

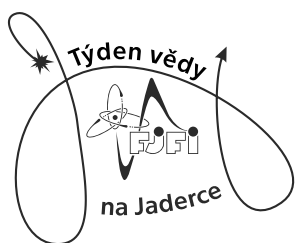
Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2023

Sborník příspěvků



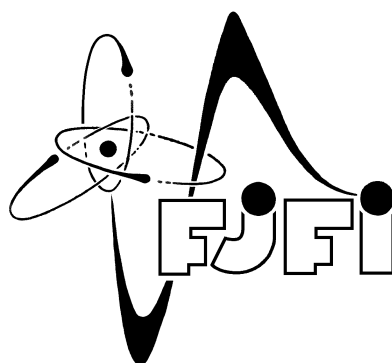
"O všem rozhoduje představivost.."
Blaise Pascal (400 let od narození.)





Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2023

Poděkování za laskavou podporu



Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství,
mládeže a tělovýchovy.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Akci věcně podpořili

vesmír

 **Prometheus**, spol. s r. o.

Mediální partner



Slovo úvodem

Letošní novinky tvoří i) Přechod od xml-xslt databázového zpracování k pSQL. Obrovský přínos, ale utopeno hodně energie, snad se to v budoucnu vyplatí. Docela mne překvapilo, že se nezjevila zásadní databázová chyba. ii) Druhou přednášku O vědecké komunikaci si letos od Uspávače hadů přebírá Darren Copeland z Katedry humanitních věd a jazyků. Velmi se na to těším. iii) Letos jsme opět pokročili v zapojení účastníků do organizace, hlavně v úvodu. Mým snem je, aby se to tak nějak zapálilo (ignition) a už si to žilo vlastním životem v logice "Studenti sobě".

Aktuální statistika vypadá takto: Letošní ročník tvořilo 24 komnat Pevnosti Břehyard (+ pražská selfie a závěrečná aktivita), realizováno bylo 53 miniprojektů z původně navržených 66, 12 exkurzí, 14 přednášek a 6 diskusních párty pro vás, 159 studentů. Zajímavý vhled může být i to, že za slevy na účasti na různých odborných soutěžích (250 Kč za krajská kola, 500 Kč za celostátní) jsme museli ponížít náš rozpočet o 36700 Kč. Považujeme si to.

Tradičně děkuji všem vedoucím komnat Pevnosti Břehyard, garantům miniprojektů, přednášejícím, vedoucím exkurzí, krupíerům na Kasinu, různým pomocníkům a zvláštní poděkování patří podpoře fakulty FJFI. Opět mne velmi bere, když vidím mezi organizátory všech možných věcí bývalé účastníky Týdne vědy, nebo Fyzikálního týdne z dřívějších let.

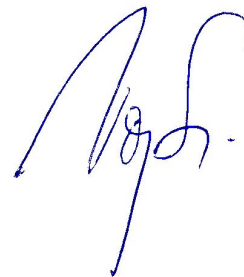
Letos byla opět klíčová produkční pomoc Karla, který v organizaci utopil neskutečné množství energie. Z produkce této akce si pomalu dělám rodinný podnik, neboť komunikaci s účastníky po Veronice převzala moje dcera Barbora a .. perfektně. Synek Šimon zdokonalil appku, zatím vše v poho, supr. Bez dobře organizovaných informací bychom nemeli šanci. Druhý synek Jakub vás trápil u šachovnice s rýží. Druhé díky patří opět Filipu Papouškovi, který na sebe vzal opět celou organizaci Pevnosti Břehyard a Kasina. Moc by mne potěšilo, kdybyste se na závěr přidali k mému poděkování a podpořili mě tak, aby Karel, Bára, Šimon a Filip neztratili chuť pomoci s dalším ročníkem. VELMI jim letos opět děkuji, nedovedu si to bez nich představit a cítil jsem se v této spolupráci velmi komfortně.

Fakt je, že Týden vědy je náročná záležitost a celý týden tlačím čas a těším se na závěr, kdy budu vědět, že jste zase doma v bezpečí z naší péče. Ale vaše přítomnost na Břehovce je nesmírně osvěžující a velmi se těším, že příští léta uvidím na chodbách Jaderky pár limetkových trik TV@J, dokument roku 2023 těch z vás, kteří si nás zvolí jako vstupní bránu do excitujícího badatelského světa.

Mějte se.

20. 6. 2023

Vojtěch Svoboda



Očekávání a obavy s kterými studenti přijížděli na letošní TV@J.

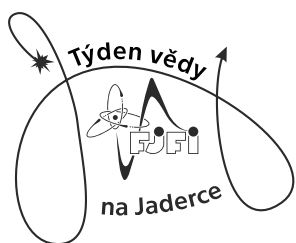
Očekávání		Obavy
Nové informace a znalosti	Humor pana Svobody	Minu výplatu
Kam přijdu?	Ztratím se v Praze	Nebude mramorový chléb
Věda	Na Strahově chytnu štěnice	Někdo přijde s mou směnkou
Potkám nové lidi	Potkám lidi, co znám	
	Setkáme se s léčivým/ozdravným/smrtečným zářením	

Titulní obrázek na obálce sborníku:

Miniprojekt Bimetalický katalyzátor pro vodíkové technologie: foto z vnitřku magnetronové komory z projektu zaměřeného na Bimetalické katalyzátory pro vodíkové technologie.

Contents

Poděkování	2
Slovo úvodem	3
Program Týdne vědy 2023	9
Seznamy exkurzí, přednášek a miniprojektů	10
Příspěvky	15
Měření radiálního profilu iontového nasyceného proudu na tokamaku GOLEM (Matěj Blahník, Eliška Hostáková, Tobiáš Křištof, Martin Zuzek)	15
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT	15



Týden vědy na FJFI ČVUT Praha 2023

Program Týdne vědy 2023

Program TV@J

- Neděle
 - 10.00-11.00: Registrace
 - 11.00-11.30: Otevření Týdne vědy
 - 11.30-11.50: Úvodní úvaha o vědecké komunikaci
 - 11.50-12.30: Organizace TV@J
 - 12.30-14.00: Pauza na oběd
 - 14.00-15.30: Populární přednášky
 - 16.00-19.00: Pevnost Břehyard
 - 19.00 a dále: Ubytování na kolejích
- Pondělí
 - 09.00-16.30: Miniprojekty (seznámení, rešerše, příprava, realizace)
 - 16.30-17.50: Vědecká prezentace I pro nováčky na TV@J
 - 16.30-17.50: Alternativní přednášky pro ty, co jsou na TV@J poněkolidáté
 - 18.00-21.30: Večerní program
- Úterý
 - 09.00-18.00: Miniprojekty (příprava prezentace a sborníkového příspěvku)
 - 18.00: Uzávěrka návrhů titulního obrázku sborníku a nahrání příspěvků do sborníku
- Středa
 - 08.30-10.00: prof. Ing. Igor Jex, DrSc.: O všem rozhoduje představitost (hlavní zvaná přednáška)
 - 10.30-11.50: Intro to the scientific communication – general introduction to public speaking
 - 12.00-13.30: Pauza na oběd
 - 13.00 a dále: Exkurze
 - 17.30-19.00: Diskuzní párty s občerstvením (mohou pokračovat trochu déle)
 - 20.00: Uzávěrka nahrání prezentací pro minikonferenci
- Čtvrtek
 - 08.50-10.30: Prezentace miniprojektů I (plénium)
 - 11.00-12.30: Prezentace miniprojektů II (paralelní sekce)
 - 12.30-14.00: Pauza na oběd
 - 13.45-15.15: Prezentace miniprojektů III (paralelní sekce)
 - 15.45-17.15: Prezentace miniprojektů IV (paralelní sekce)
 - 18.00-21.00: Kasino (závěrečný společenský večerní program na fakultě)

- Pátek
 - 09.00-10.30: Prezentace miniprojektů V (paralelní sekce)
 - 11.00-12.00: Prezentace miniprojektů VI (plénium)
 - 12.00-12.15: Závěr
 - 12.15: Zakončení ročníku TV@J
 - 12.30-13.30: Oběd

Exkurze

- Tokamak GOLEM
- IKEM
- (English) Quantum Computers for Future Scientists – FZÚ AV ČR (Na Slovance)
- Simulátor řízení letového provozu ESCAPE-Light
- Proton Therapy Center
- Laboratoř urychlovače Van de Graaff
- Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR
- Hvězdárna Ondřejov – Perkův dalekohled
- Laboratoř nanoskopie & Laboratoř optické charakterizace materiálů – Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR
- Školní reaktor VR-1 Vrabec FJFI ČVUT
- ÚJF AV ČR, v.v.i., Řež u Prahy
- Laboratoř terahertzové spektroskopie a svět kapalných krystalů – FZÚ AV ČR (Na Slovance)

Seznam všech přednášek

- RNDr. Martin Vlk, Ph.D.: Moderní radiofarmaka v diagnostice a terapii.
- Ing. Kristýna Holanová: Zkoumání a pochopení biologických procesů na úrovni jednotlivých proteinů
- Ing. Jiří Martinčík, Ph.D.: Téma: dozimetrie a aplikace ionizujícího záření
- doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.: Pevné, pevnější, nejpevnější
- Ing. Ondřej Novák: SMR – nástroj k redukci emisí CO₂ a transformaci české energetiky
- Ing. Slavomír Entler, Ph.D.: Termojaderná fúze
- Mgr. Jan Volec, Ph.D.: Platónská tělesa
- Ing. Vladimír Jarý, Ph.D.: Teorie her
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Základní motivační a organizační přednáška k TV@J
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Badatelská komunikace – motivace pro TV@J
- Ing. Vítězslav Jarý, Ph.D.: Proč potřebujeme umět pracovat s radiací?
- prof. Ing. Ladislav Musílek, CSc.: Ionizující záření pomáhá archeologům a historikům umění
- doc. Ing. Lubomíra Dvořáková, Ph.D.: Erdősovo číslo.
- Ing. Alena Zavadilová, Ph.D.: Stanovení uranu v přírodních vodách
- Ing. Vojtěch Svoboda, CSc.: Vědecká prezentace I – jak na prezentaci a publikaci
- Bc. Darren Copeland: Intro to the scientific communication - general introduction to public speaking

Diskusní párty

- Ing. Kristýna Holanová: Optika v běžném životě
- Mgr. Václav Procházka, Ph.D.: Suroviny pro energetiku: nejen paliva a jaderné palivo
- prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc. : Radiometrické datování – Historie země a lidstva.
- Mgr. Jan Horáček, DSc. dr. és sc. : Proč je fúze naprosto nezbytná pro českou i evropskou elektro-energetickou soustavu.
- Ing. Jan Kratochvíl: Laser – malířský štětec, nástroj nebo zbraň?
- Ing. Miloš Tichý, CSc.: Energetika ČR včera, dnes a zítra

Miniprojekty a jejich garanti z FJFI

- Ing. Petr Mácha: Měření radiálního profilu iontového nasyceného proudu na tokamaku GOLEM
- Ing. Marek Tunkl: Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM
- Ing. Miloš Tichý, CSc.: Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti
- Ing. Adam Říha: Postavte si laserový zaměřovač
- doc. Ing. Aleš Materna, Ph.D.: 3D tisk a pevnost
- Mgr. Rudolf Sýkora, Ph.D.; Mgr. Tomáš Slavíček: Měření odrazu protonů/alfa částic od zlaté vrstvy – částicový billiard s Van de Graaffovým urychlovačem
- Ing. Pavel Strachota, Ph.D.: Počítačová grafika – pohled pod pokličku
- Ing. Dalibor Skoupil, Ph.D.: Svět podivných jader
- Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu ABWR
- Ing. Dušan Kobylka, Ph.D.: Simulace provozu JE typu VVER-440
- Ing. Miroslav Myška, Ph.D.: Produkce Z bosonu v simulovaných p+p srážkách
- Ing. Tomáš Urban, Ph.D.: Termoluminiscenční dozimetrie
- Ing. Jan Adámek: Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu
- RNDr. Martina Kekule, Ph.D.: Co oční pohyby prozradí o čtení a prohlížení obrázků?
- Ing. Jiří Čapek, Ph.D.: Lze pomocí rentgenu charakterizovat neznámou látku aneb je to vůbec zlaté?
- Ing. Jakub Skočdopole: Tenké vrstvy, jak i málo dokáže hodně změnit
- Ing. Mgr. Martina Švábová, Ph.D.; Ing. Olga Bičáková, Ph.D.: Výroba nových sorbentů pomocí tepelné degradace odpadní biomasy
- Ing. Jaroslav Cihlář, Ph.D.; Ing. Olga Bičáková, Ph.D.: Co je viskóznější, čokoláda nebo med?
- Michal Červenák: Kompaktní násobič vysokého napětí
- Ing. Filip Petrásek, Ph.D.: Jak chladne vesmír
- RNDr. Peter Kúš Ph.D.; Mgr. Tomáš Hrbek: Bimetalický katalyzátor pro vodíkové technologie
- Ing. Tetiana Lukianova: The role of the laser for studying the homogeneous nucleation of water
- Ing. Pavel Kwiecien, Ph.D.; Ing. Milan Burda; doc. Dr. Ing. Ivan Richter: Molding the flow light, aneb Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách – simulace na počítači
- Ing. Jan Bárta, Ph.D.: Chemické změny v důsledku ozáření – radiační chemie a fotochemie
- Veronika Hendrychová: Rostou racionální čísla na stromech?
- Ing. Kateřina Pachnerová Brabcová, Ph.D.: Abstinents versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy

- Ing. Lucie Marešová: Zlaté nanostruktury pro extrémní zesílení Ramanova signálu
- Ing. Michaela Kozlová, Ph.D.: Čárové kódy atomů a molekul
- Ing. Pavel Gajdoš: Můžeme od sebe odlišit jádra hélia a uhlíku?
- prof. Dr. RNDr. Miroslav Karlík: Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů
- Ing. Jan Stránský, Ph.D.: 3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin
- Mgr. Daniel Dupkala: Interpretace dat z pozorování tranzitu exoplanety
- doc. Ing. Ladislav Kalvoda, CSc.: Jak spolu souvisí lesk a elektrická vodivost zlata?
- Ing. Ondřej Novák: Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1
- Ing. Ondřej Novák: Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu
- Ing. Tereza Janská: ^{99m}Tc značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně
- Bc. Matěj Štíbr: Radioimunoanalýza
- Ing. Jakub Klinkovský; (původně RNDr. Petr Kubera, Ph.D.): Rozpoznávání gest pomocí NVIDIA Jetson Nano
- Ing. Viktor Valenta; Ing. Lenka Hanáková, Ph.D.: Sledování pohybu očí pilota dopravního letadla
- Ing. Josef Blažej, Ph.D.: Narušování symetrie v laserovém rezonátoru
- Bc. Martin Vaněk: Praktický úvod do umělé inteligence
- doc. Dr. Ing. Milan Šňor: Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace (nejen) ve fyzice
- Michal Červenák: Filtrování signálů s vysokým šumem
- Ing. Dominika Mašlárová: Můžeme vytvořit antihmotu pomocí laseru?
- doc. Ing. Jaromír Kukal, Ph.D.: Logické hříčky jinak aneb jak řešit soustavy logických rovnic
- Mgr. Cinthia Antunes Correa, PhD.: How to find the crystal structure of a material?
- Ing. Jiří Martinčík, Ph.D.: Rentgenfluorescenční analýza, pomocník nejen při studiu památek
- Adam Blažek: Pickův vzorec pro výpočet obsahu mřížového mnohoúhelníku
- Mgr. Maksym Dreval: Bayesův vzorec: jak nová data mění pravděpodobnost jevu
- Ing. Martin Cesnek, Ph.D.: Testování složení starých mincí pomocí neutronové aktivační analýzy
- Ing. Vladimír Jarý, Ph.D.: Jak nám heuristiky usnadňují řešení problémů?
- Ing. Lukáš Heriban: Vizualizace čísel
- Ing. Miroslava Semelová, Ph.D.: Kde se berou radionuklidy?

Minikonference **Břehová, čtvrtek: Aula 103 (plénium)**

Předsedající: Ondřej Švihnos

08.55 Zahájení konference, shrnutí pravidel

09.05 Vizualizace čísel

09.20 Měření odrazu protonů/alfa částic od zlaté vrstvy - částicový billiard s Van de Graaffovým urychlovačem

09.35 Postavte si laserový zaměřovač

09.50 Simulace provozu JE typu VVER-440

10.05 Pozvánky na různé akce

Břehová, čtvrtek: Aula 103 (sekce)

Předsedající: Josef Lezna

- 11.00 Rentgenfluorescenční analýza, pomocník nejen při studiu památek
- 11.15 Testování složení starých mincí pomocí neutronové aktivační analýzy
- 11.30 Kompaktní násobič vysokého napětí
- 11.45 Filtrování signálů s vysokým šumem
- 12.00 Co je viskóznější, čokoláda nebo med?

Břehová, čtvrtek: Aula 115 (sekce)

Předsedající: Matyáš Beran

- 11.00 Simulace provozu JE typu ABWR
- 11.15 The role of the laser for studying the homogeneous nucleation of water
- 11.30 Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů
- 11.45 Molding the flow light, aneb Jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách - simulace na počítači
- 12.00 Výroba nových sorbentů pomocí tepelné degradace odpadní biomasy

Břehová, čtvrtek: Aula 103 (sekce)

Předsedající: Monika Drexlerová

- 13.45 Jak nám heuristiky usnadňují řešení problémů?
- 14.00 Lze pomocí rentgenu charakterizovat neznámou látku aneb je to vůbec zlaté?
- 14.15 Bimetalický katalyzátor pro vodíkové technologie
- 14.30 3D tisk a pevnost
- 14.45 Co oční pohyby prozradí o čtení a prohlížení obrázků?
- 15.00 Sledování pohybu očí pilota dopravního letadla

Břehová, čtvrtek: Aula 115 (sekce)

Předsedající: Petr Kozák

- 13.45 Tenké vrstvy, jak i málo dokáže hodně změnit
- 14.00 Zlaté nanostrukтуры pro extrémní zesílení Ramanova signálu
- 14.15 Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu
- 14.30 Můžeme od sebe odlišit jádra hélia a uhlíku?
- 14.45 How to find the crystal structure of a material?
- 15.00 Jak spolu souvisí lesk a elektrická vodivost zlata?

Břehová, čtvrtek: Aula 103 (sekce)

Předsedající: Maxmilian Ladislav Skuda

- 15.45 Termoluminiscenční dozimetrie
- 16.00 Pickův vzorec pro výpočet obsahu mřížového mnohoúhelníku
- 16.15 Kde se berou radionuklidy?
- 16.30 ^{99m}Tc značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně
- 16.45 Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu
- 17.00 Chemické změny v důsledku ozáření - radiační chemie a fotochemie

Břehová, čtvrtek: Aula 115 (sekce)

Předsedající: Tomáš Chalas

- 15.45** Radioimunoanalýza
- 16.00** Počítačová grafika - pohled pod pokličku
- 16.15** 3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin
- 16.30** Narušování symetrie v laserovém rezonátoru
- 16.45** Čárové kódy atomů a molekul

Břehová, pátek: Aula 103 (sekce)

Předsedající: Katarína Horská

- 09.00** Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace (nejen) ve fyzice
- 09.15** Bayesův vzorec: jak nová data mění pravděpodobnost jevu
- 09.30** Měření radiálního profilu iontového nasyceného proudu na tokamaku GOLEM
- 09.45** Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1
- 10.00** Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy
- 10.15** Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti

Břehová, pátek: Aula 115 (sekce)

Předsedající: Barbora Dolenská

- 09.00** Základy diagnostiky vysokoteplotního plazmatu na tokamaku GOLEM
- 09.15** Interpretace dat z pozorování tranzitu exoplanety
- 09.30** Rostou racionální čísla na stromech?
- 09.45** Rozpoznávání gest pomocí NVIDIA Jetson Nano
- 10.00** Praktický úvod do umělé inteligence
- 10.15** Můžeme vytvořit antihmotu pomocí laseru?

