ktorý prispeje k poznaniu ako sa vyvíjala krajina v minulosti a do akej miery bola ovplyvňovaná činnosťou človeka.

Záver

V príspevku sme sa zamerali na palynologickú analýzu sedimentov nádrže Veľká Richňava. Pomocou palynologických analýz sme zisťovali skladbu zloženia vegetácie v okolí Richňavskej vodnej nádrže. Zachytili sme ovplyvňovanie a zmeny, ktoré v povodí zanechávala ľudská činnosť. Baníctvo a ťažba drahých kovov výrazne vplývali na zloženie drevinnej vegetácie v okolí nádrže. Výrazne ubudli druhy typické pre vtedajšie lesy: dub (*Quercus*) a buk (*Fagus*), ktoré boli intenzívne vyrubované a ich drevo využívané na stavbu a spevňovanie štôlní. Postupne s ústupom banskej činnosti, sa začali lesy opäť obnovovať avšak už z výraznejšie pozmenenou druhovou skladbou. Pridávali sa novodobé umelo vysádzané druhy ako smrek (*Picea*) a borovica (*Pinus*) Nami analyzovaný sediment ukázal ako sa formovala vegetácia za približne 250 rokov až do súčasnosti. Presne to však budeme mať potvrdené až po dodaní datovania odobraného profilu sedimentu.

Poďakovanie

Ďakujem za podporu projektu z grantovej schémy VEGA 1/0664/15. Poďakovanie patrí Ing. Kataríne Trnkovej, PhD. za pomoc a odborné vedenie počas práce na projekte, pracovníkom BÚ SAV za poskytnutie priestorov a prístrojového vybavenia potrebného na mikroskopické analýzy. Za poskytnutie grafických materiálov a fotodokumentácie z odberov ďakujem nasledovným osobám: Mgr. Radovan Kýška-Pipík, PhD.; Ing. Danka Dobríková; Ing. Ladislav Hamerlík, PhD.

Literatúra

BENINGHOF, W. S. 1962. Calculation of pollen and spore density in sediments by addition of exotic pollen in known quantities. In. *Pollen spores,* č. 4, s. 332-333

BEUG, J. H. 2015, *Leitfaden der Pollenbeistimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete,* 2. Auflage. Friedrich Pfeil : München, 542.s. ISBN 978-3-89937-043-0.

BŘÍZOVÁ, E. 2004. Palynologický výskum rašelinišť a jezer pro účely geologického mapování. In *Aktuality Šumavského výzkumu 2*. Šumava : Správa NP Šumava, 2004. ISBN 80–89062–20–2, s. 164 – 171.

ČELKOVÁ, M. 1989. Banská Štiavnica v minulosti a prítomnosti (v kresbe a grafike). In *Zborník Slovenského banského múzea*. Banská Štiavnica : Slovenské banské múzeum, 1989, ISBN 80-217-0061-0, 149-175.

DEMSKE, D. – TARASOV, E, P. – NAKAGAWA, T. 2013, *Atlas of pollen, spores and further non-pollen palynomorphs recorded in the glacial – interglacial late Quatenary sediments of Lake Suigetsu, central Japan,* [on-line]. [cit. 2016.03.10.]. Dostupné na internete: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618212000675>.

ERDTMAN, G. 1960. *The Acetolysis Method*. [on-line]. [cit. 2016.04.08.]. Dostupné na internete: < https://www.researchgate.net/publication/262006256_The_Acetolysis_Method_A_Revised_Description >.

FAEGRI, K. – IVERSEN, J. – KALAND, E, P. 2000, *Textbook of pollen analysis,* 4. edit. The Blackburn press : New Jersey, 328 p. ISBN 978-1-930665-01-9.

FIRBAS, F. 1949. *Spätundnacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropasnördlich der Alpen.* 1. Verlag Gustav Fischer : Jena, 1949.

GABRIELOVÁ, N. 1986. *Laboratorní metody v mikropaleontologii* : metodická príručka. Praha : Ústřední ústav geologický, 1986. 10 s.

GEEL, V, B. 2014. *Non-Pollen Palynomorphs*. [on-line]. [cit. 2016.04.08.]. Dostupné na internete:<https://www.researchgate.net/publication/227118233_NonPollen_Palynomorphs>.

JANKOVSKÁ, V. 1994. Pylové spektrum, synantropní vegetace a perspektivy využití pylových analýz v české archeologii. In: Archeologie a krajinná ekologie (Eds. Beneš, J.; Brůna, V.), Most : Nadace projekt Sever, s. 147-159.

JANKOVSKÁ, V. 1995, *Minulost krajiny a paleoekologie*. Zpráva České botanické společnosti 12, s 33 – 35

JANKOVSKÁ, V. 1997. Možnosti využití pylové analýzy. In *Lesnická práce,* ISSN 0322-9254, 1997, roč. 10, č. 11, s. 366 – 367.

JANKOVSKÁ, V. 1997. Vývoj vegetačního krytu střední Evropy od konce posledné doby ledové do současnosti. In *Lesnická práce,* ISSN 0322-9254, 1997, roč. 10, č. 11, s. 409 - 412.

JANKOVSKÁ, V. 1998, Botanika a paleoekologie kvarteru. In *Živa,* ISSN 0044-4812, 1998, roč. 36, č. 1, s 15 – 17.

JANKOVSKÁ, V. 2011. *Pylová analýza,* [on-line]. [cit. 2016.01. 29]. Dostupné na internete: <http://mistr-bucket.sdeluje.cz/386-pylova-analyza.html>.

JUGGINS, S. 2007. *C2 Software for ecological and paleoecological data analysis and visualisation*, [on-line]. [cit. 2016.04.17.]. Dostupné na internete: <https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software/code/C2.pdf>.

KRIŽÁNI, I & DANÁKOVÁ, A. 2003. Odozva bioty na ťažbu Au–Ag – polymetalických ťažkých rúd v južnej časti Štiavnického rudného poľa (Piarg). In *Zborník Slovenského banského múzea.* Banská Štiavnica : Slovenské banské múzeum, 2004, ISBN 80-88924-32-4, 41-56.

LELLÁK, J. & KUBÍČEK, F. 1991. *Hydrobiologie*. Praha: Karolinum, 1992. 257 s. ISBN 80-7066-530-0.

LICHNER, M. 2005. *Banskoštiavnické tajchy*. Banská Bystrica : Layont Štúdio Harmony, s.r.o., 2005 127 s. ISBN 80-89151-08-6.

MIČIETA, K., MURÍN, G.: Wild Plants Species in Practical use for Bioindication of Polluted Environment. Ekológia (Bratislava), 16, 1997, 2, p. 193 – 202.

MICHALKO, J. – BERTA, J. – MAGIC, D. 1986, *Geobotanická mapa ČSSR slovenská socialistická republika*. Bratislava : Veda vydavateľstvo SAV Bratislava, 1986, 165 s.

MOORE, P, D. – WEBB, A, J. – COLLINSON, E, M. 1991, *Pollen analysis*. 2. edit. Blackwell science Ltd : Oxford, 150 p. ISBN 0-86542-895-6.

PalDat – Palynological database, [on-line]. [s.a.]. [cit. 2016.04.20]. Dostupné na internete: <https://www.paldat.org>.

Peľ ako súčasť a indikátor v hodnotení kvality životného prostredia, [on-line]. 2016. [cit. 2016.04.24.]. Dostupné na internete: <http://vedanadosah.cvtisr.sk/pel-ako-sucast-a-indikator-v-hodnoteni-kvality-zivotneho-prostredia>.

POKORNÝ, P. 2011, *Neklidné časy*. Praha : Dokořán, 2011. 370 s. ISBN 978-80-736-3392-9.

Pollenatlas, [on-line]. [s.a.]. [cit. 2016.04.20]. Dostupné na internete: <https://www.polleninfo.org/SK/sk/allergy-infos//pollen-atlas.html>.