Břehová, pátek: Aula 103 (plénium)

Předsedající: Lukáš Létal

- 11.00** Jak chladne vesmír
- 11.15** Produkce Z bosonu v simulovaných p+p srážkách
- 11.30** Logické hříčky jinak aneb jak řešit soustavy logických rovnic
- 11.45** Svět podivných jader
- 12.00** Ukončení TV@J
- 12.30** Rozchod

Měření pološířky turbulentních struktur na tokamaku GOLEM

Eliška Hostáková, Gymnázium prof. Jana Patočky, eli@hostak.cz
Matěj Blahník, Všeobecné gymnázium Vimperk, blahn24@oag.cz
Martin Zuzek, Gymnázium Dobruška, martin.zuzek@seznam.cz
Tobiáš Křištof, Gymnázium Cheb, tokrist@gymcheb.cz

20.6.2023

Abstrakt

V našem projektu jsme se na tokamaku GOLEM snažili co nejpodrobněji prozkoumat turbulenci v plazmatu. Jedná se o stále ne zcela popsáný jev, který je předmětem intenzivního vědeckého výzkumu. Turbulence jsou zcela přirozeným chováním přehřátého, ionizovaného plynu, tzv. plazmatu, uzavřeného v magnetickém poli. Vlivem turbulence se horké plazma z vnitřní vrstvy uvolní a snaží se dostat ven, čímž plazma přichází o energii. U větších reaktorů, které pracují při vyšších teplotách, mohou tyto turbulentní struktury (bloby) v krajním případě poškodit vnitřní stěnu komory tokamaku. Pochopení fyziky vzniku a chování blobu je zásadní pro úspěšné zvládnutí technologie termojaderné fúze v budoucích letech.

1 Úvod

Lidstvo se již mnoho desetiletí snaží najít vhodný zdroj energie. Avšak od spalování uhlí a ropy až po obnovitelné zdroje, zatím žádný způsob získávání energie nesplnil požadavky, které jsme si vytyčili. Buď je příliš nešetrný k životnímu prostředí nebo není dost účinný/rentabilní. Při lidském honu za energií jsme se dostali až k jádru atomu. To skrývá dostatek energie, ale je velmi složité ji z něj dostat.

První a jednodušší možnost je štěpení těžkých jader na jádra lehčí. Tento způsob je dnes běžně využíván ve štěpných elektrárnách a osvědčil se mnoha lety praxe. Bohužel i přes všechna pozitiva, která jsou se štěpením spjatá, má i několik negativ. Tím největším je nutnost použití vhodného jaderného paliva, ze kterého vzniká velké množství radioaktivního odpadu. Zároveň, nehledě všechna bezpečnostní opatření, stále existuje i hrozba jaderné nehody, podobné těm, ke kterým došlo například v Černobylu nebo Fukušimě.

Druhou možností, jak z atomového jádra dostat energii, je takzvaná jaderná fúze, neboli slučování více lehkých jader do jednoho těžšího, podobně jako je tomu ve hvězdách. K jaderné fúzi v pozemských podmínkách potřebujeme pouze dva izotopy vodíku, deuterium a tritium. Deuterium, neboli těžký vodík, je poměrně lehce dostupné a jeho zásoby jsou prakticky neomezené, jelikož se nachází například v mořské vodě. Tritium je radioaktivní izotop vodíku, který se zatím vyrábí především v CANDU reaktorech. V budoucnu by však měl být vyráběn přímo ve fúzních elektrárnách ostřelováním atomů lithia neutrony, které vznikají při fúzní reakci. Existují dva přístupy, jak fúzi zažehnout.

Inerciální udržení sází na malé palivové terčíky které jsou stlačeny sadou laserů. Dojde tak k malému jadernému výbuchu. Druhý přístup využívá elektřiny a magnetismu. Záměrem je dlouhodobé udržení plazmatu v uzavřené nádobě pomocí silných magnetických polí. Průkopníky této metody byli vědci ze SSSR, kteří jako první sestrojili koncept reaktoru toroidálního tvaru s plazmatem řízeným elektrickým i magnetickým polem: tokamak. V dnešní době jsou tokamaky žhavými adepty na využití jako budoucí fúzní reaktory. GOLEM, na kterém jsme měli tu čest pracovat my, je nejstarší dosud funkční tokamak na světě.

Bohužel je fúze stále ve fázi vývoje a s tím se objevují i nové komplikace, které musí být eliminovány dříve, než se technologie fúze použije v praxi. Přesto je fúze zřejmě tou nejslibnější možností pro budoucnost energetického průmyslu, a investice do jejího výzkumu jsou v zájmu celého lidstva.

2 Měření radiálního profilu iontového nasyceného proudu na tokamaku GOLEM

2.1 Teorie

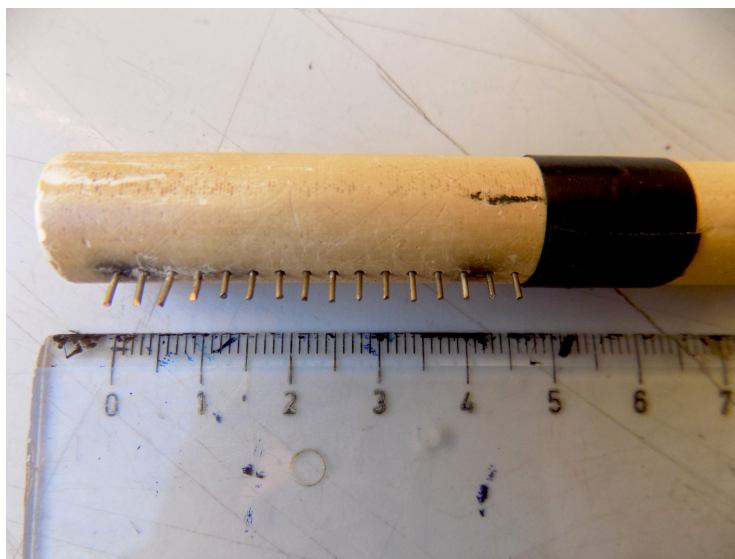
Turbulence v plazmatu jsme měřili na tokamaku GOLEM, pomocí hřebínkové sondy.

Turbulence je proces transportu plazmatu napříč siločarami magnetického pole, k němuž dochází vlivem různých vnitřních nestabilit v plazmatu. Jednou z hlavních příčin je takzvaná výměnná nestabilita. Plazma má blíže ke stěně reaktoru nižší hustotu než uprostřed komory a mezi těmito úrovněmi má tendenci se promíchávat. K tomu dochází za vzniku turbulentních struktur (blobů). Ty jsou následně vyvrženy ven z plazmatu. Tyto horké struktury s sebou nejen odnášejí velké množství energie, ale zároveň mají nepříznivý vliv na stěny komory tokamaku.

Hřebínková sonda je zařízení, které se skládá z 16 Langmuirových sond (postavením připomínají hřeben), z nichž je každá připojená k výstupu. Celá sonda je upevněna na manipulátoru, který ji do prostoru komory tokamaku vsouvá zespodu, čímž umožňuje měření v různých vrstvách plazmatu.

Langmuirova sonda je složená z jednoduchého vodiče, který je vsunut na okraj plazmatu, kde funguje jako elektroda. Může měřit ve dvou režimech: - plovoucí režim Vfl, kdy do sondy není pouštěno žádné napětí, - režim iontového nasyceného proudu, kdy je do sondy pouštěno záporné napětí ve velikosti -130 V. Záporně nabitá sonda pak odstiňuje elektrony a sbírá pouze ionty. Mezi režimy lze přepínat pomocí takzvané “stříbrné krabičky”. Ta buď pouze zaznamenává data ze sondy nebo v příslušném módu i pouští napětí do sondy.

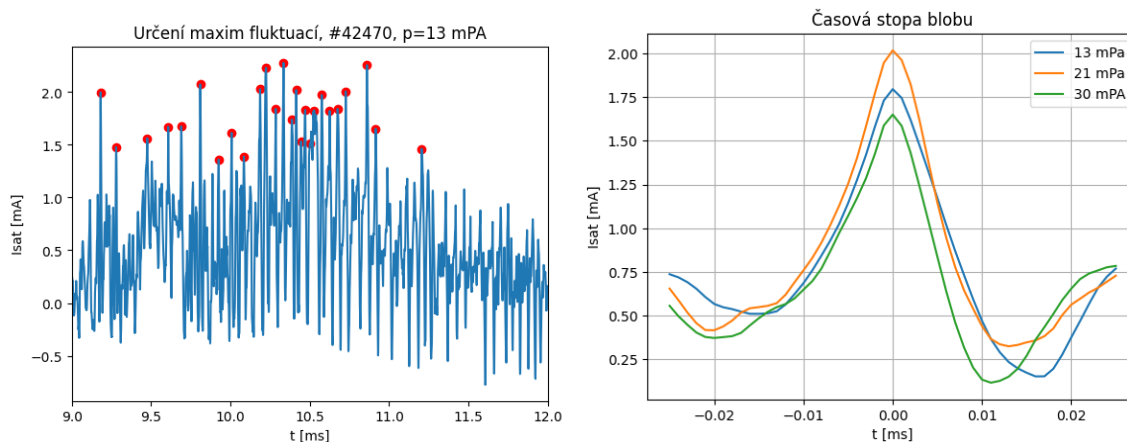
Pomocí hřebínkové sondy můžeme měřit turbulentní struktury (bloby), které přes sondu v průběhu výboje procházejí. Tyto bloby vidíme jako výrazné fluktuace v signálu zaznamenaného na sondě. Pomocí metody zvané podmíněný průměr jsme pak schopni spočítat takzvanou časovou stopu průměrného blobu. Jedná se vlastně pouze o průměr přes fluktuace signálu. Z takovéto časové stopy blobu jsme pak následně schopni určit typickou pološířku blobu, což je jedna ze základních charakteristik turbulentního transportu na tokamacích. Na základě toho můžeme výsledky srovnávat s jinými tokamaky, případně pak pomocí extrapolace určovat, jaké tyto délky budou na budoucích zařízeních (ITER, DEMO).



Obrázek 1: Fotografie hřebínkové sondy použité pro měření.

2.2 Výsledky

Provedli jsme tři měření při různém tlaku uvnitř komory tokamaku. Hodnoty tlaku byly: 13 mPa, 21 mPa, 30 mPa. Identifikovali jsme maxima v iontovém nasyceném proudu v časovém úseku 9-12 ms, kdy byly výboje nejstabilnější. Určili jsme polohy maxim fluktuací v analyzovaném signálu, příklad pro výboj s tlakem 13 mPa je na obrázku 2. Vytvořili jsme průměrný průběh fluktuace blobů pro každý výboj. Určili jsme maximální hodnotu iontového nasyceného proudu pro typický blob a jeho pološířku. Maximum a pološířka pro tlak 13 mPa je 1,80 mA a 15,7 μ s, pro 21 mPa je 2,02 mA a 15,5 μ s, pro 30 mPa je 1,65 mA a 13,5 μ s.



Obrázek 2: Vlevo) Nalezení maxim měřeného signálu nasyceného proud. Vpravo) Časové stopy blobů pro tři různé hustoty plazmatu.

2.3 Diskuze

Očekávali jsme, že se zvyšujícím se tlakem se bude zvyšovat amplituda iontového nasyceného proudu. Pro první dvě měření jsme tuto skutečnost pozorovali, ale při posledním zvýšení tlaku amplituda klesla. To přisuzujeme naražení na hustotní limit, který způsobil degradaci výboje.

U pološířek jsme očekávali podobný vývoj, a sice že se při zvyšujícím se tlaku bude pološířka zvětšovat — se zvyšující se hustotou se struktury budou pohybovat pomaleji. Při prvních dvou měřeních se zvětšovala podle očekávání, při třetím měření se ale zmenšila. Opět to přisuzujeme naražení na hustotní limit. Hodnoty pološířek jsme porovnali s hodnotami z tokamaku COMPASS, kde typicky nabývaly pološířky $5\ \mu\text{s}$. Jsou faktorem 3 menší, což pravděpodobně souvisí s vyšší rychlostí struktur.

Aby se naše závěry daly ověřit, bylo by třeba provést sérii dalších měření a data z nich zpracovat, ale to by bylo časově velmi náročné.

3 Shrnutí

Pro tři hustoty nasyceného iontového proudu jsme měřili pološířky turbulentních struktur na tokamaku GOLEM. Očekávali jsme, že se bude zvětšovat, což se při prvních dvou měření potvrdilo, ale při třetím se zmenšila, pravděpodobně kvůli degradaci výboje zapříčiněného naražením na hustotní limit. Pro potvrzení závěrů je nutné udělat sérii dalších měření, to by ale bylo časově náročné.

Poděkování

Děkujeme FJFI za umožnění výzkumu na tokamaku GOLEM. Zvláštní poděkování patří panu Ing. Vojtěchu Svobodovi za velkou pomoc s ovládáním zmíněného tokamaku a dále vedoucímu našeho miniprojektu panu Ing. Petru Máchovi. Vřelé poděkování také patří panu dr. Janu Stöckelovi za zřízení tokamaku GOLEM jakožto vzdělávacího zařízení pro studenty na FJFI.

Reference

- [1] Ing. Vojtěch Svoboda: *Tokamak GOLEM*, Dostupné z:
[http : //golem.fjfi.cvut.cz/wiki/Education/Presentations/VoSv/present.pdf](http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/Education/Presentations/VoSv/present.pdf)
- [2] Ing. Petr Mácha. *Sondová měření na tokamaku GOLEM*
- [3] Převzato z: *Rake probe*, [20.6.2023], Dostupné z:
[http : //golem.fjfi.cvut.cz/wiki/Diagnostics/ParticleFlux/RakeProbe/indexrake-probe-geometry](http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/Diagnostics/ParticleFlux/RakeProbe/indexrake-probe-geometry)

Základy diagnostiky vysokoteplotního plasmatu na tokamaku GOLEM

M. Horáková, J. Skalka, V. Sklenár, L. Šírová
Arcibiskupské gymnázium, Gymnázium Jírovceva 8,
Gymnázium Terézie Vansovej, Mensa gymnázium
marie.horakova06@gmail.com, skalkaj@jirovcovka.net,
sklenar.vladimir05@gmail.com, ludmila.sirova@email.cz

Abstrakt

V této práci se zabýváme základní diagnostikou plasmatu na tokamaku GOLEM. Za pomoci různých diagnostických zařízení jsme provedli měření, ze kterých jsme odvodili dobu udržení energie plasmatu. Tato doba je jedním z parametrů určujících kolik energie tokamak vyprodukuje. V dnešní době zatím žádný tokamak nevyprodukoval více energie než sám spotřeboval, změnit by to měl až plánovaný tokamak ITER.

1 Úvod

Lidská spotřeba energie se stále zvyšuje. Neobnovitelné zdroje, jak ostatně napovídá jejich název, nejsou nevyčerpatelné, obnovitelné zdroje zase neumožňují dostatečnou efektivitu k naplnění našich požadavků. Jedním z možných řešení by mohla být jaderná fúze, kdy se velké množství energie uvolňuje ze slučování jader lehkých prvků, v našem případě deuteria a tritia. Na podobném principu fungují termojaderné reakce v nitru hvězd. Aby fúze mohla proběhnout, je nutné nejprve překonat odpudivé elektromagnetické síly, čehož lze na Zemi dosáhnout výrazným urychlením částic, tzn. jejich zahřátím na vysokou teplotu.

2 Jak funguje tokamak?

Tokamak je zařízení, na kterém by mohla probíhat jaderná fúze v zemských podmínkách. Ve středu zařízení se nachází primární část transformátoru, kterou prochází střídavý proud. Vodivá plasma se chová jako sekundární část tohoto transformátoru - díky magnetickému poli z primární části transformátoru se v plynu indukuje proud. Průchodem elektrického proudu se plyn zahřívá až se z něj na krátkou dobu stane plasma. V této chvíli může probíhat termojaderná fúze.

Žádný materiál ale nevydrží dlouhodobé vystavení této extrémní teplotě. Je proto nutné zabránit kontaktu plasmatu a stěn komory. Díky indukovanému proudu v plasmatu vzniká poloidální magnetické pole, které působí okolo proudu plasmatu. Pomocí toroidálních cívek se vytváří toroidální magnetické pole ve směru proudu plasmatu. Kombinace těchto dvou magnetických polí nutí plasma levitovat uprostřed komory tokamaku.

3 Diagnostika

Měřené veličiny

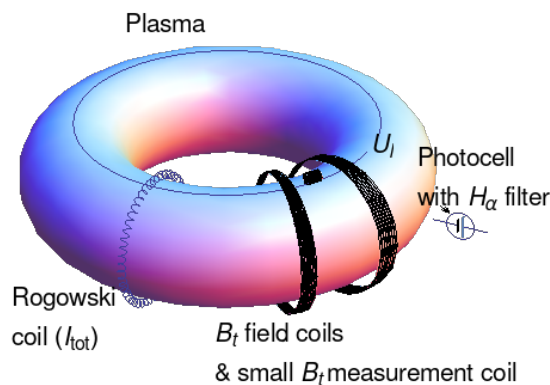
Napětí na závitu (U_l) představuje napětí k udržení plasmatu indukované transformátorem. Pro měření jsme použili jednozávitovou cívku položenou na horní části komory tokamaku. Její umístění tedy kopírovalo proud plasmatu. Výstup měření tedy není nutné nijak převádět, naměřené hodnoty jsou přímo hodnotami napětí.

Proud procházející plasmatem (I_p) jsme změřili pomocí Rogowského pásky (ve své podstatě cívky dlouhé okolo 1 m), která byla omotána kolem komory a procházela středním otvorem. Páska ale měří pouze napětí vyvolané změnou proudu. K získání aktuální hodnoty proudu je třeba sečíst všechny předcházející změny (předpokládáme počáteční proud roven 0), což lze vyjádřit jako integraci. Po integrování dat získáme celkový proud I_{tot} kovové komory i plasmatu dohromady. Potřebuji tedy odečíst proud procházející komorou, který podle Ohmova zákona závisí na napětí a odporu komory - U známe a R_{kom} můžeme snadno změřit pokud v tokamaku provedeme měření bez výboje.

$$I_p = I_{tot} - \frac{U_l}{R_{kom}} \quad (1)$$

Intenzita toroidálního magnetického pole (B_t) je pole udržující plasma uprostřed komory, aby nepoškodilo stěny komory. Na detekci změn jsme použili kleště s cívkou, které byly uchyceny mezi boční cívky tokamaku. Cívka opět změřila jen změny magnetického pole, nikoliv hodnotu magnetického pole samotného. K získání hodnoty magnetického pole je stejně jako u měření proudu potřeba získaná data vyintegrovat.