POKORNÝ, P. – SÁDLO, J. – CHYTRÝ, M. – JUŘIČKOVÁ, L. – NOVÁK, J. – LOŽEK, V. 2015. Nelesní vegetace České nížiny : reliktní původ a kulturní transformace. In *Zprávy čeké botanické společnosti*. ISSN 1211-5258 , 2015, roč. 50, č. 2, s. 181 – 200.

Regionálny územný systém ekologickej stability okresu Banská Štiavnica, [on-line]. 2011. [cit.2016.03.28.].Dostupné na internete: < http://www.minv.sk/swift_data/source/miestna_statna_sprava/ou_bs/odbor_starostlivosti_o_zivotne_prostredie/regionalny_system_ekologickej_stability_bs/RUSES%20BS-text.cast.pdf >.

SARVAŠ, M. – BUCHNÁRIK, R. – HOFFMAN, J. – CHVÁLOVÁ, K. – JEŽOVIČ, V. [s.a.]. *Základné charakteristiky lesných drevín*. Národné lesnícke centrum. [online]. [cit. 2016.04.30]. Dostupné na internete: <http://www.nlcsk.sk/files/1708.pdf>

SMOL, J, P. 2008. *Pollution of Lakes and Rivers: A Paleoenvironmental Perspective.* 2. edit. Blackwell publishing : Oxford, 396 p. ISBN 978-1-4051-5913-5.

STOKLASA, J. 1975, *Včelí produkty ve výživě, lekárství, farmacii a kosmetice*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1975. 164 s.

UJHÁZY, K. – HRIVŇÁK, R. – UJHÁZYOVÁ, M. – BENČAŤOVÁ, B. – MALIŠ, F. 2014. Fytocenológia – rastlinné spoločenstvá Slovenska. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2014. 133 s. ISBN 978-80-228-2639-6.

VALOVIČOVÁ, Z. 2009. Kvalita prírodných kúpalísk. In *Enviromagazín*. ISSN 1335-1877, 2009, roč. 14, č. 1, s. 13-15.

Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 309/2012 Z.z. o požiadavkách na vodu určenú na kúpanie

WALANUS, A & NALEPKA, D. 2003. *POLPAL*. Application for plotting pollen diagrams, counting pollen grains, and performing numerical analysis, [online]. [cit. 2016.04.08.]. Dostupné na internete: < http://adamwalanus.pl/polpal_manual.html >

Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela

ŠVK 2016

SEKCIA MATEMATIKA

Recenzenti:
doc. RNDr. Vladimír JANIŠ, CSc.
RNDr. Matúš DIRBÁK, PhD.
Mgr. Štefan GYURKI, PhD.

Na intervale nekonečná ω-limitná množina s periodickým bodom implikuje podkovu: Priamy dôkaz.

Miroslav Výbošťok

Katedra matematiky FPV UMB, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica

Úvod

V práci dokazujeme, že pre spojité zobrazenie $f : I \to I$ kompaktného reálneho intervalu I do seba existencia nekonečnej ω-limitnej množiny obsahujúcej periodický bod implikuje existenciu tzv. podkovy. Ide o známe tvrdenie zo Šarkovského prác zo 60. rokov, našim cieľom však bolo nájsť priamy, elementárny dôkaz v tom zmysle, že by sa využívali len najzákladnejšie vlastnosti ω-limitných množín a definícia podkovy.

História Hlavnej vety

V intervalovej dynamike je nasledujúca veta dobre známa a veľmi dôležitá, pretože charakterizuje zobrazenia s kladnou topologickou entropiou.

Hlavná veta v úplnom tvare *Nech f je spojité zobrazenie kompaktného reálneho intervalu I do seba. Potom sú nasledujúce podmienky ekvivalentné:*

(a) f má periodický bod s periódou rôznou od mocniny 2 (tj. nepatriacou do množiny $\{2^n : n \in \mathbb{N}_0\}$)

(b) ω-limitná množina nejakého bodu je nekonečná a obsahuje periodický bod.

(c) f má podkovu.

(d) f má homoklinický bod.

(e) f má kladnú topologickú entropiu.

Túto vetu sformuloval, v trochu odlišnej forme a bez niektorých podmienok, ukrajinský matematik Oleksandr Mikolajovič Šarkovskij (v článkoch v ruštine alebo angličtine si píše meno v tvare Aleksandr Nikolayevich Sharkovsky). Jemu samému sa podarilo v roku 1966 dokázať ekvivalenciu prvých dvoch podmienok v článku [14]. V roku 1970 Šarkovskij dokončil dôkaz ekvivalencií $(a) \iff (c)$ a $(a) \iff (d)$. Tieto sú dokázané v článkoch [16] a [15], lenže dôkazy sú pomerne komplikované. Jednoduchšie dôkazy ekvivalencií $(a) \iff (c)$ a $(a) \iff (d)$ našiel v roku 1978 Louis Block v článku [3]. Neskôr v roku 1989 v [7] našli Katarína Janková a Jaroslav Smítal krátky dôkaz implikácií $(b) \implies (a)$ a $(c) \implies (b)$, ale v dôkaze prvej implikácie sa

opierajú o znalosť ekvivalencie $(a) \iff (d)$. Nakoniec, v roku 1979 v [12] dokázal Michał Misiurewicz, že podmienka (e) je tiež ekvivalentná s ostatnými.

Uvedieme náš priamy dôkaz implikácie $(b) \implies (c)$, ktorú budeme volať „Hlavná veta". Implikáciu, že nekonečná ω-limitná množina obsahujúca periodický bod implikuje podkovu sme si zvolili z nasledujúcich dôvodov: pojem ω-limitnej množiny je základný pojem v teórii dynamických systémov a zaujíma nás, čo možno odvodiť z existencie ω-limitnej množiny so špeciálnymi vlastnosťami. Ak zvolíme ako predpoklad podmienku (b), tak najväčšou výzvou je dokázať implikáciu $(b) \implies (c)$, pretože existencia podkovy je veľmi silná vlastnosť, z nej sa už pomerne ľahko odvodia podmienky $(a), (d), (e)$. Na ilustráciu uveďme, že $(c) \implies (e)$ má pomerne ľahký dôkaz, ale implikácia $(e) \implies (c)$ je veľmi hlboká, tzv Misiurewiczova veta.

Pojmy a fakty

Pod dynamickým systémom rozumieme dvojicu (X, f), kde X je kompaktný metrický priestor a f je spojité zobrazenie $X \to X$. Symbolom f^n označujeme n-tú iteráciu zobrazenia f (t.j., f^0 je identita na X a $f^{n+1} = f \circ f^n$ pre každé nezáporné celé číslo n). Špeciálnu pozornosť budeme venovať prípadu, keď X je kompaktný reálny interval. Označovať ho budeme I. Bez ujmy na všeobecnosti môžeme predpokladať, že $I = [0, 1]$. Pojmy zobrazenie a funkcia budeme používať rovnocenne.

Definícia 1 *Bod $p \in X$ nazveme periodický bod zobrazenia f, ak existuje $n \in \mathbb{N}$ také, že $f^n(p) = p$. Najmenšie také n nazveme periódou bodu p a periodický bod s periódou $n = 1$ nazveme pevný bod zobrazenia f.*

Definícia 2 *Trajektória bodu $x \in I$ je postupnosť*

$$\gamma(x) = \gamma_f(x) = \{f^n(x)\}_{n \geq 0}$$

Definícia 3 *Ak $x \in X$, tak množinu*

$$\omega(x) = \omega_f(x) = \bigcap_{m \geq 0} \overline{\bigcup_{n \geq m} \{f^n(x)\}}$$

budeme nazývať ω-limitná množina bodu x.
Ekvivalentne, $y \in \omega_f(x)$ práve vtedy, keď je y limitný bod trajektórie $\gamma_f(x)$, teda $f^{n_k}(x) \to y$ pre nejakú postupnosť prirodzených čísel $n_k \to \infty$.

Veta 1 *([2, str. 71]) Pre každé $x \in X$ je ω-limitná množina neprázdna, uzavretá a silne invariantná (teda $f(\omega_f(x)) = \omega_f(x)$)*

Veta 2 *([2, str. 70]) Pre každé $m \in \mathbb{N}$ platí*

$$\omega_f(x) = \bigcup_{j=0}^{m-1} \omega_{f^m}(f^j(x)).$$

Veta 3 *([2, str. 71]) Pre každé $m \in \mathbb{N}$ platí*

$$f(\omega_{f^m}(x)) = \omega_{f^m}(f(x)).$$

Definícia 4 *Nech existujú kompaktné intervaly U, V a prirodzené čísla m, n také, že*

$$U \cup V \subseteq f^m(U) \cap f^n(V)$$

a U, V majú najviac jeden spoločný bod. Potom hovoríme, že f má podkovu (U, V), alebo, že U a V tvoria podkovu pre f. Ak sú U, V disjunktné, nazývame podkovu striktnou.

Poznámka 1 *V definícii podkovy aj striktnej podkovy môžeme bez ujmy na všeobecnosti predpokladať, že $m = n$. Ak totiž $U \cup V \subseteq f^m(U) \cap f^n(V)$, tak $U \cup V \subseteq f^k(U) \cap f^k(V)$ napríklad pre $k = mn$.*

Veta 4 *f má podkovu práve vtedy, keď má striktnú podkovu.*

Veta 5 *Nech $k \in \mathbb{N}$. Potom (U, V) je podkova pre f^k práve vtedy, keď je to podkova pre f.*

Definícia 5 *Nech $f : X \to X$ je spojité zobrazenie kompaktného metrického priestoru X do seba. Pre $\epsilon > 0$ a $n \in \mathbb{N}$ povieme, že množina $E \subseteq X$ je (n, ϵ)-separovaná, ak pre každé $x, y \in E$ existuje i, $0 \leq i < n$, také, že $d(f^i(x), f^i(y)) > \epsilon$.*

Definícia 6 *Nech $f : X \to X$ je spojité zobrazenie kompaktného metrického priestoru X do seba. Potom topologickú entropiu $h(f)$ zobrazenia f definujeme ako*

$$h(f) = \lim_{\epsilon \to 0} \limsup_{n \to \infty} \frac{1}{n} \log \mathrm{Sep}(n, \epsilon),$$

kde $\mathrm{Sep}(n, \epsilon)$ je maximum kardinalít všetkých (n, ϵ)-separovaných množín.

Dôvod, prečo chceme z existencie nekonečnej ω-limitnej množiny s periodickým bodom dokázať práve existenciu podkovy spočíva v nasledujúcej vete (platí aj obrátená, tzv. Misiurewiczova veta, tá je však oveľa hlbšia).

Veta 6 *Ak $f : I \to I$ má podkovu, tak $h(f) > 0$.*

Dôkaz Hlavnej vety

Pre $x \in I$ bude ω-limitná množina $\omega_f(x)$ niekedy značená aj $\omega(x)$ alebo ω (ak nemôže dôjsť k nedorozumeniu). Ďalej, a bude označovať minimum ω, b maximum ω a $x_i = f^i(x)$.

Aby sme dokázali Hlavnú vetu, začneme s niekoľkými lemami.

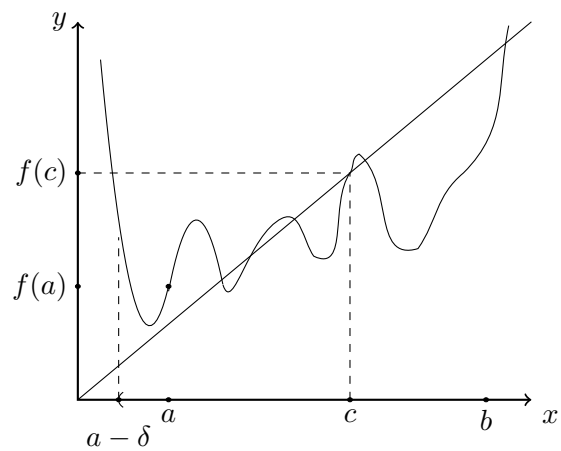
Lema 1 *([7]) Existuje $c \in (a, b)$ také, že $f(c) = c$.*

Dôkaz. Stačí ukázať, že $f(u) > u$ a $f(v) < v$ pre nejaké $u, v \in (a, b)$. Predpokladajme sporom, že $f(u) < u$ pre každé $u \in (a, b)$. Potom $a < x_n < b$ implikuje $x_{n+1} < x_n$. Teda

pre ľubovoľné malé $\delta > 0$ existuje postupnosť $n(1) < n(2) < \dots$ prirodzených čísel taká, že $x_{n(i)} \leq a$ a $x_{n(i)+1} \geq b - \delta$ pre každé i. Keďže $\lim_{i\to\infty} x_{n(i)} = a$, máme $f(a) \geq b - \delta$. Zo spojitosti f, ak $u > a$ je blízko a, potom $f(u) > u$, čo je spor. □

Lema 2 *Nech pre $c \in (a, b)$ platí, že $f(c) = c$. Ak $f(a) < c$, potom $f(y) = c$ pre nejaké $y \in (a, c)$.*

Dôkaz. Predpokladajme sporom, že $f(y) \neq c$ pre každé $y \in (a, c)$. Keďže $f(a) < c$, očividne $f(y) < c$ pre všetky $y \in [a, c)$, viď Obr. 1. Zo spojitosti f, existuje $\delta > 0$ také, že $f(y) \leq c$ pre všetky $y \in (a - \delta, c)$. Pretože $\omega \subseteq [a, b]$, tak existuje $i_0 \in \mathbb{N}_0$ také, že $x_i > a - \delta$ pre všetky $i \geq i_0$. Keďže $a \in \omega$, $x_{j_0} \in (a - \delta, c]$ pre nejaké $j_0 \geq i_0$. Potom $x_j \in (a - \delta, c]$ pre všetky $j \geq j_0$. To je spor s tým, že $c < b \in \omega$. □



Obr. 1

Lema 3 *Nech $f(a) = a$ a nech pre $c \in (a, b)$ platí, že $f(c) = c$. Potom existuje najmenšie $y \in (a, c)$ také, že $f(y) = c$. Navyše, $x_i \in (y, c)$ pre nejaké $i \in \mathbb{N}_0$.*

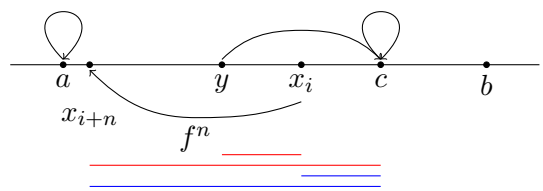
Dôkaz. Podľa lemy 2, existuje $y' \in (a, c)$ také, že $f(y') = c$. Keďže uzavretá množina $[a, c] \cap f^{-1}(c)$ obsahuje y' a neobsahuje a, jej minimum je požadovaný bod y. Potom máme, že $f(z) < c$ pre všetky $z \in [a, y)$ a teda existuje nejaké $\delta > 0$ také, že $f(z) \leq c$ pre všetky $z \in (a - \delta, y)$. Potom existuje nejaké x_i v (y, c) pretože inak, počnúc nejakým $i \in \mathbb{N}_0$, $x_j \in (a - \delta, y)$ pre všetky $j > i$, čo je spor, pretože $b > y$ j v ω. □

Hlavná veta *Ak má spojité zobrazenie $f : I \to I$ kompaktného reálneho intervalu I nekonečnú ω-limitnú množinu obsahujúcu periodický bod, potom má f podkovu (a teda má f kladnú topologickú entropiu).*

Dôkaz. Podľa viet 2, 3 a 5 môžeme predpokladať, že má f nekonečnú ω-limitnú množinu $\omega = \omega_f(x)$ obsahujúcu pevný bod zobrazenia f. Budeme uvažovať niekoľko prípadov a podprípadov.