Identifikace plasmatu ($U_{photodiode}$) je měření, ze kterého zjistíme, v jakém čase se plasma v komoře vyskytovalo z intenzity jeho záření. Pro měření jsme použili fotodiodu, která snímala světelný záblesk a převedla jej na elektrické napětí. Fotodioda byla vybavena filtrem zachycujícím pouze část světelného spektra (čáru $H\alpha$), ve které vyzařuje použitý plyn - vodík.



Obrázek 1: Schéma umístění měřicích zařízení, převzato z [1].

Výpočet doby udržení

Doba udržení vyjadřuje čas, po který udržíme v tokamaku vysokou teplotu (nikoliv dobu existence plasmatu, kterou lze snadno odečíst z fotodiody). Z obecného vzorce pro výkon můžeme vyjádřit čas udržení τ jako poměr energie plasmatu E a výkonu ztrát P_z

$$P = \frac{E}{\tau} \Rightarrow \tau = \frac{E}{P_z}. \quad (2)$$

Plasma se z energetického hlediska chová jako plyn, proto

$$E = pV. \quad (3)$$

Známe objem tokamamu $V = 80$ l. Odhadneme energii jako

$$E \approx \frac{1}{3} en_e TV. \quad (4)$$

kde $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C je konstanta elementárního náboje, n_e je elektronová hustota plasmatu, kterou můžeme změřit pomocí zabudovaného interferometru a T je teplota plasmatu. Teplota je přímo úměrná odporu tokamaku, který odhadneme jako

$$T \approx 0,9 \left(\frac{U_l}{I_p} \right)^{-\frac{2}{3}}. \quad (5)$$

Pokud je plasma v rovnovážném stavu (tzn. teplota se ani nezvyšuje ani nesnižuje) znamená to, že dodáváme stejně energie jako se ztrácí. Plasma se v tomto případě chová jako elektrický obvod. Proto je výkon ohřevu P_o roven výkonu ztrát

$$P_z = P_o = U_l I_p. \quad (6)$$

Nakonec tedy můžeme vypočítat τ jako

$$\tau = \frac{en_e TV}{3U_l I_p} = \frac{0,3en_e V}{U_l^{5/3} I_p^{1/3}}. \quad (7)$$

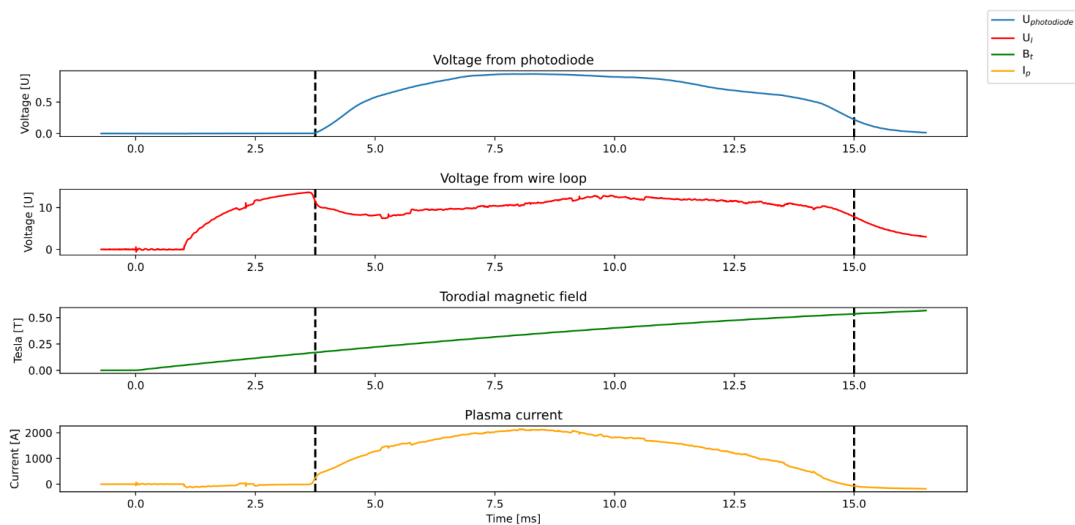
Odpor komory

Odpor komory jsme vypočetli z hodnot U_l a I_{tot} během vakuového výstřelu číslo #42477 (v komoře tedy nebylo žádné plasma). Zjistili jsme $R_{kom} = 0,0097 \Omega = 9,7$ m Ω . Hodnotu odporu komory pak použijeme ke spočtení proudu na komoře, který potřebujeme oddělit od proudu v plasmatu.

4 Naměřené hodnoty

Pro dosazení do vzorce (7) použijeme aritmetický průměr hodnot proudu a napětí během existence plasmatu. Stejně tak zprůměrujeme i elektronovou hustotu získanou z interferometru.

výstřel	U_l	I_p	n_e	τ
#42474	9,875 V	1868,315 A	$4,054 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$	27,843 μs
#42478	10,62 V	1413,093 A	$4,356 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$	29,094 μs



Obrázek 2: Naměřená data ve výboji #42478.

5 Diskuze měření

Výstřely se lišily mj. v hodnotách proudu a napětí v plasmatu i v elektronové hustotě. Tyto veličiny závisí mj. na tlaku plynu v komoře tokamaku. V prvním výstřelu byl tlak plynu a tedy i všechny zmíněné veličiny vyšší, proto je nižší i doba udržení. Rozdíl ve vstupních hodnotách ale není moc velký, proto se výrazně neliší ani doba udržení.

6 Závěr

Změřili jsme základní charakteristiky vysokoteplotního plasmatu v tokamaku GOLEM. Konkrétně jsme určovali napětí na závitě, proud procházející plasmatem, intenzitu toroidálního magnetického pole, přítomnost a intenzitu záření plasmatu. Z naměřených hodnot jsme vypočítali dobu udržení energie plasmatu. Tato doba vychází velmi krátká - to je důvod, proč tokamaky ještě nejsou používány jako elektrárny.

Poděkování

Chtěli bychom tímto poděkovat našemu garantovi panu Ing. Marku Tunklovi a panu Ing. Vojtěchu Svobodě, CSc.

Reference

- [1] GOLEM Wiki contributors. Magnetic confinement of high temperature plasma at the GOLEM tokamak.
<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/Education/GMinstructions/extracts/Universities/CTU.cz/PRA2/docum.pdf> , 2022.
- [2] Výklad Ing. Marka Tunkla a Ing. Vojtěcha Svobody, CSc.

Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti

L. Boušková*, D. Marešová**, T. Ninger***, E. Rojíková****

* České reálné gymnázium, s.r.o., Pražská 2532/54a 370 04 České Budějovice
lucie.bouskova13@post.cz

**Gymnázium Plzeň, Mikulášské nám.23
danielka.maresova@gmail.com

*** Gymnázium, Praha 6, Arabská 14
tom.nin88@gmail.com

****Všeobecné a sportovní gymnázium, Vimperk, Pivovarská 69
eliskarojikova9@gmail.com

Abstrakt

S radioaktivním zářením se setkáváme dnes a denně. Při vyšších intenzitách může být pro lidské zdraví velmi nebezpečné a škodlivé, proto je jeho měření a případné stínění velmi důležité.

Cílem našeho miniprojektu bylo zhodnotit stínění dvou druhů radioaktivního záření, a to záření alfa a gama.

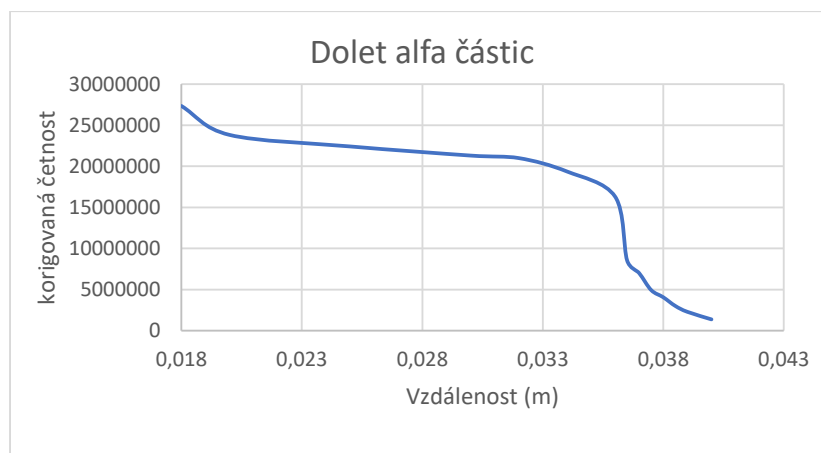
Úvod

Radioaktivní záření je děj, kdy dochází k rozpadu jádra atomu určitého prvku a zároveň emitaci nemalého množství energie. Proud částic nesoucích tuhle energii nazýváme zářením, které rozdělujeme na alfa, beta, gama a neutronové záření.

Alfa zářením myslíme proud jader helia, beta záření představuje proud elektronů nebo pozitronů a gama proud fotonů (spektrum elektromagnetického záření).

1. Dolet alfa částic

Pro tento výzkum jsme využili polovodičový detektor v posuvném zařízení, zářič alfa částic – ^{241}Am , multikanálový analyzátor PHYWE připojený k notebooku s programem Measure. Měření jsme začínali na vzdálenosti 18 mm od zdroje záření. Postupně jsme vzdálenost prodlužovali, až po 40 mm.



Z grafu vidíme přibližný dolet alfa částic 3,5 cm. Z toho vyplývá, že taková vrstva vzduchu je dostatečným stíněním alfa záření.

2. Odstínění gama záření

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jaký je nejlepší kov pro odstínění záření gama. Porovnávali jsme mezi sebou hliník, olovo a železo.

Při měření jsme použili detektor, zdroj vysokého napětí, zesilovač, oddělovač signálu a multikanálový analyzátor DA310. Zdrojem gama záření bylo ^{137}Cs . Jako stínění jsme použili hliníkové, železné a olověné destičky různých tloušťek (od 0,5 mm do 3 mm).

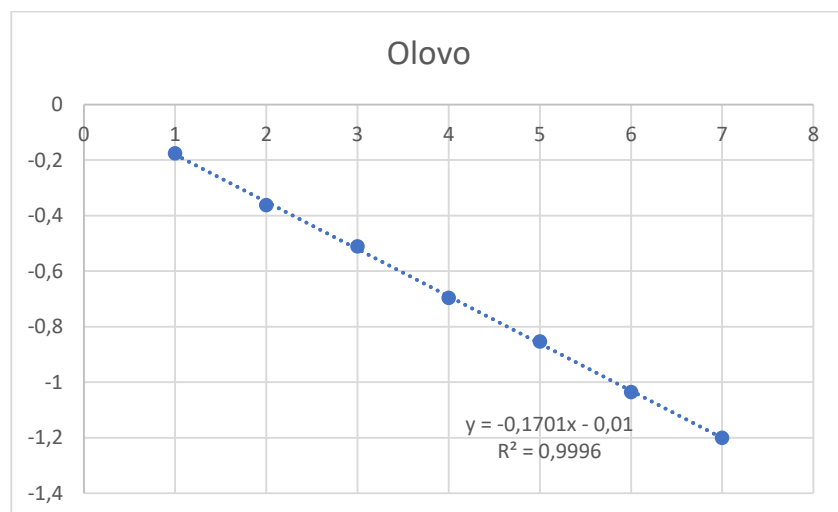
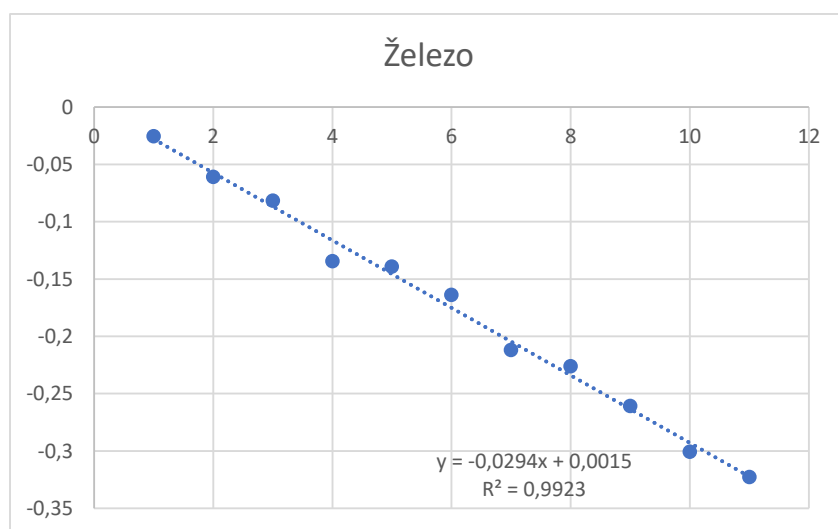
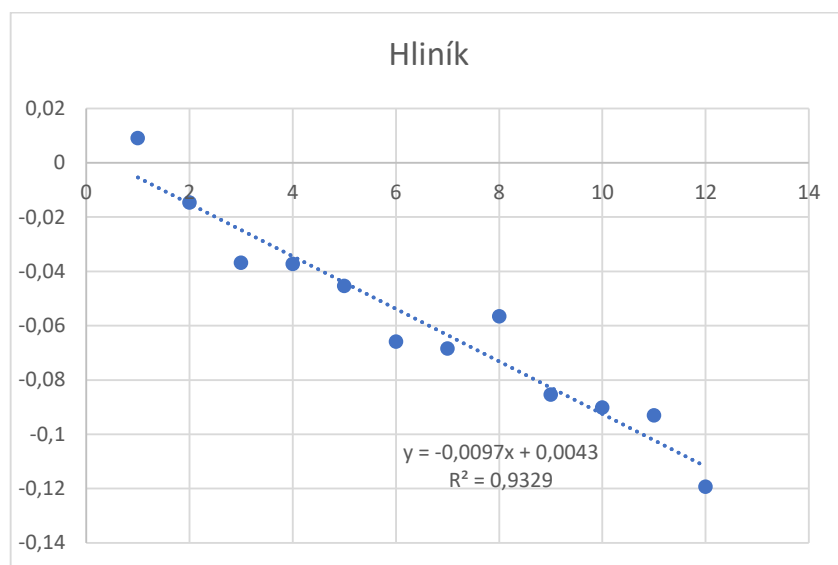
Díky přístroji DA310 jsme naměřili závislost $\ln \frac{I}{I_0}$ na tloušťce destiček všech tří materiálů. Při prvním měření jsme nepoužili žádné stínění (intenzita I_0), při dalších měřeních byla tloušťka materiálu postupně zvětšována přidáváním destiček. Aritmetickým průměrem okamžitých intenzit jsme získali intenzitu výslednou.

Z grafů (viz níže) lze vyčíslit závislost $\ln \frac{I}{I_0}$ na tloušťce x v milimetrech pro každý materiál.

Lineární součinitel zeslabení (μ – mý) – směrnice bodu v tom grafu \rightarrow udává absorpční schopnost vůči záření. Čím větší je, tím lépe látka pohlcuje záření.

V tabulce máme námi naměřené hodnoty lineárního součinitele zeslabení μ .

MATERIÁL	μ NAMĚŘENÉ [mm^{-1}]
Al	0,0097
Fe	0,0294
Pb	0,1701



Závěr a diskuse

Experimentálně jsme zjistili dolet α částic a stínící schopnosti vybraných materiálů.

Určili jsme, že intenzita alfa částic z izotopu ^{241}Am ve vzduchu je po 40 mm téměř zanedbatelná.

V rámci druhého pokusu byly otestovány stínící vlastnosti destiček olova, železa a hliníku.

Z experimentu vyplynulo, že nejlepší odstínění proti gama záření nám poskytuje olovo, o něco méně účinné je železo a nejmenší schopnost odstínit toto záření z námi testovaných kovů má hliník.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat panu Ing. Miloši Tichému CSc., vedoucímu našeho miniprojektu, který s námi měl tu trpělivost a odvahu zkoumat radioaktivní záření.

Také bychom chtěli poděkovat panu Ing. Vojtěchu Svobodovi CSc. a celému organizačnímu týmu Týdne vědy.

Nemalé díky také patří učitelům a učitelkám z našich středních škol, kteří nás v tomto vědeckém směru vedou a podporují.

Zdroje

Literatura

[1] Miloš Tichý (2023) *Návod k laboratornímu cvičení*

[2] Martin Bureš (2022) *Stanovování pracovního bodu (napětí) G-M detektoru a jeho využití pro měření zeslabení záření některými materiálu.*

[3] *Radioaktivní záření, jeho druhy, detekce a základní vlastnosti* [online]. Břehová 7,115 19, Praha 1, 2017 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://tydenvedy.fjfi.cvut.cz/2017/cd/sbpdf/radzareni.pdf>. Projekt. Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT.

Postavte si laserový zaměřovač

Matyáš Bartaloš¹, Jiří Bierski², Jan Mašek³, Sebastián Olšovský⁴

¹Křesťanské gymnázium, *matyas.bartalos@gmail.com*

²Biskupské gymnázium v Ostravě, *jirkabierski@gmail.com*

³Gymnázium Jateční, *masek.j@gymjat.cz*

⁴Gymnázium Terézie Vansovej, *uhatade@gmail.com*

20. 6. 2023

Abstrakt

Cílem experimentu bylo sestavit laser s aktivním prostředím Er:Sklo a změřit jeho výstupní vlastnosti - emisní výkon, vlnovou délku, délku impulsu a profil svazku. Také byla ověřena bezpečnost laseru pro lidské oko.

1 Úvod

V dnešní době, lasery mají poměrně široké využití, či už je to v ukazovátkách, radarech na měření rychlosti nebo CD, DVD ba dokonce aj na léčení pacientů. Tak též nám lasery dokážou pomoci při detekci plynů v atmosféře, na sledování porostů v lesích které jsou pro nás nedostupné a v neposledním řadě, lasery jsou široce využívány v armádě, při označování, sledování a rozpoznání nepřátelských cílů. V roce 1960 Theodor H. Maiman konstruoval první funkční jednodíkový laser, kde jako aktivní místo použil krystál rubínu. Jeho objev pomohl lidstvu zas a znova posunout se vpřed.

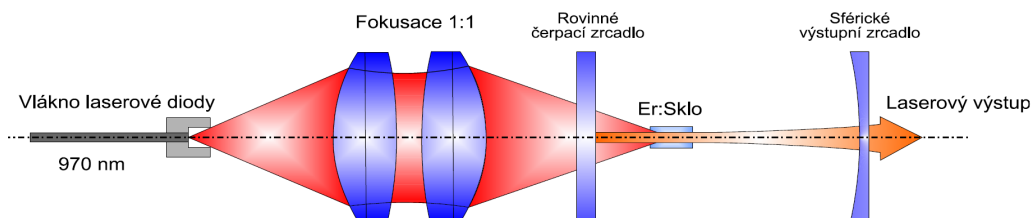
2 Postup měření, použité měřicí přístroje a experimentální uspořádání

2.1 Použité měřicí přístroje

Cílem našeho experimentu bylo sestavit oku bezpečný "Er:sklo laser a prověřit jeho výstupní charakteristiky. Čerpání aktivního prostředí zajišťovala laserová dioda LIMO970 se zdrojem LDC 1000. Dioda generovala záření v pulzní režimu o vlnové délce 966 nm s délkou pulsu 4 ms a opakovací frekvencí 10 Hz. Maximální výstupní výkon diody byl 705 mW. K nastavení optických prvků rezonátoru jsme využili odrazu červeného (633 nm) He-Ne laseru na clonku. Časový průběh čerpacího a generovaného záření byl měřen pomocí fotodiody PIN FGA10 a snímán na osciloskopu Siglent SDS1202X-E. Spektrum čerpacího záření bylo snímáno a přivedeno optickým vláknem do spektrometru StellarNet BlueWave (spektrální rozsah 200-1150 nm). Spektrum generovaného záření pak bylo stejným způsobem dovedeno do spektrometru StellarNet RedWave (1000-1700 nm). Prostorová struktura generovaného svazku byla zaznamenána pomocí pyrokamery PYROCAM IV (1-3000 μm).

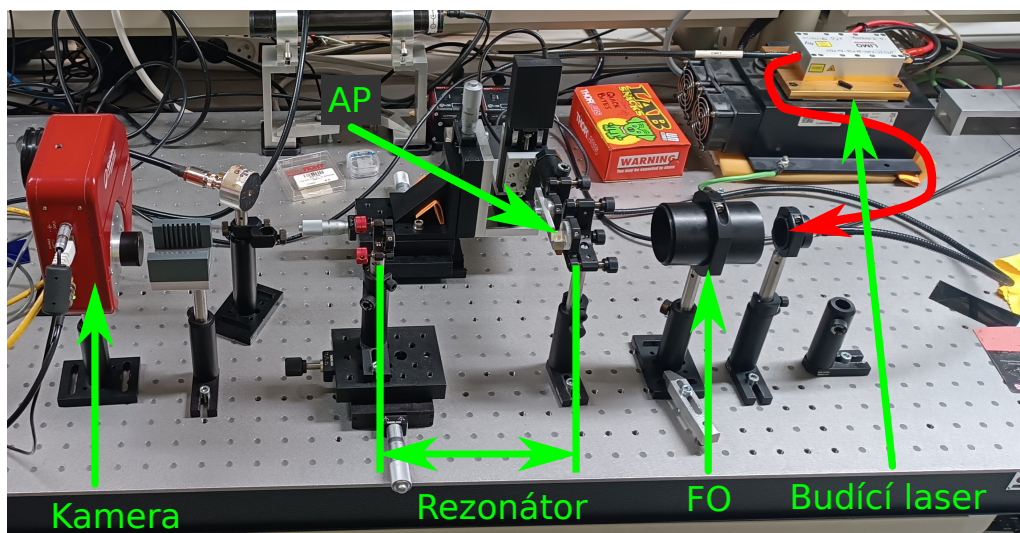
2.2 Parametry laserového rezonátoru a experimentální schéma

Aktivní prostředí bylo tvořeno erbiovými ionty Er^{3+} dopovaným sklem (válec o průměru 5 mm a délce 2,5 mm). Optický rezonátor byl tvořen dvojicí zrcadel – rovinné zrcadlo totálně odrazné ve spektrální oblasti generované vlnové délky 1.5–1.6 μm a kulové konkávní výstupní zrcadlo s transmitancí $T \approx 3\%$ (poloměr křivosti $r = -150\text{ mm}$). Zjednodušené schéma čerpání aktivního prostředí pomocí fokusační optiky je zobrazeno na Obr. 1.



Obrázek 1: Zjednodušené schéma experimentální sestavy. [1]

Fotografie sestaveného experimentálního uspořádání je uvedena na Obr. 2.

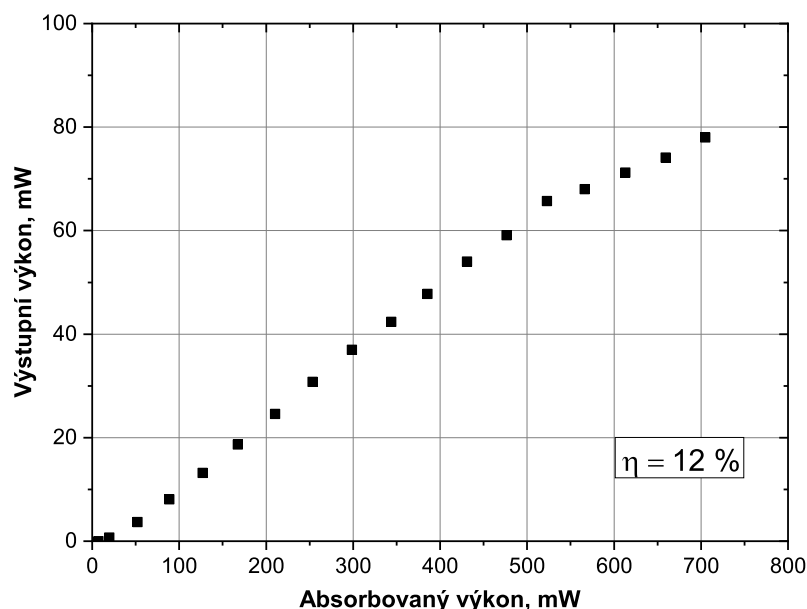


Obrázek 2: Fotografie experimentálního uspořádání. FO – fokusační optika, AP – aktivní prostředí. Červená šipka znázorňuje navedení záření budícího laseru optickým vláknem do fokusační optiky.

3 Naměřené výsledky a diskuze

3.1 Měření výstupního výkonu a účinnosti Er:sklo laseru

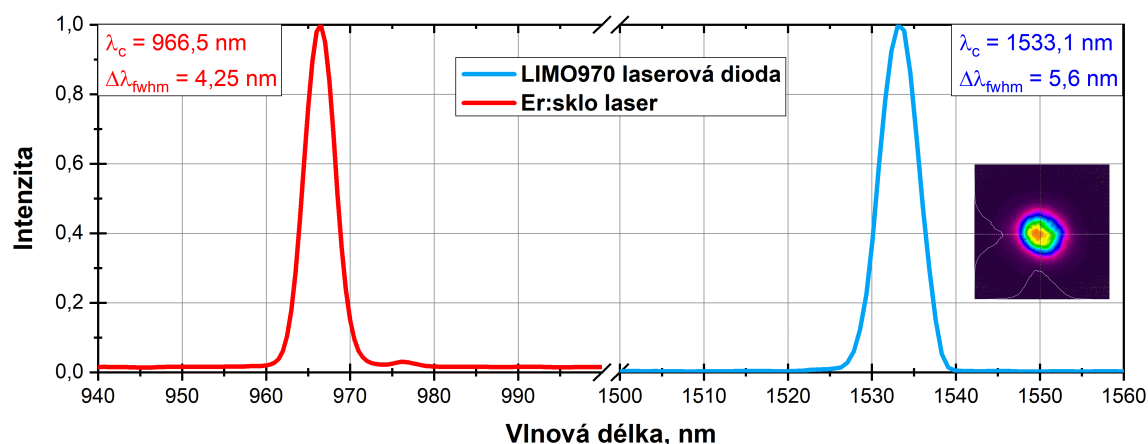
Nejprve jsme měřili výstupní výkon Er:sklo laseru, přičemž maximální naměřený výkon byl 78 mW. Následně jsme změřili výkon čerpacího laseru za vstupním zrcadlem a poté výkon čerpacího záření prošlého krystalem. Z toho jsme dopočítali výkon absorbovaný v aktivním prostředí. Závislost budícího výkonu na vypočítaném absorbovaném výstupním výkonu znázorňuje Obr. 3. Z tohoto grafu vyplývá účinnost Er:sklo laseru $\eta = 12\%$.



Obrázek 3: Graf závislosti výstupního výkonu Er:sklo laseru na výkonu absorbovaném v krystalu. Účinnost laseru: $\eta = 12\%$.

3.2 Měření spekter čerpacího a generovaného záření Er:sklo laseru

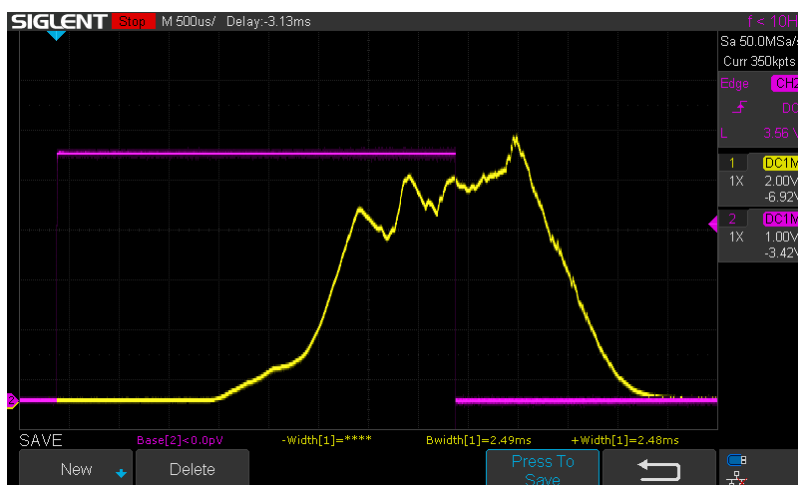
Pomocí vláknového spektrometru jsme změřili spektrum čerpacího a generovaného záření Er:sklo laseru. U čerpacího laseru jsme naměřili centrální vlnovou délku $\lambda_c = 966,5$ nm a u Er:sklo laseru $\lambda_c = 1533,1$ nm. Spektrální šířka na polovině maxima byla $\Delta\lambda_{fwhm} = 4,25$ nm u vstupního záření a $\Delta\lambda_{fwhm} = 5,6$ nm u generovaného záření. Dále jsme pyrokamerou zaznamenali prostorovou strukturu generovaného laserového svazku, která je společně se spektry na Obr. 4.



Obrázek 4: Spektrum čerpacího záření laserové diody LIMO970 (červeně) a generovaného laserového záření Er:sklo laseru (modře) s prostorovou strukturou generovaného svazku.

3.3 Časový průběh generovaného laserového záření

Fotodiodou a osciloskopem jsme měřili časový průběh generovaného záření. Záření bylo generováno se zpožděním 2,7 ms po náběžné hraně proudu budící diodou a délka pulzu generovaného záření naměřená na polovině maximální intenzity byla $\sim 2,4$ ms. Oscilogram průběhu Er:sklo laserového záření je uvedeno na Obr. 5.



Obrázek 5: Časový průběh generovaného laserové záření (žlutě) a proudu budící laserovou diodou (fialově).

4 Diskuze a závěr

Posledným meraním, ktoré sme uskutočnili, bolo pozorovanie veľkosti energie laseru po preniknutí cez kyvety z vodou v rôznej hrúbke. Prvým, ktoré sme odmerali, bola 5 mm kyveta, zistili sme, že celková energia laseru, ktorá prenikne cez vodné prostredie, klesne z 27 mW na 0,4 mW čo je približne 1%. Keďže, už pri kyvete s 5 mm je energia žiarenia o 99% nižšia ako pôvodná. Vďaka tomuto zisteniu môžeme tvrdiť, že ľudské oko, ktoré je tvorené z 80% vody a má priemer približne 24 mm, by nemalo byť poškodené týmto laserom. Avšak pri dlhodobom ožiarení oka môžu nastať trvalé očné problémy (na rohovke a šošovke).

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce 2023 za možnost tvorby vlastního článku, za prostředky pro jeho vytvoření a také Adamu Říhovi za vedení miniprojektu a možnost vyzkoušet si práci v laserové laboratoři.

Literatura

- [1] R. Švejkar, *Návod k miniprojektu č. 5 – Postavte si laserový zaměřovač*, [online, cit. 2023-20-06], odkaz: https://richardsvejkar.cz/assets/tyden_vedy_2023_navod.pdf.

3D Tisk a pevnost

K. Hanušová, B. Prchliková, K. Horská, P. Jonák
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze
bohdanka.prchlikova@seznam.cz

Abstrakt

Práce se zabývá měřením pevnosti dvou polymerních materiálů PLA, PETG, které jsou hojně využívány jako filamenty pro 3D tisk. Cílem bylo měření meze pevnosti obou materiálů, porovnání jejich vlastností a zvážení vhodnosti různých využití. Výsledné hodnoty byly porovnány s údaji v technickém listu výrobce. Tohoto jsme dosáhli vymodelováním zkušebního tělesa, jeho následným tiskem z obou výše uvedených materiálů a takto vzniklá tělesa jsme podrobili tahové zkoušce.

1 Úvod

3D tisk se v dnešní době stává jedním z rozšířenějších způsobů nejen na výrobu součástek v průmyslu ale i různých předmětů používaných v běžném životě. Při domácím tisknutí se však většinou nevyužívá kovového tisku, ale spíše jednoduššího a levnějšího filamentového tisku. Nejoblíbenějšími materiály pro tento tisk jsou takzvané PLA a PETG. Ty vzhledem ke své nízké ceně nabízejí velmi dobré mechanické vlastnosti, jako třeba dostatečnou pevnost i houževnatost. Naším cílem bylo ověřit údaje o pevnosti těchto dvou materiálů, které udává jejich výrobce.

2 Materiály na 3D tisk

3D tiskárna, kterou jsme měli k dispozici, Original Prusa i3 MK3S+, je tiskárna filamentová, tedy taví plastové struny a nahřátý plast vrství na sebe, čímž tvoří trojrozměrné těleso. Běžně se setkáváme s filamenty ABS, ASA, FLEX, PLA, PETG, pro naše účely byly optimální PLA a PETG.

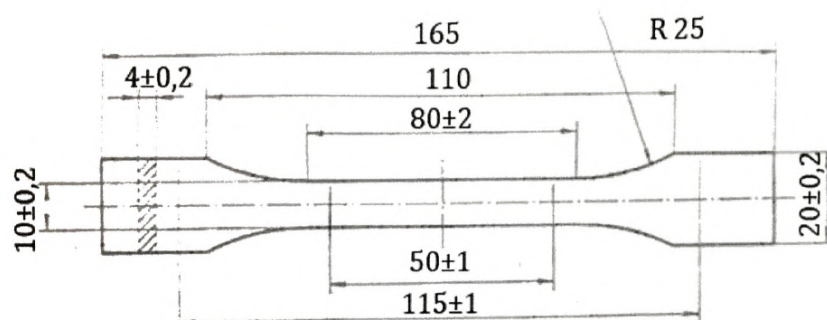
PETG (polyethylentereftalát – glykol) je PET vlákno obohacené glykolem, který mu propůjčuje pevnost, teplotní odolnost a houževnatost. Je vhodný pro tisk větších objektů a poměrně cenově dostupný, proto je hojně používán mezi začátečníky i v technické praxi.

PLA (polymléčná kyselina) je vyrobený z rostlinných škrobů, a je tedy biologicky odbouratelný. Velmi často se využívá mezi začátečníky pro tištění detailních medelů, či jiných plastových součástek (velkých i malých vzhledem k malé četnosti poškození při tisku), které nevyžadují velkou mechanickou, chemickou či teplotní odolnost.

3 Experimentální uspořádání

Pro měření pevnosti jsme využili zkušební stroj Inspekt 100 kN od firmy Hegewald&Peschke. Do toho jsme vkládali zkušební tělesa dle normy pro tahovou zkoušku pro polymery ISO

527-2 (viz obrázek 1). Zkušební tělesa jsme upli do zkušebního stroje, který je natahoval s postupně zvětšující se silou, dokud nedošlo k významné deformaci. Poté se síla snížila, ale stroj tahal těleso dále do jeho následného přetržení. Přetrhaná zkušební tělesa můžeme vidět na obrázku 2.

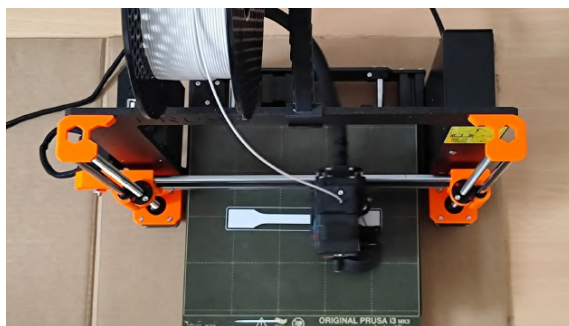


Obrázek 1: Geometrie zkušebního tělesa podle normy ISO 527-2



Obrázek 2: 13 zkušebních těles, 7 PLA, 6 PETG po tahové zkoušce

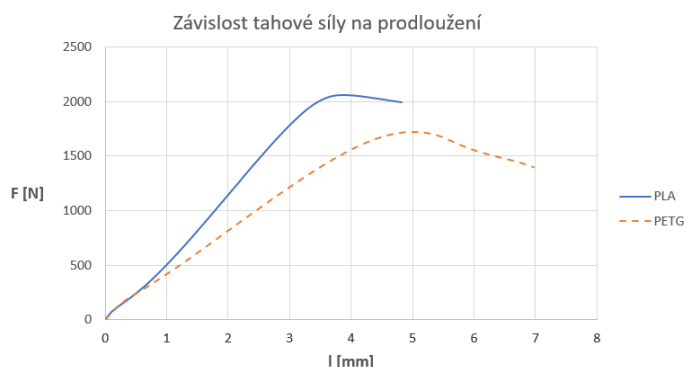
Zkušební tělesa jsme si sami vymodelovali v programu Fusion 360 a nechali jsme si je vytisknout na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+. Tiskli jsme s výplní 100 % do horizontální polohy dle defaultních parametrů. Na Obr. 3 můžete vidět fotku z průběhu tisku zkušebního tělesa.



Obrázek 3: Tisk zkušebního tělesa z PETG

4 Výsledky a diskuze

Při tahové zkoušce jsme zjistili, jakou silou musíme na zkušební tělesa působit, aby došlo k překročení meze pružnosti a trvalé deformaci. Toto je patrné z grafu 4 znázorňujícím tahovou křivku.



Obrázek 4: Typické závislosti hodnot tahové síly na prodloužení pro PETG a PLA

Z počátku vidíme, že síla je přímo úměrná prodloužení, poté překračuje mez úměrnosti, následuje plastická deformace až do meze pevnosti, kde pozorujeme zlom na křivce. Poté se síla potřebná pro deformaci zmenšuje, neboť se v materiálu začíná tvořit krček a poté dojde k lomu (v tomto bodě síla klesla na nulu).

Z naměřených hodnot tahové síly a rozměrů průřezu (4×10 mm) jsme dopočítali mez pevnosti, tedy napětí, odpovídající maximální síle, ze vztahu:

$$R_m = \frac{F_{max}}{S}$$

Zprůměrované výsledky pro PETG a PLA porovnané s výchozími hodnotami z technického listu výrobce jsou uvedeny v tabulce 5.

Lom u PLA je rovný a kolmý k ose zkušebního tělesa, zatímco u PETG je lom členitý. To koresponduje s větší křehkostí PLA. PETG má delší křivku, proto říkáme, že je tažnější.

	Fmax [N]	Rm [MPa]	tloušťka tělesa h [mm]	šířka tělesa d [mm]	obsah průřezu S [mm²]
hodnota v technické tabulce PETG [2]	1840	46±1	4,00	10,0	40,0
průměr naměřených hodnot PETG	1678	43±1	3,99	9,8	39,2
hodnota v technické tabulce PLA [3]	2280	57±1	4,00	10,0	40,0
průměr naměřených hodnot PLA	2092	52±1	4,02	9,9	39,9

Obrázek 5: Naměřená maximální tahová síla, mez pevnosti (maximální napětí), rozměry a průřez zkušebního tělesa

5 Závěr

Mez pevnosti PETG je 52 ± 1 , což je o 7% menší hodnota oproti technickému listu výrobce, v případě PLA je mez pevnosti 43 ± 1 , tedy je menší o 8% oproti technickému listu výrobce. Tyto rozdíly mohou být dány skladováním filamentu, odlišnými podmínkami při tisku, případně chybou v měření.