1. Aspoň jeden z bodov a, b je pevný. Bez ujmy na všeobecnosti môžeme predpokladať, že je pevný bod a.

   Podľa lemy 1, $f(c) = c$ pre nejaké $c \in (a, b)$. Podľa lemy 2, $f(y) = c$ pre nejaké $y \in (a, c)$. Podľa lemy 3 môžeme predpokladať, že $x_i \in (y, c)$ pre nejaké $i \in \mathbb{N}_0$. Keďže $a \in \omega$, máme $x_{i+n} < y$ pre nejaké $n \in \mathbb{N}$. Potom, viď Obr. 2,
   $[y, x_i] \cup [x_i, c] \subseteq [x_{i+n}, c] \subseteq f^n([y, x_i]) \cap f^n([x_i, c])$.

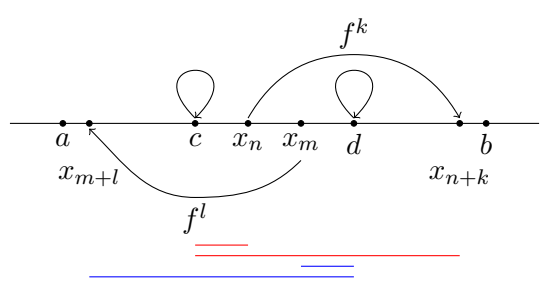


Obr. 2

2. Ani jeden z bodov a, b nie je pevný.

   (a) Existujú aspoň 2 pevné body $c < d$ v ω.

   (i) Existujú $n \neq m$ z $\mathbb{N}_0$ také, že $x_n, x_m \in (c, d)$[1].
   Predpokladajme, že $x_n < x_m$. Keďže $a, b \in \omega$, existujú nejaké $k, l \in \mathbb{N}$ také, že $x_{n+k} > d, x_{m+l} < c$. Potom, viď Obr. 3,
   $[c, x_n] \cup [x_m, d] \subseteq [c, x_{n+k}] \cap [x_{m+l}, d] \subseteq f^k([c, x_n]) \cap f^l([x_m, d])$



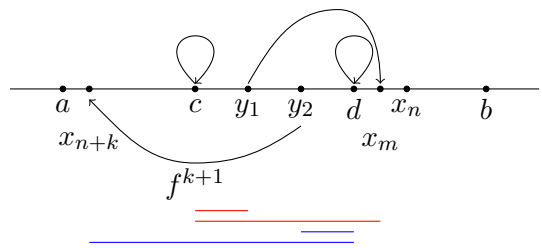
Obr. 3

   (ii) Žiadne x_n nie je v (c, d) a $[c, d]$ nie je invariantný[2].
   Keďže $[c, d]$ nie je invariantný, f ho „natiahne" aspoň do jednej strany. Nech teda $f([c, d]) \supseteq [c, d + \delta]$, pre nejaké $\delta > 0$. Keďže $d \in \omega$ a žiadne x_n nie je v (c, d), existuje nekonečne veľa x_n v $(d, d + \delta)$. Podľa nášho predpokladu, každé z nich má f-vzor v (c, d). Potom existujú $y_1, y_2 \in (c, d)$ také, že $f(y_1) = x_m, f(y_2) = x_n, y_1 < y_2$, kde $x_n, x_m \in (d, d + \delta), x_n \neq x_m$. Vezmime súvislé okolie U bodu a také, že $c \notin U$. Keďže $a \in \omega$, tak existuje $k \in \mathbb{N}$ také, že

[1] Očividne $x_n \neq x_m$ vždy, keď $n \neq m$, inak by bola ω konečná.

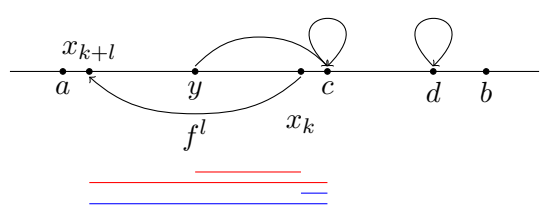
[2] Mali by sme uvažovať prípad, kedy (c, d) obsahuje najviac jedno x_n, ale môžeme predpokladať, že nie je žiadne x_n v (c, d), pretože limitná množina sa nezmení, ak zabudneme na prvých $n + 1$ členov postupnosti $(x_i)_{i=0}^{\infty}$.

$x_{n+k} \in U$. Potom, viď Obr. 4,
$[c, y_1] \cup [y_2, d] \subseteq [c, x_m] \cap [x_{n+k}, d] \subseteq f([c, y_1]) \cap f^{k+1}([y_2, d])$.



Obr. 4

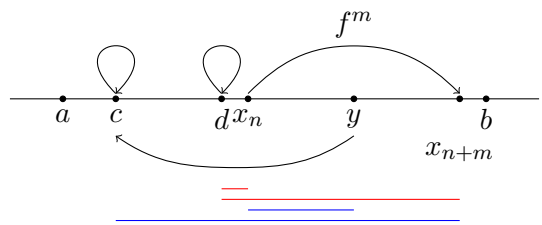
(iii) Žiadne x_n nie je v (c, d) a $[c, d]$ je invariantný[3].
Ukážeme, že $f(y) = c$ pre nejaké $y \in (a, c) \cup (d, b)$.
Predpokladajme, že $c \notin f((a, c))$.
Nemôže nastať, že $f(y) < c$ pre všetky $y \in (a, c)$. Pretože inak zo spojitosti vyplýva, že $f(a) \leq c$. Znovu využitím spojitosti, existuje nejaké $\delta > 0$ také, že $f(y) < d$ pre všetky $y \in (a - \delta, c)$. Pretože žiadne x_n nie je v $[c, d]$, existuje $j \in \mathbb{N}_0$ také, že $x_k \in (a - \delta, c)$ pre všetky $k \geq j$. Potom $\omega \subseteq [a, c]$, čo je spor.
Tým pádom $f(y) > c$ pre všetky $y \in (a, c)$. Potom $f(y) = c$ pre nejaké $y \in (d, b)$. To platí, pretože existuje vzor a v $[a, b]$ (a očividne nie je žiadny v $[a, d]$) a zo spojitosti f.
Nech $f(y) = c$ pre nejaké $y \in (a, c)$. Keďže $a, c \in \omega$, existujú $k, l \in \mathbb{N}_0$ také, že $x_k \in (y, c)$ a $x_{k+l} < y$. Potom, viď Obr. 5,
$[y, x_k] \cup [x_k, c] \subseteq [x_{k+l}, c] \subseteq f^l([y, x_k]) \cap f^l([x_k, c])$.



Obr. 5

Teraz nech $f(y) = c$ pre nejaké $y \in (d, b)$. Keďže $b, d \in \omega$ a žiadne x_n nie je v (c, d), existujú $n, m \in \mathbb{N}_0$ také, že $x_n \in (d, y)$ a $x_{n+m} > y$. Potom, viď Obr. 6,
$[d, x_n] \cup [x_n, y] \subseteq [d, x_{n+m}] \cap [c, x_{n+m}] \subseteq f^m([d, x_n]) \cap f^m([x_n, y])$.

[3] Všimnime si, že sám predpoklad, že $[c, d]$ je invariantný, implikuje, že žiadne x_n nie je v $[c, d]$, pretože inak by bola $\omega \subseteq [c, d]$, čo je spor.



Obr. 6

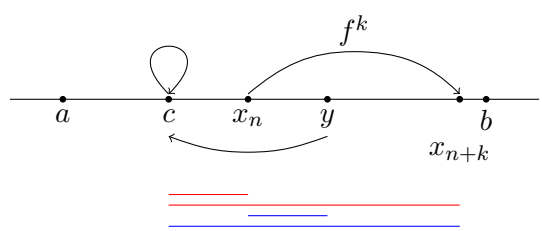
(b) Existuje práve jeden pevný bod v ω, povedzme c.