Lze tedy potvrdit tvrzení, že filament PLA je pevnější, ale neschopný velkých deformací, zatímco PETG je méně pevný, ale má větší tažnost. Z našeho pozorování dále vyvozujeme, že PETG má větší předpoklady pro tisk objektů, od nichž je požadována vyšší mechanická odolnost, např. ozubená kolečka.

Poděkování

Tímto bychom rádi poděkovali doc. Ing. Aleši Maternovi, Ph.D. za odborné vedení práce, za poskytnutí materiálů, zázemí a především svých vědomostí. Dále děkujeme Ing. Ondřeji Kováříkovi, Ph.D. za asistenci při práci na odborném pracovišti a Ing. Jaroslavovi Čechovi, Ph.D. za umožnění prohlídky laboratoře měření tvrdosti a milé uvítání na fakultě. Děkujeme i organizátorům Týdne vědy na Jaderce za to, že nám dali možnost rozšířit si obzory v oblasti 3D tisku.

Reference

- [1] ČSN EN ISO 527-2. *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty*. Zlín: Institut pro testování a certifikaci, 2012.
- [2] Technický list Prusament PETG. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/file/370491/technicky-list.pdf>
- [3] Technický list Prusament PLA. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/file/370479/technicky-list.pdf>
- [4] M. LAZOVIĆ, Tatjana a Milan S. STOJANOVIĆ. Preparation of specimens for standard tensile testing of plastic materials for FDM 3D printing. *International Scientific Journal "Machines, Technologies, Materials"*. University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia, 2021, XV(5), 4. ISSN 1313-0226.
- [5] Fahrenholz, Helmut. "The 2012 version of ISO 527 plastics: determination of tensile properties." Zwick/Roell (2018).

Určení tloušťky zlaté vrstvy pomocí metody RBS

J. Buben, Gymnázium Jana Nerudy, jachym.buben@outlook.cz
K. Bednář, Střední průmyslová škola Třebíč, bednark.05@spst.eu
L. Bobková, Střední průmyslová škola Třebíč, bobkolal.06@spst.eu

Červen 2023

Abstract

Metoda RBS využívá měření odrazu urychlených částic od terčíku. Pomocí studia změn energie odražených částic určujeme materiál terčíku do hloubky několika μm . V naší práci určujeme tloušťku zlaté vrstvy napařené na křemíkovém substrátu.

1 Úvod

Jedná se o nezničující a vysoce citlivou metodu, která poskytuje kvantitativní a kvalitativní informace o elementárním složení materiálu. Metoda byla vyvinuta a poprvé použita v roce 1961 fyziky Albertem Overnérem a Gustavem Sigmundem a vychází z poznatků a objevů fyzika Ernesta Rutherforda, který ve svých experimentech se zpětným odrazem částic na tenkých fóliích objevil jádro atomu.

2 Princip metody RBS

Metoda Rutherfordova zpětného odrazu (RBS - Rutherford backscattering) spočívá v měření energie odražených částic od terčíku. V našem případě byl jako zdroj částic použit Van de Graaffův urychlovač, částicemi byly protony s (kinetickými) energiemi 1000, 500 a 250 keV.

2.1 Odraz a průchod

Změna energie je popisována tzv. *kinematickým faktorem* k jako $E' = kE$ a pro dokonale zpětný rozptyl platí:

$$k = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right)^2,$$

kde uvažujeme, že urychlená částice s energií E narazí do statické, těžší. E' je energie původně urychlené částice po odrazu, m_2 je její hmotnost a m_1 je hmotnost těžší částice.

Pravděpodobnost, s jakou se částice odrazí daným směrem určuje Rutherfordův rozptyl:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{CMS} = \left(\frac{Z_1 Z_2}{E_{CMS}} \right)^2 \left(\frac{e}{4} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta_{CMS}}{2}}$$

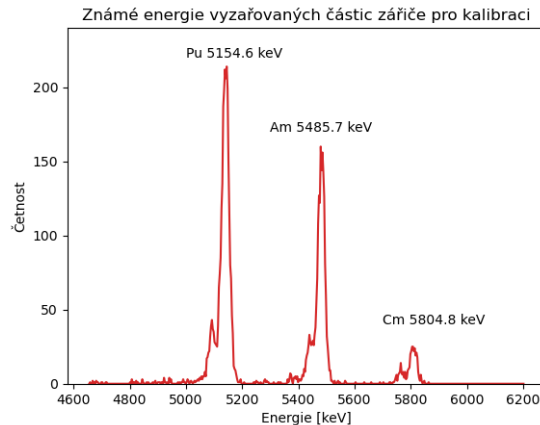


Figure 1: Kalibrační peaky se známými energiemi vyzařování

kde σ je účinný průřez, vztahený na prostorový úhel Ω , Z_1 a Z_2 jsou protonová čísla částic ve srážce, E_{CMS} je energie urychlené částice, e je elementární náboj a θ_{CMS} je úhel odrazu urychlené částice. Díky této rovnici zjistíme relativní četnosti odražených částic do různých úhlů.

Během průchodu látkou je částice zpomalována elektromagnetickými silami, kterými na ni působí nabitě částice v látce. Pokud tedy počítáme odraz od atomu ve vrstvě B nacházející se pod vrstvou A a chceme zjistit energii částice, kterou zachytí detektor, musíme spočítat:

1. ztrátu energie při průchodu vrstvou A k vrstvě B
2. ztrátu energie při odrazu od atomu vrstvy B
3. ztrátu energie při průchodu zpět vrstvou A směrem k detektoru

Ztráta energie při průchodu látkou se najde v tabulkách nebo se simuluje pomocí SW (například TRIM), obvykle se vyjadřuje v jednotkách $\frac{\text{MeV}}{\text{cm}^2\text{g}^{-1}}$.

2.2 Detektor

Pro měření energetických spekter a jejich četností jsme použili polovodičový detektor částic. V našem případě byla detektorem křemíková dioda zapojená v závěrném směru. Pokud detektorem proletí částice, dochází k ionizaci, která způsobí změnu napětí. Platí, že čím energetičtější částice byla, tím víc volných nosičů náboje vyrazila a tím byla naměřená odchylka napětí větší.

2.3 Kalibrace

Detektor je nutno vždy před novou sestavou experimentu zkalibrovat, to se dělá normovaným alfa-zářičem, který za každých okolností vyzařuje částice se stále stejnými energiemi. Při měření napěťových pulzů na detektoru, se tak objevují charakteristické peaky (Figure 1).

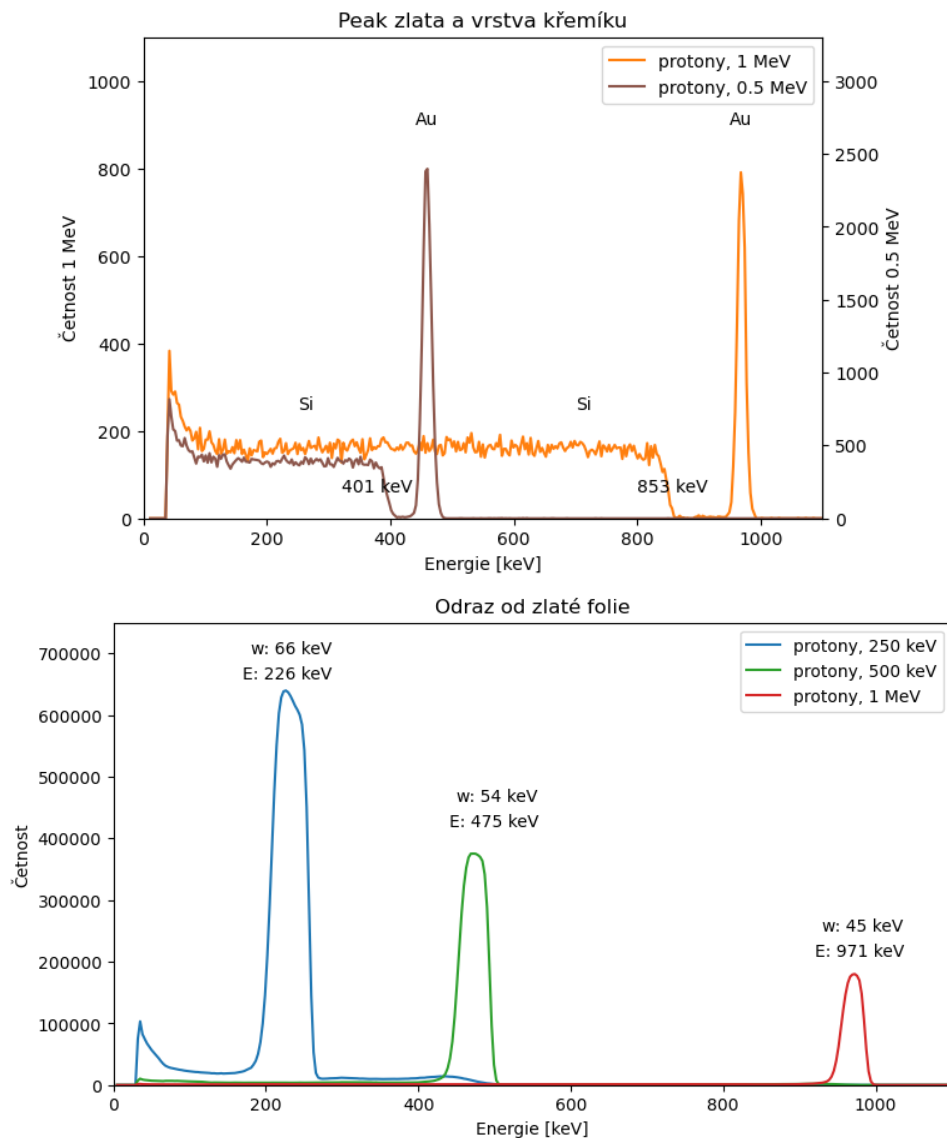


Figure 2: Četnost odrazů částic s danou energií, je vypočítána šířka a pozice jednotlivých peaků

3 Určení hloubky vrstvy

3.1 Vyvození z grafu

Výsledkem našeho měření jsou grafy, jež určují četnost odražených částic v závislosti na jejich energii. Naším cílem je však získat informaci o tloušťce a složení vrstvy vzorku.

Tyto informace jsme schopni vyčíst z grafu, a to sice tak, že za správné kalibrace detektoru odpovídají šířky jednotlivých peaků tloušťkám jednotlivých vrstev.

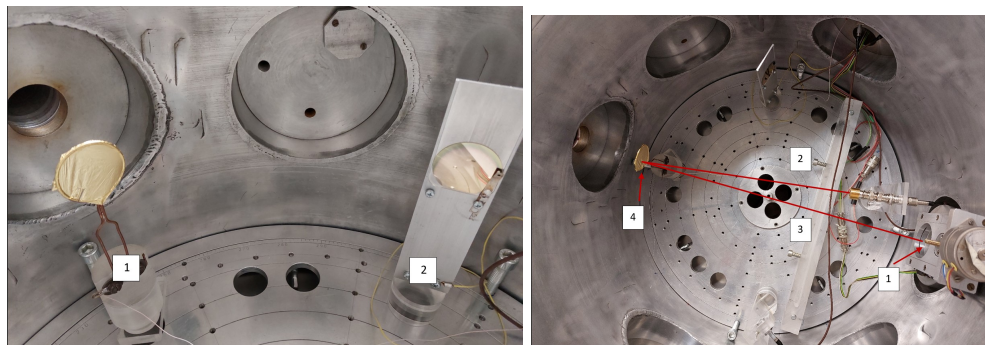


Figure 3: Použité vzorky (zlatá folie a zlato napařené na křemíku, vpravo poté znázorněný způsob měření odražených částic

3.2 Vzorky

Pro učení povrchového složení jsme si zvolili dva vzorky. Jedním byla zlatá (samonosná) fólie o tloušťce asi 135 nm a druhým byla zlatá vrstva (asi 50 nm) napařená na křemíkový substrát. Jelikož jsme při měření tloušťky zlaté vrstvy na křemíku použili detektor s nepřesností asi 30 keV, bylo možné šířku vrstvy určit pouze horním odhadem (peak měl totiž šířku právě okolo 30 keV), což nám vyšlo okolo 100 nm. Výpočty se nám ale podařilo potvrdit, že vrstva pod zlatem je křemík. U samotné zlaté folie nám šířka vrstvy vyšla 130 nm, výsledek je zde znovu pouze odhadem.

4 Výsledky

Odhadli jsme šířky vrstev napařené zlaté vrstvy na křemíku a samotné zlaté folie pomocí RBS metody, jednalo se však pouze o řádový odhad. Potvrdili jsme látky, ze kterých byl terčik složen.

5 Poděkování

Děkujeme pracovníkům Ústavu technické a experimentální fyziky při ČVUT v Praze, panu Rudolfovi Sýkorovi, Tomáši Slavíčkovi, Zdeněku Kohoutovi. Dále organizátorům TV@j Vojtěchu Svobodovi, Karlu Koláři.

6 Reference

[1] MAYER, M. Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS). Trieste, Německo, 2003. Workshop on Nuclear Data for Science and Technology.

Rutherford Backscattering of Thin Films. <https://chem.libretexts.org/> [online]. [cit. 2023-06-20].

Dostupné z: https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Physical_Methods_in_Chemistry_and_NanoScience

Počítačová grafika - pohled pod pokličku

*D. Rosenbergová, **L. Beránková, ***A. M. Široký ****M. Voňka

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT

*denca.rosenberg@seznam.cz; Gymnázium Boskovice

**berankovaa.lucie@gmail.com; SPŠSE České Budějovice

***adammaxim@seznam.cz; Gymnázium Altis s.r.o.

****vonka.mikulas@seznam.cz; Gymnázium Kladno

Abstrakt

Práce se zaměřuje na modelaci ulice v programu Blender.

1 Úvod

Počítačová grafika se využívá v mnoha vědních disciplínách k vizualizaci výsledků simulací. V našem projektu jsme se zaměřili na modelování scény v 3D prostoru a její následné zobrazení.

2 Blender

Pro realizaci projektu byla využita aplikace Blender. Je to bezplatný a volně přístupný software pro 3D tvorbu. Zahrnuje vše, co v 3D grafice potřebujete - modelování, render, animaci a další. Vytváření obrazu funguje na základě jednoduchých geometrických obrazců, se kterými můžete manipulovat a které můžete transformovat a upravovat podle svých potřeb.^[1]

3 3D modelace

Pracovali jsme v týmu na vytvoření scény, která má představovat ulici. Práci jsme si rozdělili na jednotlivé části, které jsme nakonec spojili v jeden obraz.

3.1 Panelový dům

Autor: Denisa Rosenbergová

Panelový dům se skládá z nejjednodušších objektů - z krychlí a kvádrů. Do těla domu jsem vyřizla místa na okna pomocí funkce Boolean a vsadila do nich další kvádry na dosazení textury. Komíny jsem vytvořila pomocí dvou torů, ze kterých jsem opět pomocí funkce Boolean odstranila nepotřebnou část. Lesklého efektu a efektu nerovností povrchu jsem dosáhla díky texturám a stínování, které aplikace nabízí. S přidáním textury jsem si pomohla Youtube tutoriálem ^[2].

3.2 Rodinný dům

Autor: Lucie Beránková

Rodinný dům se skládá z krychlí a kvádrů. Základ tvoří jedna větší krychle, která má znázorňovat obytnou část domu a druhá menší krychle, která znázorňuje garáž. Na tyto základní bloky jsem nasadila "střešní lišty", okna (Narozdíl od mých spolupracovníků jsem nevyužila možnosti Boolean na vyříznutí oken.), dveře a chodníky. Vše jsem dělala pomocí funkce vytáhnout (tlačítko E) nebo zvětšení/zmenšení (tlačítko S). Textury objektů jsem dělala jako poslední a rodinný dům byl následně hotov.

3.3 Dům z cihel

Autor: Adam Maxim Široký

Základem domu z cihel je krychle. Pomocí funkce vytáhnout (extrude) jsem poté vytvořil základní tvar domu. Poté zbývalo vytvořit dveře a okna. Nejprve jsem se pokoušel rozdělit objekt na malé části a poté vše dělat pomocí funkce vytáhnout (Extrude). To se ovšem ukázalo jako příliš časově náročné. Také to program pravděpodobně nezvládal vypočítat. Od této metody tedy muselo být upuštěno. Pro výřez oken a dveří jsem si vytvořil šablonu a pomocí funkce boolean jsem je vyříznul do základního tvaru. Poté jsem přidal části, které ze základního tvaru vyčnívají. Pak bylo zapotřebí přidat texturu, což bylo komplikované z důvodu, že většina celého domu byl pouze jeden objekt.

3.4 Večerka

Autor: Mikuláš Voňka

Základ budovy má tvar kvádrů. Do něho jsem vyřízl (pomocí funkce Boolean) okna a dveře a pomocí stejné funkce jsem vytvořil i jejich rámy. Na vrchu jsem udělal do kvádrů nízskou, ale plošně velkou obdélníkovou prohloubeninu. Do této prohlubně jsem vložil desku, abych v budoucnu mohl odlišit materiál budovy a střechy. Poté jsem přidal detaily v podobě klimatizace na střeše. Večerce jsem dal texturu žluté omítky, klimatizace má jednolitou šedou barvu, ale přidal jsem jí lesk a střecha má texturu kovových plátů (také s přidaným leskem).

3.5 Detaily (koše, silnice, lavičky, lampy)

Koš vznikl ze dvou válců, kde do většího jsem vyřízl díry pomocí již několikrát zmíněné funkce Boolean. Lampa byla vytvořena také z válce, kterému jsem upravil na různých místech poloměr a na jeho vršek jsem přidal kvádr. Oba tyto objekty mají lesklý tmavě šedý vzhled. Lavička vznikla z pěti kvádrů, kterým jsem dal texturu dřeva a pak na jejich boky přidal další dva kvádry. Ty jsem pomocí funkce extrude a subdivide (funkce, která dokáže rozdělit hranu na více částí) vymodeloval do tvaru boků lavičky. Silnice vznikla z kostky, ze které jsem vymodeloval krátký, pouze pár centimetrů dlouhý žlab a pomocí funkce array (naklonuje objekt) a curve (nasměruje objekt ve směru křivky) jsem tento žlab prodloužil na délku přibližně 130 metrů.

4 Výsledky

Na obrázcích 1, 2, 3 můžete vidět různé pohledy a různé varianty zhotovené scény, kde se mění nebo přidávají budovy, lampy, denní a noční světlo, odpadkové koše a lavičky.



Obrázek 1: Denní světlo, dvě varianty

5 Závěr

Finální produkt naší dvoudenní stáže je vizualizace vytvořené ulice. Při realizaci projektu jsme nabyli základní znalosti o práci v softwaru Blender a získali jsme nové zkušenosti v týmové práci.