(i) Neexistuje $y \in [a,b] - \{c\}$ také, že $f(y) = c$.
Podľa lemy 2, $f(a) > c$. Zo spojitosti f, pre nejaké $\delta > 0$ platí, že $f(y) > c$ pre všetky $y \in (a-\delta, c)$. Zopakovaním tohto argumentu pre bod b namiesto a a použitím symetrie, môžeme ľahko vidieť, že pre každé n dostatočne veľké, máme buď $x_{2n} < c$ a $x_{2n+1} > c$ alebo $x_{2n} > c$ a $x_{2n+1} < c$. Položme $g = f^2$. Potom každá z množín $\omega_g(x), \omega_g(f(x))$ je nekonečná a c je koncový bod (minimum alebo maximum) každej z nich[4]. Podľa prípadu 1 aplikovaného na g, g má podkovu a preto má podľa vety 5 podkovu aj f.[5]

(ii) Existuje $y \in [a,b] - \{c\}$ také, že $f(y) = c$.
Môžeme predpokladať, že $y > c$. Takže buď $y \in (c,b)$ alebo $y = b$.

(A) $f(y) = c$ pre nejaké $y \in (c,b)$.

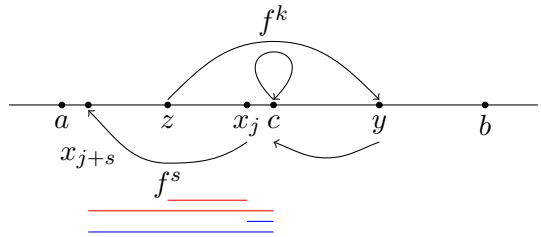
(I) $x_n \in (c,y)$ pre nejaké $n \in \mathbb{N}_0$.
Keďže $b \in \omega$, existuje $k \in \mathbb{N}$ také, že $x_{n+k} > y$. Potom, viď Obr. 7, $[c, x_n] \cup [x_n, y] \subseteq [c, x_{n+k}] \subseteq f^k([c, x_n]) \cap f^k([x_n, y])$.



Obr. 7

(II) $x_n \notin (c,y)$ pre všetky $n \in \mathbb{N}_0$.
Keďže $c \in \omega$, existuje $i \in \mathbb{N}_0$ také, že $x_i < c$. Pretože $b \in \omega$, existuje $k \in \mathbb{N}$ také, že $x_{i+k} > y$. Potom $y \in f^k((x_i, c))$. Takže $f^k(z) = y$ pre nejaké $z \in (x_i, c)$. Tiež existuje $x_j \in (z, c)$ pre nejaké $j \in \mathbb{N}_0$ a, keďže $a \in \omega$, $x_{j+s} < z$ pre nejaké $s \geq k$. Potom, viď Obr. 8,
$[z, x_j] \cup [x_j, c] \subseteq [x_{j+s}, c] \subseteq f^s([z, x_j]) \cap f^s([x_j, c])$.

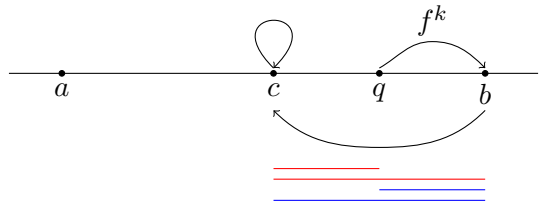
[4] To platí, lebo $\omega_f(x) = \omega_g(x) \cup \omega_g(f(x))$ a $f(\omega_g(x)) = \omega_g(f(x))$, pozri vety 2 a 3.
[5] Dôkaz časti 2(b)(i) kopíroval dôkaz časti 2.1. z [7].



Obr. 8

(B) $f(b) = c$.

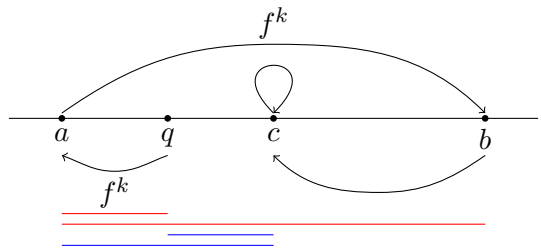
(I) Pre nejaké $k \in \mathbb{N}$ existuje $q \in (c, b)$ (nie nutne z ω) také, že $f^k(q) = b$. Potom, viď Obr. 9, $[c, q] \cup [q, b] \subseteq [c, b] \subseteq f^k([c, q]) \cap f^k([q, b])$.



Obr. 9

(II) Pre každé $k \in \mathbb{N}$ platí, že neexistuje $q \in (c, b)$ také, že $f^k(q) = b$.

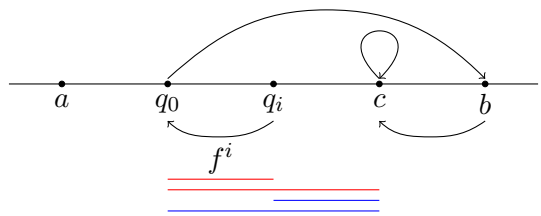
a) Existuje $k \in \mathbb{N}$ také, že $f^k(a) = b$.
Keďže $f^k(\omega) = \omega$ a $f(b) = f(c) = c$, bod a má f^k-vzor $q \in ([a, c) \cup (c, b)) \cap \omega$. Avšak, $q \neq a$ pretože $f^k(a) = b$. Okrem toho, $q \notin (c, b)$, pretože potom by q bolo f^{k+k}-vzor b v (c, b), čo je spor s našim predpokladom. Takže $q \in (a, c)$, $f^k(q) = a$. Potom, viď Obr. 10, $[a, q] \cup [q, c] \subseteq [a, b] \cap [a, c] \subseteq f^k([a, q]) \cap f^k([q, c])$.



Obr. 10

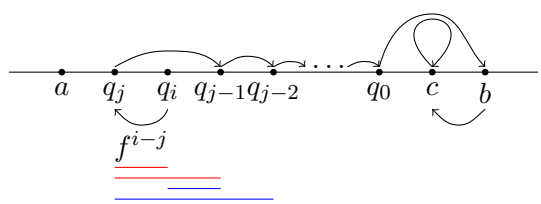
b) Neexistuje $k \in \mathbb{N}$ také, že $f^k(a) = b$.
Takže sme v situácii, že množina $S = \bigcup_{n=1}^{\infty} f^{-n}(b)$ má prázdny prienik s $\{a\} \cup [c, b]$. Keďže $f(\omega) = \omega$, existujú body $q_0, q_1, q_2, \ldots$ z ω také, že $f(q_0) = b, f(q_1) = q_0, f(q_2) = q_1, \ldots$. Tieto body ležia v $\omega \cap (a, c)$, podľa toho, čo sme povedali o S. Očividne, tieto body sú po dvojiciach rôzne. Nie je možné, aby postupnosť $(q_i)_{i=0}^{\infty}$ bola klesajúca. Ak by bolo

$q_0 > q_1 > q_2 > \dots$ potom by táto postupnosť bodov z ω mala limitu $q_\infty \in \omega$ rôznu od c. Zo spojitosti, $f(q_\infty) = q_\infty$. Teda žiadna taká postupnosť nemôže byť klesajúca. Potom, nech $j \in \mathbb{N}_0$ je najmenší index, pre ktorý existuje $i \in \mathbb{N}$ také, že $j < i$ a $q_j < q_i$.
Ak $j = 0$, Potom, viď Obr. 11,
$[q_0, q_i] \cup [q_i, c] \subseteq [q_0, c] \subseteq f^i([q_0, q_i]) \cap f^i([q_i, c])$.



Obr. 11

Ak $j > 0$, tak $q_i \in (q_j, q_{j-1})$ [6] a máme takúto podkovu, viď Obr. 12:
$[q_j, q_i] \cup [q_i, q_{j-1}] \subseteq [q_j, q_{j-1}] \cap [q_j, f^{i-j}(q_{j-1})] \subseteq f^{i-j}([q_j, q_i]) \cap f^{i-j}([q_i, q_{j-1}]$.



Obr. 12

□

Zovšeobecnenia vety na iné priestory

V Hlavnej vete sme sa zaoberali prípadom, kedy bolo f spojité zobrazenie kompaktného intervalu reálnych čísel do seba. Vzniká teda otázka, či tvrdenie, že nekonečná ω-limitná množina obsahujúca periodický bod implikuje kladnú topologickú entropiu, platí aj na iných priestoroch[7]. Ukazuje sa, že v niektorých špeciálnych prípadoch áno. Postupne tieto prípady priblížime a uvedieme aj príklady priestorov, na ktorých tvrdenie zlyháva.

1 Kružnica

Pod pojmom jednotková kružnica v rovine (skrátene kružnica) budeme rozumieť množinu $\{(x, y) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R} : x^2 + y^2 = 1\}$ a budeme ju označovať S^1. Pre spojité zobrazenie f priestoru S^1 do seba tvrdenie platí (a teda platí aj pre ľubovoľnú inú kružnicu, čiže pre homeomorfný

[6] Ak $q_i > q_{j-1}$, potom j nie je najmenší index spĺňajúci našu podmienku.

[7] Poznamenajme, že narozdiel od intervalu, kde platí Misiurewiczova veta (hovoriaca, že kladná entropia implikuje existenciu podkov), vo všeobecnosti môže kladná entropia existovať aj bez prítomnosti podkov. Napr. existuje homeomorfizmus torusu s kladnou entropiou - injektívnosť však vylučuje existenciu podkov akéhokoľvek druhu. Na grafoch je však kladná entropia ekvivalentná existencii podkov.

obraz jednotkovej kružnice S^1)[8]. Dôkaz, že existencia bodu x takého, že $\omega_f(x)$ je nekonečná a obsahuje periodický bod, implikuje kladnú entropiu, sa podarilo nájsť Japoncovi Naotsuguovi Chinenovi v článku [6] zo 14.2.2003. To isté sa podarilo aj Rusovi Vadimovi Vitalevičovi Redkozubovovi v [13], ale finálna verzia jeho dôkazu bola hotová až 18.10.2004.

2 Grafy

Definícia 7 *Kontinuum je neprázdny, kompaktný, súvislý metrický priestor.*

Definícia 8 *Oblúk je ľubovoľný priestor, ktorý je homeomorfný s uzavretým intervalom* $[0, 1]$.

Definícia 9 *Graf je kontinuum, ktoré sa dá zapísať ako zjednotenie konečného počtu oblúkov, pričom každé dva sú buď disjunktné, alebo je ich prienikom jeden alebo obidva ich koncové body.*

Pre spojité zobrazenie f ľubovoľného grafu do seba tvrdenie platí. Na konci článku [13] (z 18.10.2004) Redkozubov tvrdí, že veta pre grafy je priamym dôsledkom Vety o dekompozícii z [4] a výsledkov z [11], ale explicitne dôkaz neuvádza. V máji 2006 publikoval Chinen článok [5] a v ňom je veta dokázaná.

3 Trojuholníkové zobrazenia

Definícia 10 *Nech $f : I \to I$ je spojité zobrazenie kompaktného reálneho intervalu I do seba a nech $g_x : \{x\} \times I \to I$, pre $x \in I$, je systém spojitých zobrazení spojito závislých od x. Potom spojité zobrazenie $F : I \times I \to I \times I$ také, že $F(x, y) = (f(x), g_x(y))$, sa nazýva trojuholníkové zobrazenie. Zobrazenie f sa nazýva jeho bázovým zobrazením a zobrazenia g_x jeho vláknovými zobrazeniami.*

Pre obdĺžniky v rovine (a ich homeomorfné obrazy) Hlavná veta neplatí. Neplatí totiž už pre trojuholníkové zobrazenia štvorca $I \times I$. Uvedieme trojuholníkové zobrazenie štvorca $I \times I, I = [0, 1]$, ktoré má nulovú topologickú entropiu, zjavne nemá žiadnu podkovu a zároveň má nekonečnú ω-limitnú množinu obsahujúcu pevné body.

Veta 7 *([9])Existuje trojuholníkové zobrazenie $F(x, y) = (f(x), g_x(y))$ s nulovou topologickou entropiou, ktoré má nekonečnú ω-limitnú množinu obsahujúcu periodický bod*[9].

[8] Existencia nekonečnej ω-limitnej množiny obsahujúcej periodický bod a kladná topologická entropia sú totiž invarianty topologickej konjugácie.

[9] V skutočnosti existencia takéhoto zobrazenia triviálne vyplýva z práce [10]. Zvolí sa trajektória bodu $[1, 0]$ tak, že ide „hadovitým" spôsobom doľava, pričom skoky medzi jej „susednými" bodmi sú stále menšie a menšie a jej ω-limitná množina je ľavá strana štvorca, ktorá bude pozostávať zo samých pevných bodov. Potom pomocou tzv. rozširovacej lemy (pozri Lemu 1 v [10]) sa dynamika predĺži na celý štvorec. Bázová funkcia trojuholníkového zobrazenia sa zvolí tak, aby mal vzhľadom na ňu každý bod $x \in I$ ω-limitnú množinu $\{0\}$.

Dôkaz. Definujme trojuholníkové zobrazenie $F(x,y) = (f(x), g_x(y))$ nasledovne. Nech $f(x) = \lambda x, \lambda \in (0,1)$. Pre $\delta \in (0,1)$, nech $\tau_\delta, \tau_\delta^* : [0,1] \to [0,1]$ sú definované takto

$$\tau_\delta(x) = (1-\delta)x + \delta$$

$$\tau_\delta^*(x) = \begin{cases} 0 & \text{pre } x \in [0,\delta] \\ \frac{x-\delta}{1-\delta} & \text{pre } x \in (\delta, 1]. \end{cases}$$

Očividne, $\tau_\delta^* \circ \tau_\delta$ je identita na I. Zobrazenie $g_x(y)$ definujeme takto

$$g_0(y) = y$$

$$g_{\lambda^n}(y) = \begin{cases} \tau_{1/(k+2)}(y) & \text{pre } n_k \le n < \frac{1}{2}(n_k + n_{k+1}) \\ \tau^*_{1/(k+2)}(y) & \text{pre } \frac{1}{2}(n_k + n_{k+1}) \le n < n_{k+1} \end{cases}, n \in \mathbb{N}_0,$$

pre $x \in (\lambda^{n+1}, \lambda^n)$, $x = c\lambda^{n+1} + (1-c)\lambda^n, c \in (0,1)$

$$g_x(y) = c g_{\lambda^{n+1}}(y) + (1-c) g_{\lambda^n}(y),$$

kde $\{n_k\}_{k=0}^\infty$ je postupnosť nezáporných párnych čísel takých, že $n_0 = 0$ a $\lim\limits_{k\to\infty}(1 - \frac{1}{k+2})^{(n_{k+1}-n_k)/2} = 0$. Keďže f a $F|I_x$ sú monotónne pre každé $x \in I$, potom, podľa Proposition 1.6 v [9], $h(F) = 0$. Teraz vezmime bod $z = (1,0) \in I \times I$. Keďže $f^n(1) = \lambda^n$, tak $\omega_F(z) = \{0\} \times I$, a pretože $F(u) = u$ pre každé $u = (0,y) \in \{0\} \times I$, $\omega_F(z)$ obsahuje nekonečne veľa pevných bodov. □

4 Cantorova množina

Pre spojité zobrazenie Cantorovej množiny do seba tvrdenie neplatí. Izraelský matematik Benjamin Weiss v [17] skonštruoval dynamický systém na Cantorovej množine (tzv. podposun plného posunu na 2 symboloch), ktorý má nulovú entropiu, ale má nekonečnú ω-limitnú množinu obsahujúcu periodický bod (je dokonca chaotický v zmysle Devaneyho, čo je silnejšia vlastnosť ako existencia takej ω-limitnej množiny[10]).