Poděkování

Děkujeme garantovi našeho miniprojektu Pavlu Strachotovi za pomoc při zpracovávání našeho miniprojektu a týmu organizátorů Týdnu vědy na Jaderce.

Reference

- [1] Blender - oficiální webové stránky, URL: <https://www.blender.org/>. [cit. 2023-06-20]
- [2] TUTSBYKAI, *Add A Texture to An Object - Blender Tutorial*, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=mURA2g1rOSc>. [cit. 2023-06-20]



Obrázek 2: Noční pohled s lampami



Obrázek 3: Druhá varianta, noční pohled

Svět podivných jader

V. Dvořáková¹, N. Hlom², T. Koc³, L. Tománková⁴

¹Gymnázium Velké Meziříčí, ²Gymnázium a OA Pelhřimov,

³Gymnázium Plzeň, Mikulášské nám. 23, ⁴Gymnázium Boskovice

¹vercadvorakova28@seznam.cz, ²hlom.vik@gmail.com,

³tomas.koc10@gmail.com, ⁴lindatomankova@email.cz

Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou podivných jader. V úvodu rozebírá standardní model částic a vysvětluje pojmy jako jsou hyperjádru, hyperon a podivnost. Zaměřuje se na výpočet účinného průřezu u srážky fotonu s protonem za vzniku kaonu a hyperonu Λ pomocí Feynmanových diagramů. K výpočtu diferenciálních účinných průřezů byly použity modely BS1 a KM. Účinné průřezy byly následně srovnány s experimentálními daty.

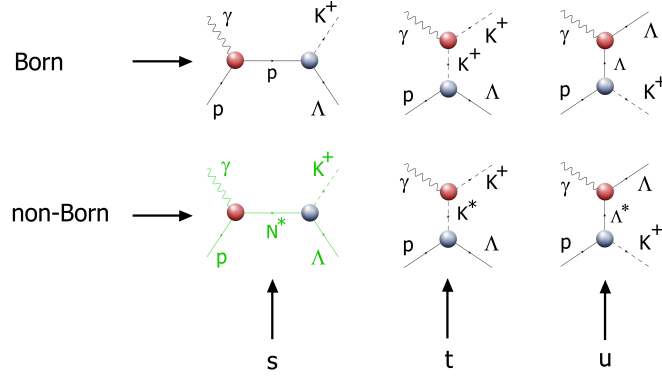
1 Úvod

Podle standardního modelu částic se elementární částice rozdělují do dvou základních skupin: fermiony, neboli částice hmoty, a bosony, které jsou přenašeči interakcí mezi fermiony. Fermiony se také dále rozdělují na kvarky a leptony. Jako příklad leptonů si můžeme uvést elektron, který je nejběžnější částicí této skupiny, nese záporný elektrický náboj a nachází se v obalu atomu. Vlastnosti kvarků se vyjadřují kvantovými čísly s různými názvy. Jedná se například o barvu, vůni nebo podivnost. Každý kvark má také svoji antičástici. Kvarky se většinou pojí silnou jadernou interakcí a tvoří hadrony. Spojením kvarku a antikvarku vznikají mezony. Nejlehčím a nejjednodušším z nich je pion. Pokud dojde ke spojení tří kvarků nebo tří antikvarků, vznikají baryony, mezi které můžeme řadit protony a neutrony. Protony a neutrony můžeme společně nazvat nukleony, jelikož se nacházejí v jádru atomu. Nukleony jsou tvořeny lehkými kvarky u (up) a d (down).

Co jsou ale podivná jádra? Jedná se o jádra, která obsahují kromě nukleonů i hyperon, potom se mluví o takzvaném hyperjádře. Hyperony se stejně jako nukleony řadí mezi baryony. Jediným rozdílem je, že se mezi jeho kvarky vyskytuje alespoň jeden s nenulovým kvantovým číslem značící podivnost. Jeden kvark u, nebo d je tedy zaměněn za kvark s (strange).

Podivné částice vznikají při reakcích silné interakce, které mají krátkou dobu trvání, jejich rozpad je ale pomalejší než by se očekávalo a je tedy způsoben slabou interakcí, která má dobu trvání až o deset řádů delší. Tato záhada pak byla vyřešena přidáním kvantového čísla podivnosti.

K objevu prvního hyperonu došlo roku 1947, kdy bylo pozorováno kosmické záření pomocí mlžné komory, jednalo se o mezon K^+ , neboli nabitý kaon. Nejprve nesl označení částice V, které bylo odvozeno od stopy, kterou částice zanechala v mlžné komoře. První hyperjádru bylo objeveno nedlouho poté roku 1952, opět pozorováním kosmického záření.



Obrázek 1: Feynmanovy diagramy pro zkoumanou interakci: v prvním řádku bornovské diagramy s výměnou protonu, kaonu a Λ hyperonu; v druhém řádku nebornovské diagramy s nukleonovou, kaonovou a hyperonovou rezonancí

2 Metodika

Naše práce spočívala v simulaci srážek fotonu a protonu za vzniku kaonu a Λ hyperonu. Počítali jsme závislost účinného průřezu (pravděpodobnosti vzájemné interakce) na jejich energii a úhlu, pod kterým se uvolní kaon vzhledem k dráze protonu. Účinný průřez se měří v jednotkách barn ($1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$).

Dále jsme sledovali nukleonové rezonance vyvolané fotoprodukcí podivnosti na protonu. Právě díky těmto rezonancím mají grafy účinných průřezů svůj charakteristický tvar, především peak v menších energetických hodnotách. Samotnou nukleonovou rezonancí se označují excitované stavy nukleonů, které se svým projevem podobají rezonanci mechanické (odtud také název).

K výpočtu jsme použili Feynmanovy diagramy (viz obrázek 1), pro něž jsme určili danou amplitudu složenou z dílčích amplitud ke každému z diagramů.

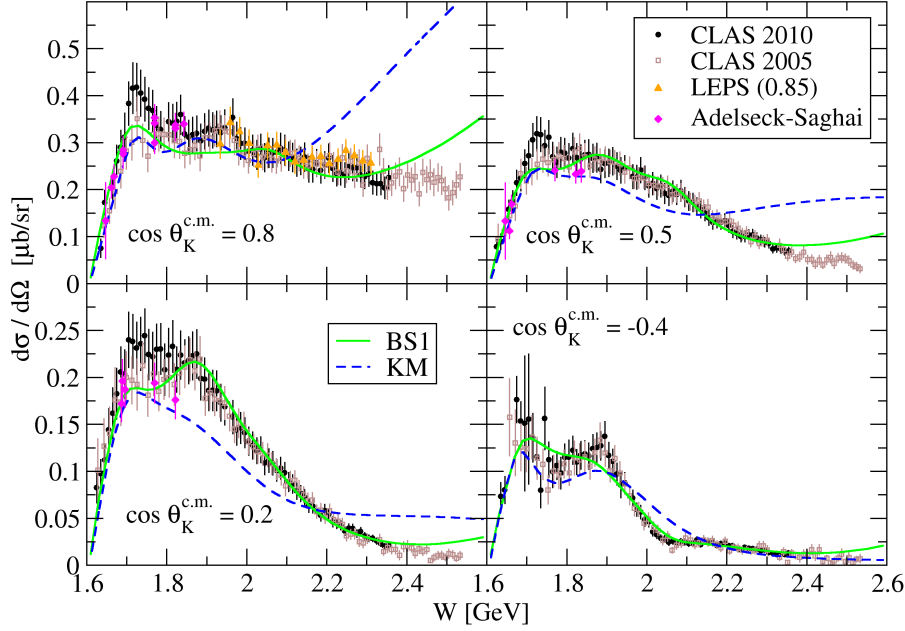
3 Výsledky a diskuze

Na obrázku 2 jsou znázorněny účinné průřezy v závislosti na energii jednotlivých kaonových úhlů. Energie na ose x je v GeV (gigaelektronvolt). Použili jsme modely BS1 [3] a KM [2] pro výpočet diferenciálních účinných průřezů a srovnali je s experimentálními daty ze třech různých experimentů. Model BS1 zahrnuje 16 rezonancí. Model KM pouze 6 rezonancí - 2 kaonové a 4 nukleonové. Modely se s experimentálními daty shodují od prahové hodnoty (1.6 GeV) do hodnoty 2.2 GeV . Pro vyšší hodnoty energií divergují.

Na obrázku 3 je znázorněn černou plnou čarou účinný průřez výpočítaný pomocí úplného modelu. Vystihuje data od 1.6 GeV do 2.2 GeV . Přerušované čáry zobrazují účinné průřezy při vynechání některých nukleonových rezonancí. Při vynechání rezonance $S_{11}(1535)$ dojde k nárůstu účinného průřezu nad prahem reakce a při vyšších hodnotách energie. Naopak při vynechání rezonance $S_{11}(1650)$ účinný průřez nad prahovou hodnotou energie poklesne. Vynecháním rezonance $F_{15}(1685)$ graf diverguje o 0.2 GeV dříve¹.

Pro výpočet účinného průřezu je nutné brát v úvahu všechny Feynmanovy diagramy

¹Při značení rezonancí v této práci následujeme obecný tvar L_{2I2J} , kde L je orbitální moment hybnosti, I je isospin a J je spin částice.



Obrázek 2: Graf diferenciálního účinného průřezu v závislosti na energii pro několik kaonových úhlů. K výpočtu byly použity modely BS1 [3] (plná křivka) a KM [2] (přerušovaná křivka). Experimentální data pocházejí z Ref. [5].

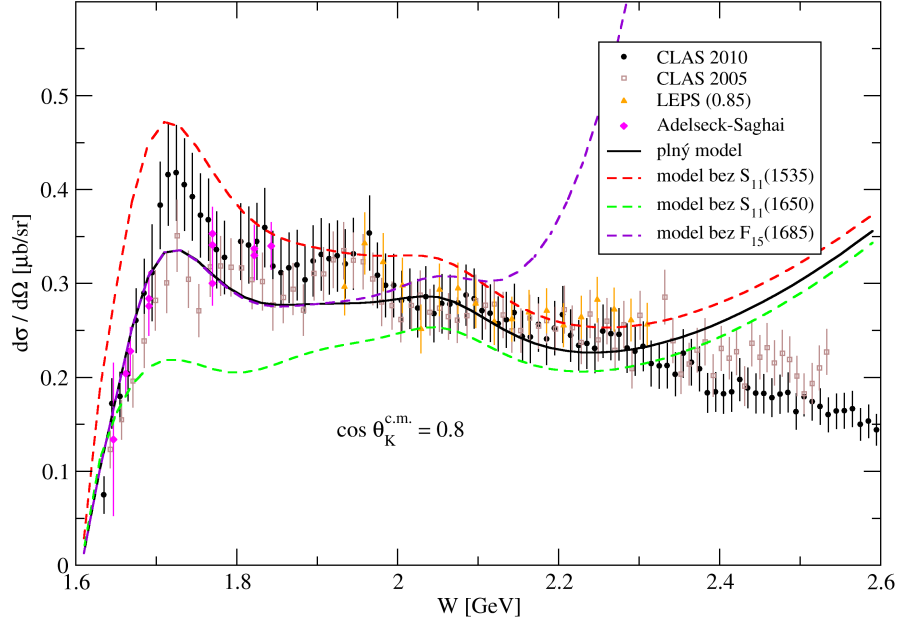
pro daný proces. Zanedbáním určitých diagramů dojde k výsledkům, které se neshodují s experimentálními daty.

4 Shrnutí

Zjistili jsme, že elementární částice se dělí na fermiony a bosony, přičemž fermiony patří mezi částice hmoty a bosony jsou přenášeci interakce mezi fermiony. Dozvěděli jsme se o hyperjádrech a hyperonech, přičemž hyperjádrem je atomové jádro, které má kromě nukleonů alespoň jeden hyperon a hyperon je nukleon, který nahrazuje kvark u nebo d za kvark s . Používali jsme také isobar model pro výpočty diferenciálních účinných průřezů, přičemž jsme zkoumali role nukleonových rezonancí. Zabývali jsme se i numerickým výpočtem účinného průřezu rozptylu elektronů na mionech.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali Ing. Daliboru Skoupilovi, Ph.D. za vedení tohoto miniprojektu, Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc., RNDr. Karlu Kolářovi, Ph.D., Barboře Svobodové za organizaci TV@FJFI a ÚJF AV ČR Řež za poskytnutí pracoviště pro náš miniprojekt.



Obrázek 3: Graf závislosti diferenciálního účinného průřezu na energii pro $\cos \theta_K^{c.m.} = 0.8$, k výpočtu jsme použili model BS1 [3], který je zobrazen plnou křivkou. Výpočty bez daných nukleonových rezonancí jsou zobrazeny přerušovanými křivkami.

Reference

- [1] D. Skoupil, *Svět podivných jader* (prezentace k TV@FJFI 2023).
- [2] T. Mart and C. Bennhold, Phys. Rev. C **61**, 012201(R) (1999).
- [3] D. Skoupil, P. Bydžovský, Phys. Rev. C **93**, 025204 (2016).
- [4] R. A. Adelseck and B. Saghai, Phys. Rev. C **42**, 108 (1990).
- [5] R. Bradford *et al.* (kolaborace CLAS), Phys. Rev. C **73**, 035202 (2006), M. E. McCracken *et al.* (kolaborace CLAS), Phys. Rev. C **81**, 025201 (2010), M. Sumihama *et al.* (kolaborace LEPS), Phys. Rev. C **73**, 035214 (2006).

Název příspěvku

Tomáš Toman, Daniel Dudek

Gymnázium Děčín, Církevní gymnázium v Kutné Hoře

tomas.toman2@seznam.cz, danik.dudek@gmail.com

Abstrakt

Příspěvek pojednává o principech a simulaci provozu jaderné elektrárny typu ABWR. Cílem práce bylo vyzkoušet si práci operátora jaderné elektrárny za typického provozu, abnormálních i havarijních stavů.

1 Úvod

Jaderná energie je jeden z nejčistších zdrojů energie. Jaderná elektrárna je nesmírně komplikované zařízení jehož provoz je velmi nákladný a spojen s rizikem havárie a úniku radioaktivního materiálu. Proto je potřeba kvalitně vycvičených operátorů, kteří ji budou řídit. A od toho jsou zde simulátory, které jsou mnohem levnější na provoz a hlavně jsou bez rizika jaderné katastrofy.

2 Principy fungování reaktoru ABWR

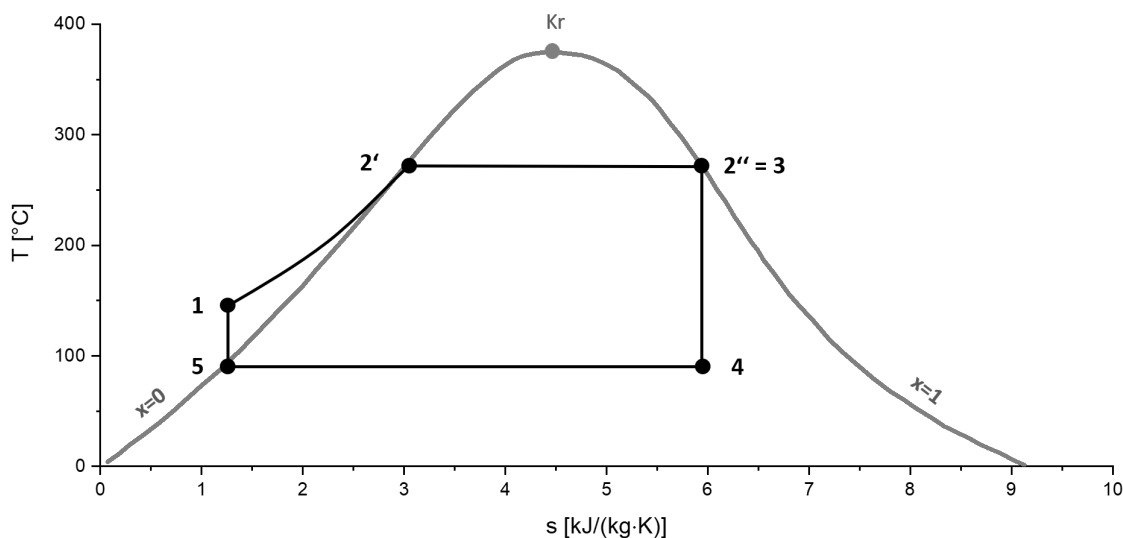
Jaderné elektrárny

Jaderné elektrárny patří mezi tepelné stroje fungující na základě Rankin-Clausiova cyklu. Základní R-C cyklus se skládá ze dvou izobarických a dvou izoentropických dějů, které jsou znázorněny na diagramu níže.

V první části je voda vedena do zdroje tepla (tepelný výměník nebo reaktor), zde je izobaricky ohřívána na dolní mezní křivku (bod 1-2) a poté se vypařuje do stavu syté páry (2-3). V další části vstupuje pára do turbíny, zde se izoentropicky rozpíná na tlak v kondenzátoru a zároveň se jí snižuje teplota (3-4). Následuje kondenzátor, kde je jí izotermicky odebíráno teplo a kondenzuje na sytou kapalinu. K uzavření cyklu stačí pouze zvýšit tlak pomocí napájecího čerpadla.

V základní podobě tento cyklus disponuje velmi nízkou účinností. Existují ale různé způsoby jak zvýšit účinnost, nejčastějšími jsou maximalizace teploty páry před turbínou, zvýšení tlaku páry před turbínou, zvýšení vakua v kondenzátoru, mezipřihřívání, binární oběhy, regenerace nebo využití nízko potenciálového tepla k vyhřívání budov. Díky všem těmto zařízením je ve skutečnosti jaderná elektrárna mnohem komplikovanější zařízení pracující na složitějším cyklu než je zde popsán.

V jaderných elektrárnách se jako zdroj energie používá štěpící se uran. Pokud se neutron srazí s uranovým jádrem, tak dojde ke štěpení jádra na 2 lehčí prvky a 2-3 neutrony. Aby byla reakce řízená potřebujeme přesně 1 neutron na každý rozštěpený atom uranu. Přebytké neutrony se absorbují ve chladicí vodě, konstrukčních materiálech nebo jsou



pohlčeny uranem 238 za vzniku plutonia. Neutrony po štěpení vylétají s velmi vysokou energií a aby moho dojít k další reakci je nutné je zpomalit. K tomu slouží moderátor, kterým je ve většině moderních reaktorů voda, ale může jím být například i grafit.

Reaktor typu ABWR

ABWR patří mezi varné reaktory. Napájecí voda teče do reaktoru, kde se dohřívá a mění na páru. Z reaktoru jde rovnou na turbínu. K řízení se používají 2 základní mechanismy. Jako první řídicí tyče, které zasunutím do reaktoru zvyšují absorpci neutronů, a jako druhý regulování množství vody protékající aktivní zónou. Snížením průtoku vody dochází ke zvýšení množství páry v reaktoru a slabší moderaci a snížení výkonu a obráceně.

Reaktor má několik seberegulačních mechanismů. Prvním je již zmiňovaný vztah mezi průtokem vody a tepelným výkonem. Dalším je teplotní roztažnost paliva, při vyšší teplotě jsou atomy dále od sebe a znovu dochází ke snížení množství srážek a výkonu.