5 Dendrity

Definícia 11 *Peanovo kontinuum je kontinuum, ktoré je lokálne súvislé.*

Definícia 12 *Dendrit je Peanovo kontinuum, ktoré neobsahuje jednoduché uzavreté krivky*[11].

Pre spojité zobrazenie ľubovoľného dendritu do seba tvrdenie neplatí. Uvedieme dva dendrity

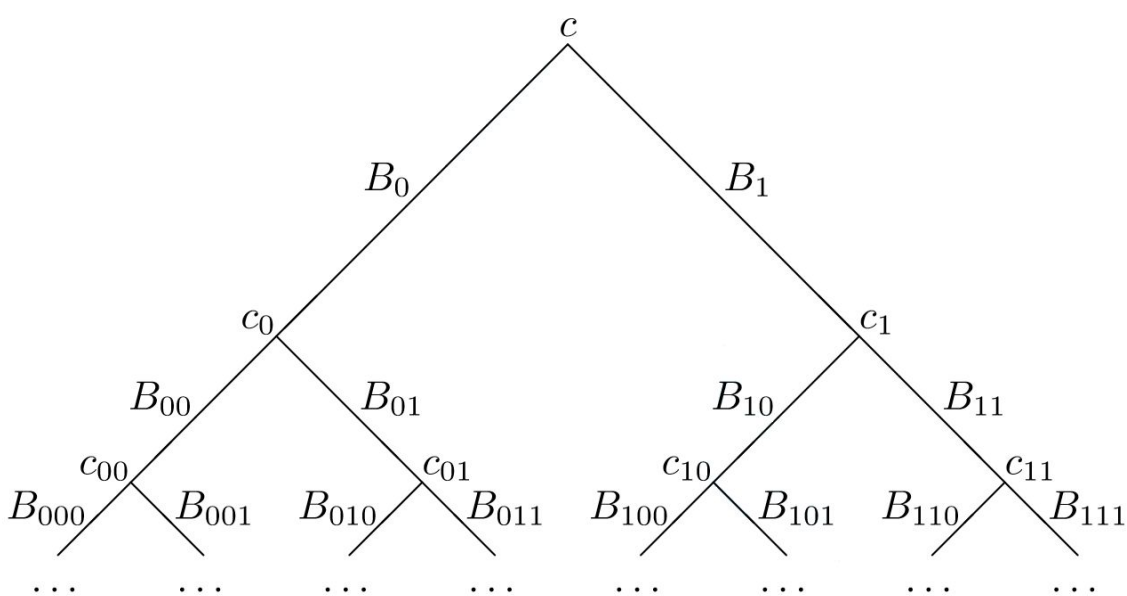
[10] Systém sa nazýva chaotický v zmysle Devaneyho, ak je nekonečný, topologicky tranzitívny a množina periodických bodov je hustá. Pritom topologická tranzitívnosť systému (X, f) znamená, že pre každé neprázdne otvorené množiny U a V existuje také prirodzené n, že $f^n(U) \cap V \neq \emptyset$.

[11] Jednoduché uzavreté krivky sú homeomorfné obrazy jednotkovej kružnice.

a zobrazenia na nich, ktoré majú nulovú topologickú entropiu a nekonečnú ω-limitnú množinu obsahujúcu periodický bod.

Veta 8 *([1]) Existuje dendrit X a spojité zobrazenie $f : X \to X$ s nulovou topologickou entropiou a nekonečnou ω-limitnou množinou obsahujúcou periodický bod.*

Prvý taký príklad patrí českým matematikom Kočanovi, Kurkovej a Málekovi (pozri Example 4.7 v [8]). Autori použili konštrukciu zo svojich starších prác, ktorá umožňuje rozšíriť dynamický systém na Cantorovej množine do dynamického systému na Gehmanovom dendrite (Cantorova množina je množinou koncových bodov Gehmanovho dendritu) takým spôsobom, že „doplnená" dynamika (okrem tej na Cantorovej množine) je triviálna - každý bod neležiaci v tej Cantorovej množine sa v konečnom čase zobrazí do pevného bodu, ktorým je hlavný „vrchol" c Gehmanovho dendritu. Technicky to prebieha tak, že v Cantorovej množine koncových bodov Gehmanovho dendritu definujeme tzv. plný posun na dvoch symboloch a ten sa potom predĺži do spojitého zobrazenia Gehmanovho dendritu s dynamikou ako je uvedené vyššie.



Obr. 13: Gehmanov dendrit

Vezmeme teraz hocijaký uzavretý podsystém uvedeného plného posunu. Teda vezmeme uzavretú podmnožinu S danej Cantorovej množiny, ktorá je invariantná voči plnému posunu (každý taký systém $(S, f|_S)$ sa nazýva podposun plného posunu[12]). Ak si z Gehmanovho dendritu ponecháme len tie „cesty" z hlavného „vrchola" c, ktoré končia v bodoch z S, dostaneme

[12] V angličtine sa používajú pojmy „full shift" a „subshift".

poddendrit D_S Gehmanovho dendritu. Dynamiku z celého Gehmanovho dendritu zúžime na tento poddendrit. Takýto dynamický systém na dendrite D_S má rôzne vlasnosti v závislosti od voľby S.

Ak S zodpovedá Weissovmu podposunu, ktorý sme spomenuli v časti 4.4, tak získaný dynamický systém na D_S má entropiu ako entropia v S (teda nulovú), ale celá množina S je nekonečnou ω-limitnou množinou obsahujúcou periodické body (pretože Weissov podposun je chaotický v zmysle Devaneyho).

Poznamenajme, že v [8] autori nevyužili Weissov, ale iný vhodný podposun, takže ich nekonečná ω-limitná množina je spočítateľná (a neexistuje nespočítateľná ω-limitná množina).

Nedávno sa objavil iný príklad v [1, Example 4.1], ktorý teraz opíšeme. Počas konštrukcie odporúčame sledovať Obr. 14.

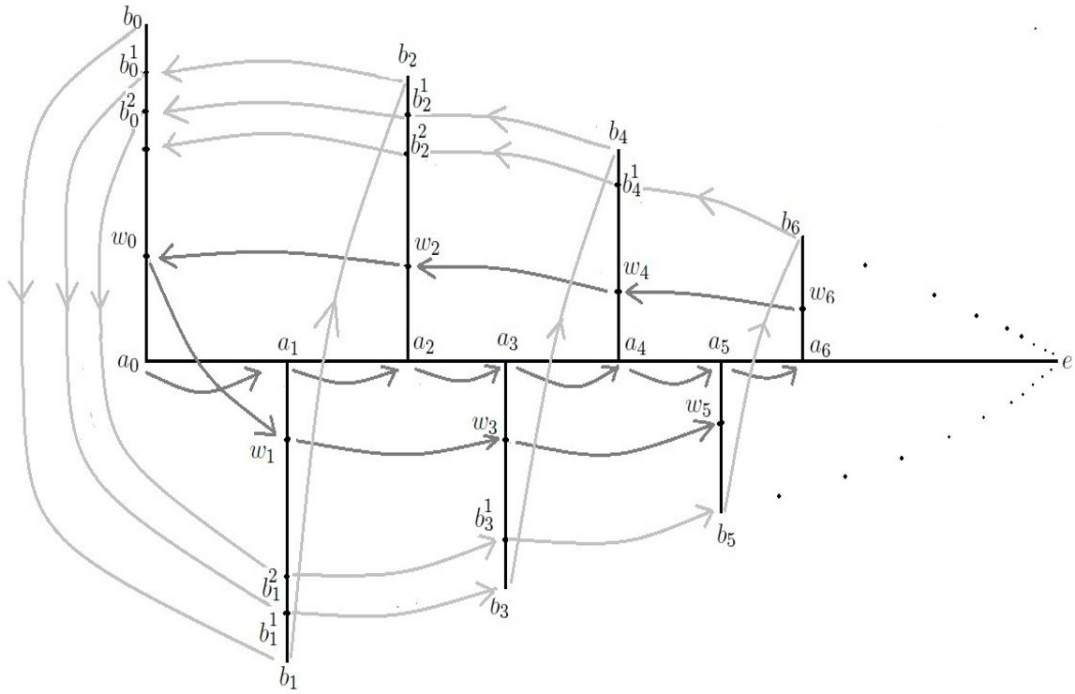
Konštrukcia dendritu X. Pre ľubovoľné $n \geq 0$ nech