3 Simulace provozu jaderného reaktoru typu ABWR

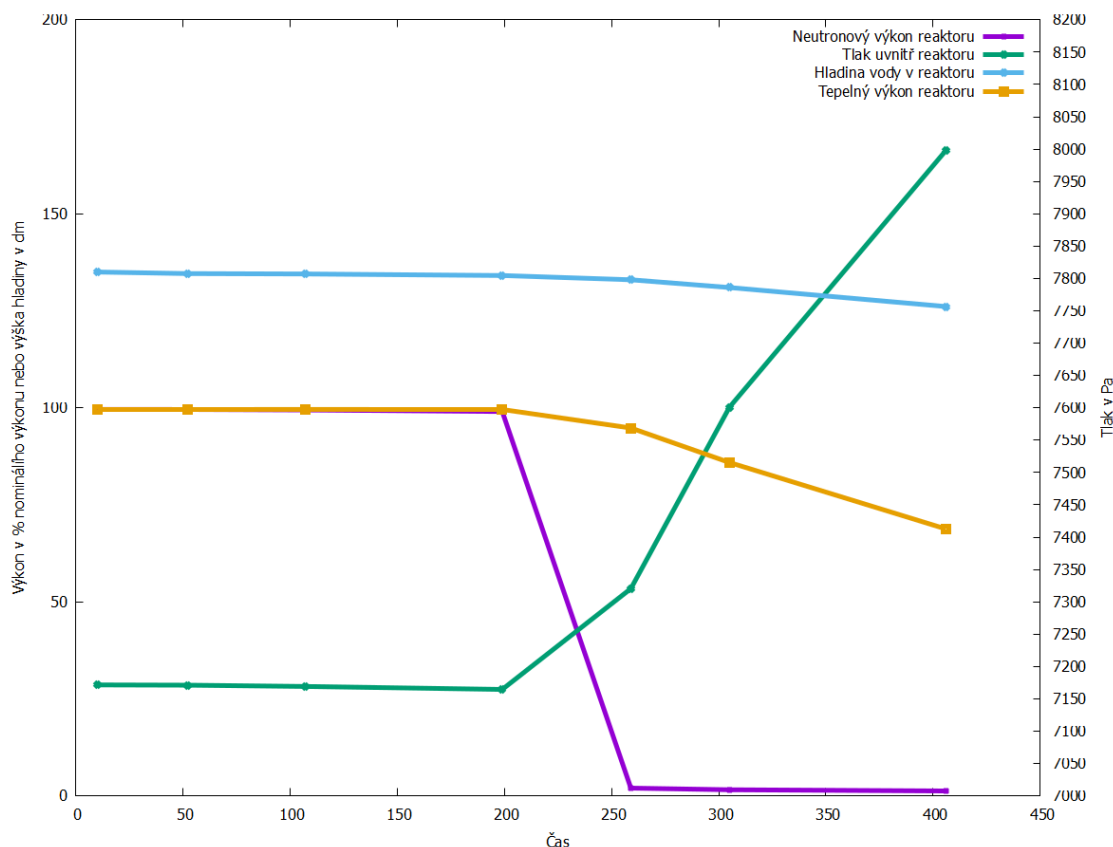
Simulátor

My jsme pracovali na simulátoru *Advanced BWR with Passive Safety Systems Simulator*, který vyvinula společnost *CTI Simulation International Corporation* v roce 2008. Tento simulátor běžel na jednom počítači a k jeho ovládání stačil pouze jeden operátor.

Simulace

Simulovali jsme celkem 9 různých scénářů, od běžné změny výkonu až po několik poruchových a havarijních scénářů a rozhodli jsme se popsat havárii typu LOCA, neboli loss-of-coolant accident. Při simulaci došlo k protržení nádoby reaktoru a úniku chladicí kapaliny, po detekci úniku byl reaktor bezpečnostním systémem okamžitě odstaven.

V čase 200 je z grafu níže patrný pokles hladiny vody a vzestup tlaku v reaktoru, to je pro



řídící systém zpráva, že uniká chladicí kapalina a okamžitě dojde k zasunutí kontrolních tyčí a odstavení reaktoru, to je patrné z poklesu neutronového výkonu téměř na nulu. Tepelný výkon klesá vlivem setrvačnosti pomaleji.

4 Shrnutí

Vyzkoušeli jsme si práci operátora jaderné elektrárny, zjistili jsme jak složité je manuálně udržovat výkon na dané hodnotě, a že dnešní reaktory jsou tak dobře zabezpečené, že se nám nepodařilo způsobit výbuch, ani když jsme se snažili

5 Poděkování

Rádi bychom poděkovali panu Dušan Kobyilkovi za jeho skvělé vysvětlení fungování jaderných elektráren a zodpovězení našich četných dotazů. Dále bychom rádi poděkovali všem organizátorům týdne vědy na jaderce za tuto příležitost vyzkoušet si řídit jadernou elektrárnu.

Reference

[Kobyłka(2016)] Dušan Kobyłka. *Technická termodynamika s řešenými příklady*. ČVUT v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05902-9.

- [Wikipedia contributors(2023)] Wikipedia contributors. Advanced boiling water reactor — Wikipedia, the free encyclopedia, 2023. URL https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Advanced_boiling_water_reactor&oldid=1131883870. [Online; accessed 20-June-2023].
- [Wikipedie(2022)] Wikipedie. Rankinův–clausiův cyklus — wikipedie: Otevřená encyklopedie, 2022. URL https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Rankin%C5%AFv%E2%80%93Clausi%C5%AFv_cyklus&oldid=21308399. [Online; navštíveno 20. 06. 2023].

Simulace provozu JE typu VVER-440

Autoři (V. Vinkler, V. Špéra)

Instituce, adresy (Wichterlovo gymnázium, Gymnázium Hodonín)

E-mail(vinkva420@wigym.cz, vaclav.spera@student.goah.cz)

Abstrakt:

Příspěvek si klade za účel osvětlit a přiblížit princip fungování jaderných elektráren, zejména pak těch s jadernými reaktory východní koncepce VVER-440 V213. Konkrétně se pak věnuje principům rovnováhy energií v primárním a sekundárním okruhu a důsledkům, které způsobují jednotlivé anomálie. Tyto principy pak i názorně demonstuje podrobnou analýzou dat získaných simulací poruchy hlavních cirkulačních čerpadel.

1 Úvod

Celkový koncept jak samotných jaderných reaktorů, tak i celých jaderných elektráren urazil od prvního spuštění Chicago Pile-1 roku 1942 dlouhou cestu. Postupně vznikla široká škála typů s různými mechanismy a koncepcemi, kdy nám je nejznámější právě typ tlakovodních reaktorů, kterým jsme se proto rozhodli také věnovat, specificky tedy reaktoru VVER-440 V213 (typ s lepšími bezpečnostními prvky) ruského konceptu, jenž se v celkovém počtu 4 kusů v současnosti nachází v Jaderné elektrárně Dukovany. Jedná se o reaktor tlakovodní, tedy voda je zde za vysoké teploty pod vysokým tlakem, a nemění se tak na páru jako je tomu například u reaktorů BWR. Charakteristický je pak tím, že jak moderátorem, tak chladivem je zde právě lehká voda, což je zřejmě i jeden z důvodů, proč se jedná o nejrozšířenější typ reaktoru. Nutno však podotknout, že díky zjednodušení za praktickými účely, kterými si náš teoreticky souhrn prošel, se jedná o práci použitelnou i na jiné modely a typy reaktorů.

2 Teoretický základ

Obecně se JE tlakovodního typu skládá ze třech okruhů. V PO se uvolňuje velké množství energie jadernou reakcí (konkrétně štěpnou) a dochází k ohřevu vody v PO. Ta v parogenerátoru ohřívá vodu z SO, jež se mění na páru. V zjednodušeném schématu je tato pára vedena na turbíny napojené na turbogenerátor (TG), které indukují napětí odváděné z elektrárny. Pára je následně zkondenzována v kondenzátoru za pomoci třetího – chladicího okruhu. Opravdové schéma je samozřejmě mnohem složitější, protože celkový systém je doplněn o zařízení jako ohříváče, čerpadla, kompenzátor objemu, ...

Princip řízení výkonu elektrárny s tlakovodním reaktorem

U reaktoru VVER-440 byly zkonstruovány dva hlavní systémy řízení výkonu, jmenovitě pak řídicí systém výkonu reaktoru (na JED konkrétně RCS) a turbínový výkonový elektronický regulátor (na JED konkrétně TVER). Ty pak společně kooperují a to přes hodnotu tlaku

v SO, přesněji parogenerátoru. Když nám výkon v aktivní zóně (AZ) roste, tak v PO tlak roste, v SO klesá, v případě klesajícího výkonu AZ je tomu pak naopak. Tím nám taktéž umožňují dva způsoby jak řídit elektrárnu, a to buď úpravou výkonu reaktoru v PO, na což reaguje automatickou regulací SO (řízení od reaktoru k turbíně), případně naopak (řízení od turbíny k reaktoru). Celý proces řízení však musí brát v potaz výše zmíněné faktory ovlivňující výkon, což sic dnes je již usnadněno velkou mírou automatizace, kdy například můžeme RCS přepínat do různých režimů, dle toho jakou veličinu chceme fixovat. V případě JED je to konkrétně: N (výkon), T (tlak), či S (sníží výkon, když tlak překročí zadanou hodnotu).

Faktory ovlivňující výkon reaktoru

Jaderný reaktor obecně funguje na principu jaderného štěpení většinou izotopu uranu U235 neutronem a celý proces pak kombinuje principy jak neutroniky a jaderné fyziky, tak i termodynamiky a termohydrauliky. Důsledkem toho je, že známe hned několik způsobů, jak můžeme ovlivnit výkon reaktoru, tedy počet probíhajících štěpných reakcí, a díky některým právě i dokážeme samotný reaktor řídit.

1. Změna reaktivity

Ta je dána celkovou strukturou a složením izotopů v rámci zavážky na začátku kampaně. Tím jak například umístíme jednotlivé palivové tyče, jak distribuujeme a kolika procentní obohecní uranem 235 použijeme, či tím jaké jiné prvky a sloučeniny v zóně máme (např.: oxidy Gd) ovlivňujeme celkový makroskopický účinný průřez Σ . Ten pak definujeme jako: „Míru pravděpodobnosti, že dojde k interakci mezi jádrem, které se nachází v krychli o straně 1 m a částicí, která dopadá kolmo na jednu ze stran této krychle.“ Tímto počátečním parametrem jsme posléze ovlivňováni po celou dobu kampaně.

2. Záměrné změny

Za účelem těchto změn vědomě používáme tzv. absorbátory, tedy prvky a sloučeniny schopné zachytit neutrony uvolněné předchozími generacemi štěpení avšak sami se dále neštěpí. Využití pak právě nachází jako aktivní řídicí prvky v podobě řídicích a havarijních tyčí, které jsou dle potřeby do reaktoru zasouvány pro snížení počtu neutronů a tedy i pokles výkonu, nebo naopak vysouvány pro přesně opačný efekt, či kyselina boritá, která je za stejného efektu dle potřeby vstřikována do vody v PO.

3. Samovolné změny

Tato kategorie je pak pro účely naší práce nejdůležitější, protože hovoří o změnách ve výkonu AZ v závislosti na okolních změnách. V zásadě tyto faktory dělíme na zpětnovazební koeficienty, otravy jádra prvky jako Xe či Sm a na proces vyhořívání a zastruskování. Protože však k otravám během provozu v krátkém horizontu nedochází, stejně jako k projevu vyhořívání a zastruskování, klíčovými jsou pro nás právě zpětnovazební koeficienty.

Jsou dány zejména moderační schopností vody, která srážkami s neutrony na atomární úrovni zpomaluje rychlé neutrony na tzv. tepelné neutrony, které právě potřebujeme ke štěpení U235, čímž tedy zvyšuje pravděpodobnost srážek a navazujících štěpení, což vede k růstu výkonu. Opačný efekt mají pak absorpční účinky moderátoru, které naopak neutrony zachycují, jak už je vysvětleno výše. Dále je dobré zmínit i schopnost absorpce a štěpení v palivu či rezonanční záchyt v palivu.

Na základě toho definujeme například Teplotní koeficient reaktivity. Ten pracuje s hlavní příčinou v podobě vlivu teploty AZ, a to se změnou hustoty materiálů, která má vliv na celkovou pravděpodobnost, že dojde k úniku neutronu a ke štěpení.

Obdobně funguje Tlakový koeficient reaktivity, který naopak popisuje vliv změny tlaku chladiva v PO na makroskopický účinný průřez, obdobně jako u toho teplotního jenže s opačnou závislostí.

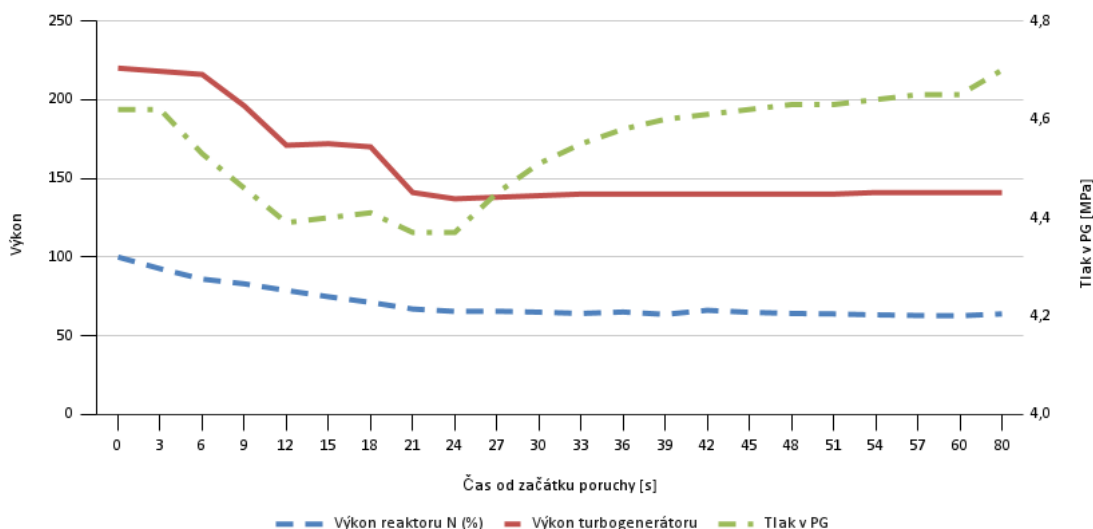
Dále lze zmínit i Výkonový koeficient reaktivity, Dutinový koeficient reaktivity či Koeficient reaktivity od kyseliny borité.

3 Simulace

Pro lepší pochopení a názornou demonstraci jsme posléze i vybrali dva simulované scénáře poruchy hlavních cirkulačních čerpadel (HCČ), kdy v jednom dojde k závadě pouze na 2 z celkových 6, a v druhém pak dojde k poruše všech. K provedení těchto simulací a porovnání obou scénářů nám posloužil simulátor SPVS-EDU již zmíněného VVER-440 z dílny VÚJE Trnava. Ten je určen k základnímu představení vnitřních chodů jaderné elektrárny. Simulace probíhá na čtyřech počítačích, na dvou primární okruh a na dvou sekundární okruh. V programu je možnost navolit, jak běžný chod elektrárny (změna výkonu elektrárny aj.), tak třeba i simulace různých výpadků zařízení (turbogenerátoru, hlavních cirkulačních čerpadel (HCČ), atd.). Z důvodu nejlepší možnosti demonstrovat výše zmíněnou teorii jsme si vybrali scénář výpadku dvou a poté i všech HCČ.

Výpadek dvou HCČ (HCČ-2 a HCČ-5)

V první simulaci, kdy nám vypadly “pouze“ dvě čerpadla, došlo téměř okamžitě k částečnému zasunutí řídicích tyčí, aby se docílilo nižšího výkonu reaktoru (celistvá čára). Ten způsobuje menší produkci páry (čerchovaná čára), která vede k poklesu tlaku v PG napojeném na poškozené čerpadlo. Při snížení výkonu primárního okruhu, se začal snižovat i výkon turbogenerátorů v sekundárním okruhu v souladu s propojením systémů TVER a RCS,

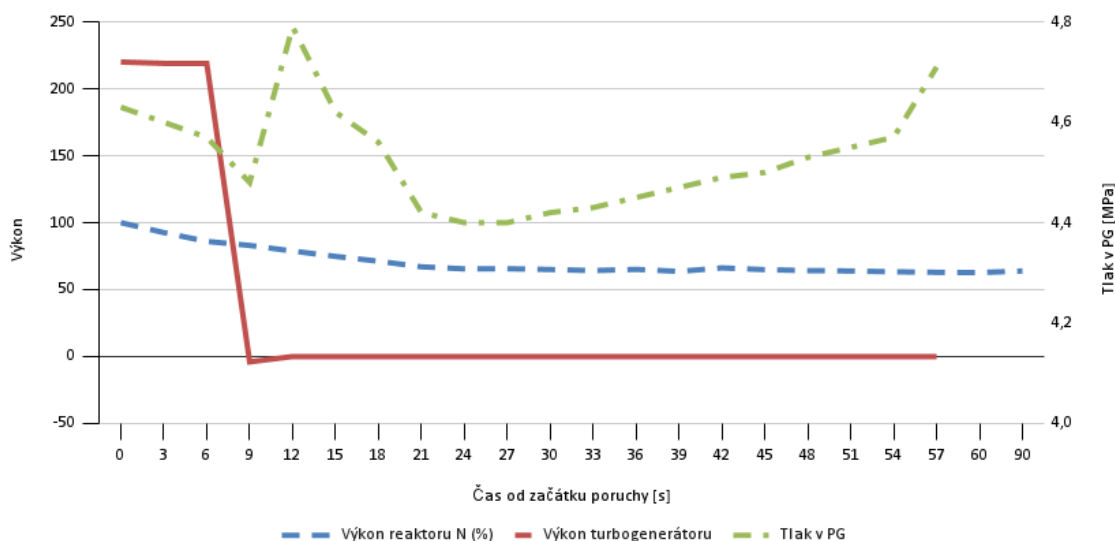


a to díky automatickému přepnutí TG z módu N na TPO (turbínový polohový ovladač) v čase 9 sekund od vypuknutí poruchy. TG tak odebírá méně páry z SO, což ukončuje klesání tlaku v příslušných PG. Hned jak se výkon v primárním okruhu ustálil na 66%, tedy hodnotě úměrné změně v průtoku čerpané vody, tak tlak v parogenerátorech naopak začal narůstat,

aby stabilizoval průměrný tlak na zadané hodnotě. To vše za méně než 90 sekund od poruchy.

Výpadek všech HCČ (HCČ-1 až HCČ-6)

V tomto případě došlo k okamžité odstávce reaktoru řídicími a havarijními tyčemi, čímž výkon reaktoru klesl jen na zbytkový tepelný výkon. Obdobně jako v přechozí simulaci na to zareagoval TVER, tentokrát však odstavením turbogenerátoru v čase 7 sekund od nehody. Tlak P v PG reagoval taktéž podobně, kdy první klesal a to asi ještě 25 sekund po nehodě.



4 Shrnutí

Celkově jsme se blíže seznámili s komplexností tématu fungování jaderných elektráren a reaktorů, zejména pak s možnostmi regulace jejich výkonu. Jak teoretická část, tak i posléze ověření jednotlivých principů formou simulace na simulátoru je nám důkazem bezpečnosti těchto zařízení. Ta je mimo jiné dnes již i z velké části plně automatizovaná, což eliminuje chybový lidský faktor, ale i umožňuje přesněji a rychleji reagovat v souladu s faktory popsaných v teoretické části, například pak se zpětnovazebnými koeficienty.