1. $a_n = (1 - \frac{1}{n+1}, 0), b_n = (1 - \frac{1}{n+1}, \frac{(-1)^n}{n+1})$ a $e = (1, 0)$
2. $w_n \in (a_n, b_n)$
3. $(b_n^k)_{k \geq 0}$ nech je monotónna postupnosť v $[b_n, w_n)$ konvergujúca k w_n, kde $b_n^0 = b_n$
4. $X = \bigcup_{i=0}^{\infty} [a_i, b_i] \cup [a_0, e]$

Dá sa ukázať (viď Obr. 4.2), že množina koncových bodov $E(X)$ dendritu X je uzavretá a množina hromadných bodov množiny $E(X)$ je $E'(X) = \{e\}$.

Konštrukcia zobrazenia $f : X \to X$. Pre ľubovoľné $n, k \in \mathbb{N}$

1. $f(e) = e$
2. f zobrazuje lineárne
   (a) $[a_n, a_{n+1}]$ do $[a_{n+1}, a_{n+2}]$ tak, že $f(a_n) = a_{n+1}$
   (b) $[a_{2n+2}, w_{2n+2}]$ do $[a_{2n+3}, w_{2n}]$
   (c) $[a_{2n+1}, w_{2n+1}]$ do $[a_{2n+2}, w_{2n+3}]$
   (d) $[a_0, w_0]$ do $[a_1, w_1]$
   (e) $[w_{2n+2}, b_{2n+2}]$ do $[w_{2n}, b_{2n}]$ tak, že $f(b_{2n+2}^k) = b_{2n}^{k+1}$
   (f) $[w_0, b_0]$ do $[w_1, b_1]$ tak, že $f(b_0 k^k) = b_1^k$
   (g) $[w_{2n+1}, b_{2n+1}^1]$ do $[w_{2n+3}, b_{2n+3}]$ tak, že $f(b_{2n+1}^{k+1}) = b_{2n+3}^k$
   (h) $[b_{2n+1}, b_{2n+1}^1]$ do $[b_{2n+3}, b_{2n+2}]$



Obr. 14: Dendrit z Askriho práce

V [1] v Leme 4.1. je ukázané, že takto skonštruované zobrazenie je spojité a má nulovú topologickú entropiu. ω-limitná množina bodu b_0 je spočítateľná množina $\omega_f(b_0) = \{w_n, n \geq 0\} \cup \{e\}$, teda je očividne nekonečná a obsahuje pevný bod e.

Záver

V práci sme našli priamy dôkaz Šarkovského tvrdenia hovoriaceho, že ak má spojité zobrazenie kompaktného reálneho intervalu do seba nekonečnú ω-limitnú množinu obsahujúcu periodický bod, tak má toto zobrazenie podkovu. Dôkaz má vyše 5 strán (vrátane obrázkov). Výzvou je pokúsiť sa dôkaz skrátiť. Možno by sa to dalo šikovnejšou voľbou prípadov a podprípadov alebo nejakou vhodnou lemou. Našim hlavným cieľom pri prípadnom skracovaní dôkazu by bolo zachovať jeho elementárnosť v tom zmysle, že chceme využívať len základné vlastnosti ω-limitných množín a definíciu podkovy. Ďalšia možnosť ako pokračovať v práci by bolo urobiť niečo podobné na grafoch. Poznamenajme, že Redkozubov v [13] neuvádza dôkaz, odkazuje však na netriviálny výsledok z práce [4]. Chinenov dôkaz z práce [5] zjavne kombinuje výsledky z množstva iných prác a je pre autora nečitateľný, pretože je v japončine.

Poďakovanie

Za spoluprácu, užitočné rady a korekcie ďakujem prof. Snohovi.

Literatúra

[1] ASKRI, G. 2015. *Li-Yorke chaos for dendrite maps with zero topological entropy and ω-limit sets.* [online]. 2015, arXiv:1506.06872 [math.DS]. Dostupné na internete: <http://arxiv.org/abs/1506.06872>

[2] BLOCK, L. S.; COPPEL, W. A. 1992. *Dynamics in one dimension.* Lecture Notes in Mathematics, 1513. Springer-Verlag, Berlin, 1992. viii+249 pp. ISBN: 3-540-55309-6.

[3] BLOCK, L. 1978. *Homoclinic points of mappings of the interval.* Proc. Amer. Math. Soc., 72, 1978, 576-580.

[4] BLOKH, A. M. 1986. *On dynamical systems on one-dimensional branched manifolds.* 1–3, Teor. Funktsii Funktsional. Anal. i Prilozhen., 46 (1986), 8–18; 47 (1986), 67–77; 48 (1987), 32–46.

[5] CHINEN, N. 2006. *A relation between ω-limit sets and positive topological entropy of graph maps.* [online]. 2006. Dostupné na internete <http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/58273>

[6] CHINEN, N. 2003. *Circle maps having an infinite ω-limit set which contains a periodic orbit have positive topological entropy.* Proc. Amer. Math. Soc. 131, 2003, no. 11, 3547–3551.

[7] JANKOVÁ, K.; SMÍTAL, J. 1989. *A theorem of Šarkovskii characterizing continuous maps of zero topological entropy.* Math. Slovaca 39 1989, no. 3, 261–265.

[8] KOČAN, Z.; KURKOVÁ, V.; MÁLEK, M. 2016. *Counterexamples of continuous maps on dendrites.* J. Difference Equ. Appl. 22, 2016, no. 2, 253–271.

[9] KOČAN, Z. 1998. *The problem of classification of triangular maps with zero topological entropy.* European Conference on Iteration Theory (Muszyna-Złockie, 1998). Ann. Math. Sil. No. 13 (1999), 181–192.

[10] KOLYADA, S. F.; SNOHA, Ľ. 1992. *On ω-limit sets of triangular maps.* Real Anal. Exchange 18 (1992/93), no. 1, 115–130.

[11] LLIBRE, J.; MISIUREWICZ M. 1993 *Horseshoes, entropy and periods for graph maps.* Topology, 32, 1993, no. 3, 649–664.

[12] MISIUREWICZ, M. 1979. *Horseshoes for mappings of the interval.* Bull. Acad. Polon. Sci. Sér. Math., 27, 1979, 167-169.

[13] REDKOZUBOV, V. V. 2006. *Limit sets of the circle mapping.* (Russian) Mat. Zametki 79, 2006, no. 5, 736–742; translation in Math. Notes 79 (2006), no. 5-6, 681–686.

[14] ŠARKOVSKII, A. N. 1966. *The behavior of a map in a neighborhood of an attracting set.* (Russian.) Ukrain. Mat. Ž., 18, No 2, 1966, 60-83.

[15] ŠARKOVSKII, A. N. 1970. *On a problem of isomorphism of dynamical systems.* (Russian.) Proc. Internat. Conference on Nonlinear Oscillations, Vol. 2, Kiev 1970, 541-545.

[16] ŠARKOVSKII, A. N. 1965. *On cycles and the structure of continuous mappings.* (Russian.) Ukrain. Mat. Ž., 17, No 3, 1965, 104-111.

[17] WEISS, B. 1971. *Topological transitivity and ergodic measures.* Math. Systems Theory 5, 1971, 71–75.

Názov: **Prírodovedec 2016**
Zborník príspevkov zo ŠVK 2016 konanej 14. apríla 2016

Náklad: online
Rozsah: 182 strán
Rok vydania: 2016
Vydavateľ: Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici

ISBN 978-80-557-1127-0