Poděkování

Tímto chceme poděkovat za možnost a zprostředkování práce organizátorům projektu Týden vědy na Jaderce, posléze pak za čas a znalosti, které nám věnoval, Ing. Dušanu Kobylkovi, PhD. jako vedoucímu práce. Díky patří i fakultě FJFI pod záštitou ČVUT, která nám poskytla potřebné pomůcky a software.

Z boson v simulovaných p+p srážkách

A. Blažek, D. Káčerek*, H. Korcina**, J. Sova***

Gymnázium Velká okružná, Žilina

Gymnázium, Plzeň, Mikulašské nám. 23*

První soukromé jazykové gymnázium, Hradec Králové**

Gymnázium, Sušice***

adamynos219@gmail.com

kacerekdan@gmail.com*

korcina.hugo@psjg-hk.cz**

sovajjan24@gmail.com***

Abstrakt

Práce se zabývá simulováním proton-protonových srážek, při kterých vzniká boson Z. Cílem bylo stanovit základní charakteristiky této částice a přesvědčit se, že nasimulované výsledky odpovídají experimentálně naměřeným datům z experimentu ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) na LHC (Large Hadron Collider).

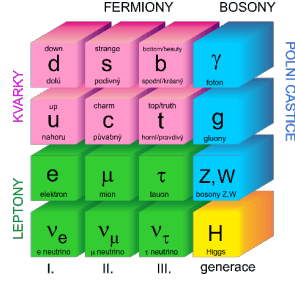
1 Úvod

Slabá interakce je výběrová interakce, která působí pouze na levotočivé částice hmoty. Dosah interakce je konečný, zhruba 10^{-17} m, jelikož její polní částice mají nenulovou hmotnost. Typickým příkladem slabé interakce je beta rozpad neutronu na proton.

Kořeny Standardního Modelu elementárních částic sahají až do 60. let 20. století, ten ze současného hlediska obsahuje všechny elementární částice. Tyto částice lze rozdělit do dvou skupin. První obsahuje nosiče sil, tzv. polní částice. Jde o tmel, který udržuje hmotu ve vesmíru pohromadě a zprostředkovává její interakci. Druhá skupina obsahuje částice tvořící hmotu. Patří sem leptony (např. námi analyzovaný elektron) a kvarky, ze kterých se skládají proton a neutron. Mimo tyto skupiny ještě standardní model obsahuje Higgsův boson, částici, která určuje klidovou hmotnost některých ostatních částic. Standardní model řeší jen interakce popsané kvantovou teorií pole, nepopisuje tedy gravitaci, která doposud nebyla s kvantovou teorií spojena. Poslední objevenou částicí standardního modelu byl v roce 2012 Higgsův boson a o rok později byla za jeho objev udělena Nobelova cena.

2 Analýza dat

Large Hadron Collider (LHC) je urychlovač protonů. Byl vybudován ve středisku jaderného výzkumu CERN. Do provozu byl uveden v roce 2008 a jeho obvod je 27 kilometrů.



Obrázek 1: Tabulka elementárních částic dle dělení Standardního Modelu

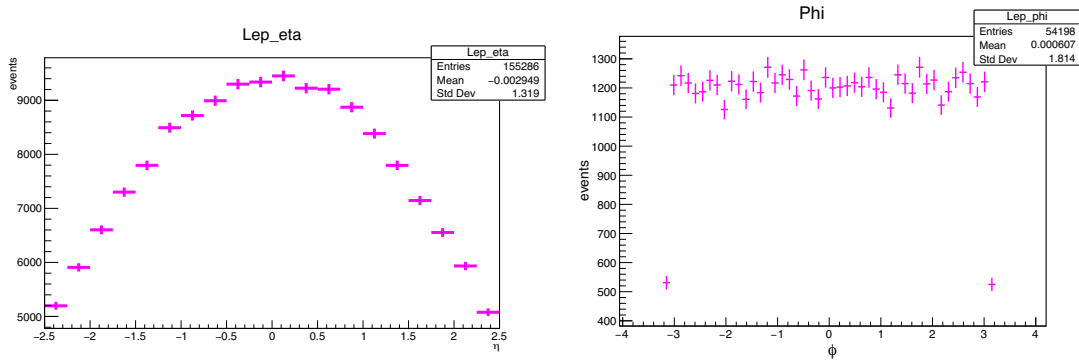
Současná těžistová energie srážky je 13,6 TeV, ale v rámci našeho projektu jsme simulovali srážky s energií 7 TeV pomocí programu Herwig [2]. Motivací bylo využít starší data experimentu ATLAS pro porovnání s našimi výsledky. Ve výpočtu jsme využili maticový element, ve kterém se pár kvark antikvark anihiluje za vzniku bosonu Z, který se následně rozpadá. Ověřili jsme, že rozpadové poměry odpovídají tabelovaným hodnotám: hadronově 70 %, na neutrina 20 % a na nabité leptony zbylých 10 %. Z boson je velmi obtížné hledat v hadronovém rozpadu, který vede na jety v koncovém stavu. Musíme se tedy spokojit s výtěžkem 3,3%, který získáváme z analýzy elektron-pozitronového rozpadového kanálu.

2.1 Naměřené elektrony

Jednou z veličin, ktorú sme pri bozóně Z merali bola rapidita. Rapidity je bezrozmerná veličina, ktorá určuje smer pohybu priestorom. Pre telesá, ktoré majú rýchlosť blízku rýchlosti svetla rastie jej veľkosť limitne k pseudorapidite, čo je uhol, pod ktorým častica letí.

$$\eta = -\ln \left[\tan \frac{\theta}{2} \right] \quad (1)$$

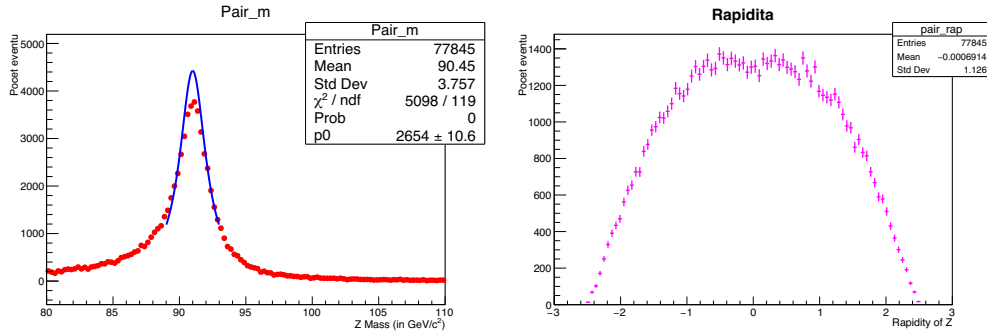
Uhol ϕ je kolmý na os urýchľovača častíc, nadobúda hodnoty od $-\pi$ rad do π rad. Analýza uhlu ϕ je základnou analýzou objektov. Výsledná informácia udáva uhol častice, pod ktorým častica letí od miesta zrážky.



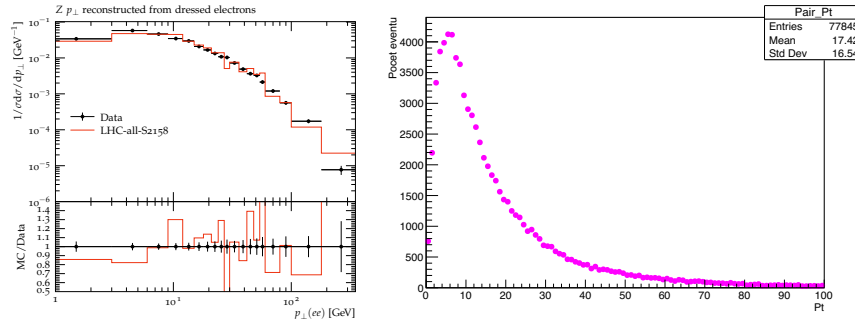
Obrázek 2: Rozdělení úhlových veličin pro naměřené elektrony a pozitrony.

2.2 Rekonstruovaný Z boson

Částice Z je elektricky neutrální s hmotností 91 GeV a se spinem 1. Je to tedy boson a nespňuje Pauliho vylučovací princip. Při nízkých teplotách se snaží zaujmout nejnižší energetický stav. Jeho existence byla předpovězena teoretiky Weinbergem, Glashowem a Salamem. Doba jeho existence je řádově 10^{-25} s, což se nám také podařilo naměřit z proložení hmotnostního rozdělení Breit-Wignerovou funkcí. Střední doba života je dána jako inverzní hodnota šířky této funkce. Hmotnost a rapiditu Z bosonu jsme získali vektorovým součtem čtyřhybností naměřených elektronů a pozitronů. Příčný impuls je složka hybnosti částice. Zanedbává se jeden rozmer vektora hybnosti a z 3D obrazu se stává 2D obraz, který má o něco menší vzdialenosť ako pôvodný model.



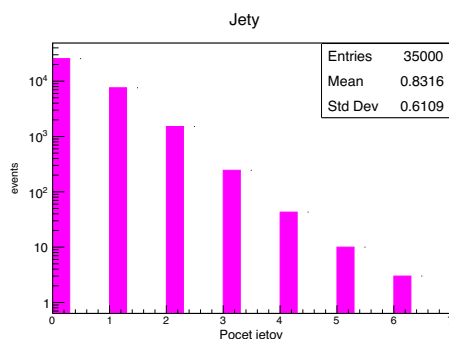
Obrázek 3: Hmotnost bosonu Z (vlevo), rapidita bosonu Z (vpravo)



Obrázek 4: Příčný impuls Z bosonu zrekonstruovaného z čtyřhybností elektronu a pozitronu. Levý obrázek obsahuje data z analýzy [3] a křivku našich dat. Pravý obrázek ukazuje tytéž výsledky získané naší analýzou.

2.3 Jety

V průběhu srážky vzniká velké množství částic, které kvůli svému barevnému náboji nemohou existovat samy o sobě, jsou to kvarky a gluony. Mají ale dostatečné množství energie na to, aby tyto vazby silné interakce „přetrhly“ a z uvolněné energie si vytvořily nové kvarky do páru. Tyto mezony se zase mohou rozpadat na kvarky nižších generací. Ve výsledku dostáváme spršku mnoha různých částic, kterým říkáme jet. Jet je shluk hadronů, který v detektoru splývá v jeden objekt. Rekonstrukce trajektorie jetu připomíná kužel.



3 Shrnutí

Data z našich výpočtů se přibližně shodují s daty naměřenými experimentem ATLAS [3]. Z proložení naměřených dat pro hmotnost Z bosonu jsme získali šířku 2,4 GeV, která odpovídá očekávané hodnotě. Rovněž jsme pozorovali, že Z boson není ve srážce produkován sám, ale doprovází ho množství dalších částic, jejichž toky klasifikujeme jako jety. Vidíme, že v našich datech jsou dvě události $Z + 6$ jetů.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat především panu Ing. Miroslavu Myškovi, Ph.D., za odborné vedení práce, skvělé vysvětlení dané problematiky a milý přístup.

Reference

- [1] H. J. Greenberg. *A Simplified Introduction to L^AT_EX*. <https://mirrors.nic.cz/tex-archive/info/simplified-latex/simplified-intro.pdf>. 2010.
- [2] M. Bahr et al., *Multi-purpose particle physics event generator*, Eur. Phys. J. C58 (2008) 639, <https://herwig.hepforge.org/>.
- [3] ATLAS Collaboration, *Measurement of the transverse momentum distribution of Z/γ^* bosons in proton–proton collisions at $s=7$ TeV with the ATLAS detector*, Phys. Lett. B 705 (2011) 415.

Termoluminiscenční dozimetrie

Josef Doležal, Marek Miladinović, Tomáš Hrabák, Alžběta Uvírová

Gymnázium Plzeň, Mikulášské nám. 23
Gymnázium, Praha 9, Chodovická 2250
Gymnázium Plzeň, Mikulášské nám. 23
Wichterlovo gymnázium, Ostrava-Poruba

jdolezal42@email.cz; marekm222@seznam.cz
tomca.h@post.cz; alzbeta.uvirova@seznam.cz

20. června 2023

Abstract

Náplní naší práce, bylo v praxi vyzkoušet termoluminiscenčních vlastnosti vybraných pevných látek ve fyzikálním oboru dozimetrie a detekce ionizujícího záření. Hlavním cílem projektu bylo zjistit vztah mezi luminiscencí ozářené látky a obdržené dávky záření. Tento jev by umožnil využití těchto látek jako malé osobní pasivní dozimetrie vhodné pro dlouhodobé měření obdržené dávky záření.

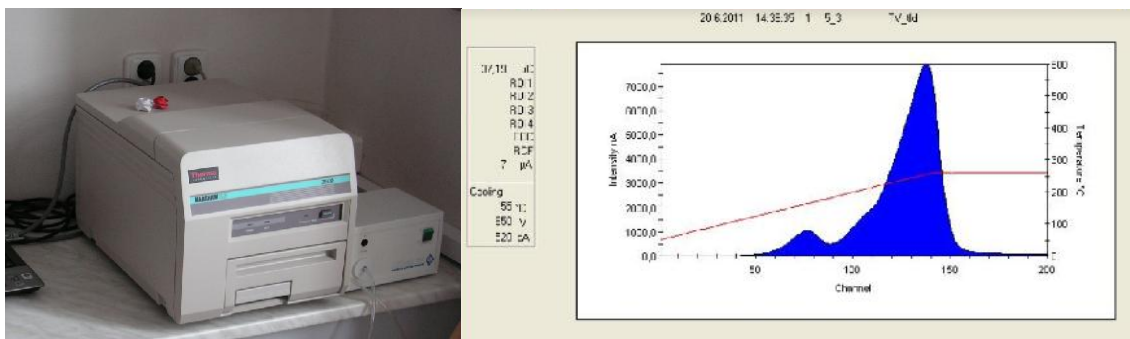
1 Úvod

Dozimetry obecně dělíme na pasivní a aktivní. Aktivní dozimetry se vyznačují schopností měřit a zobrazovat aktuální hodnoty ozáření v reálném čase. Pro dlouhodobé měření jsou však nepraktické, náročné na údržbu a pro profese bez ohrožení akutním ozářením existuje lepší varianta v podobě pasivních dozimetrů. Ty jsou určeny k dlouhodobému měření a následnému vyhodnocení v laboratoři pomocí příslušných přístrojů. Samotné dozimetry TLD100 použité k měření jsou velmi malé, podobající se disku o průměru 3 mm.



Figure 1: Pasivní dozimetry TLD100

Pro následné vyhodnocení obdržené dávky se dozimetry umístí do speciálně navrženého přístroje, který během několika sekund data zpracuje a zakreslí do grafu.



Přístroj Harshaw TLD reader 3500

Vyhodnocený graf

Figure 2

2 Teorie

Princip termoluminiscence spočívá v pohybu elektronů do nižší energetické hladiny. Při zásahu ionizujícím zářením elektron obdrží energii, dostane se tak do excitovaného stavu a opouští valenční vrstvu. V tuto chvíli se nachází v takzvaném vodivostním pásu. Při návratu zpět do valenčního pásu přichází o získanou část energie vyzářením fotonu o vlnové délce odpovídající ztracené energii. Část elektronů je při návratu zachycena v tzv. elektronových pastích, kde je elektronům znemožněn další pohyb. Při dalším předáním energie, například formou zahřátí, se mohou dostat zpět do vodivostního a následně valenčního pásu. Míra luminiscence (množství emitovaných fotonů) je přímo úměrná množství elektronů uvolněných pomocí tepla dodaného přístrojem.

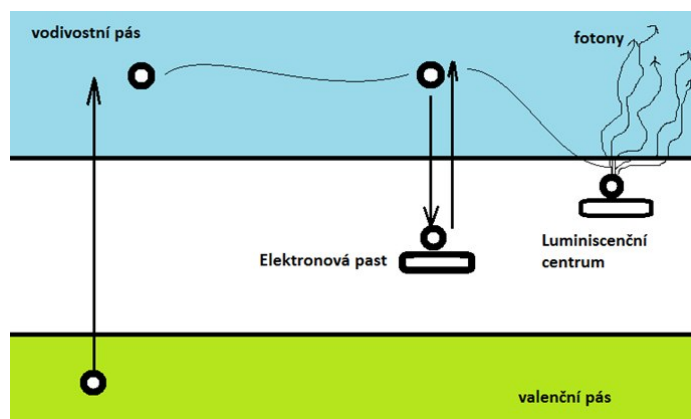


Figure 3: Grafické znázornění termoluminiscenční dozimetrie

Na ohřevnou desku přístroje se umístí dozimetr a pomocí postupného zvyšování teploty se elektrony uvolňují. Vyzářené fotony se následně zachytí fotodiodou a pomocí fotonásobiče se elektrický signál z fotodiody zesílí na měřitelnou hodnotu. Výsledná dávka lineárně odpovídá měřenému elektrickému náboji.

3 Legenda

označení veličin:

m ...počet dozimetrů v jedné skupině
 z_j ...termoluminiscenční odezva j -étého dozimetru
 f_z ...aritmetický průměr
 s_{zj} ...směrodatná odchylka stanovení termoluminiscenční odezvy
 s_z ...směrodatná odchylka průměru změřené odezvy
 x_j ...nejvyšší hodnota měření v dané skupině dozimetrů
 k ...konstanta (pro $m = 7$ je $k = 5$, pro $m = 5$ je $k = 6,5$, atd.)
 x_i ...nejnižší hodnota měření v dané skupině dozimetrů
 D ...dávka [Gy]
 a, b ...koeficienty kalibrační přímky
 y ...termoluminiscenční odezva pro dávku D (podle kalibrační přímky)
 n ...počet různých dávek použitých pro výpočet kalibrační přímky
 D_i ...dávka pro i -tý dozimetr
 y_i ...termoluminiscenční odezva pro i -tý dozimetr
 $s_{y,D}$...směrodatná odchylka rozptýlení kolem regresivní přímky
 s_a ...neurčitost směrnice a
 s_{Dx} ...rozptyl dávky určené měřením skupiny dozimetrů ozářené stejnou dávkou

4 Měření

Pro náš pokus budeme používat dozimetry TLD100 složené z fluoridu litného (+ Mn a Ti). Našich 35 dozimetrů jsme rozdělili na 5 skupin po 7 dozimetrech. 3 z těchto skupin jsme ozářili Kobaltem-60. Pro zjištění dávkového příkonu zářiče spočítáme, jaká část kobaltu již prošla přeměnou. Nám známé bylo, že v prosinci 2011 vyzařoval Kobalt-60 53 Grayů za hodinu. Od prosince 2011 k dnešnímu datu (k červnu 2023) uběhlo 11,5 roku. Poločas rozpadu Kobaltu-60 je 5,3 roku. Z toho vyplývá, že chceme-li látku ozářit 1 Grayem, musíme ji Kobaltu vystavit na 5 minut a 7 sekund. Skupiny jsme chtěli ozářit 2, 4 a 6 Grayi. Ozařovali jsme ve 3 intervalech po 10 minutách a 14 sekundách. Následně jsme dozimetry vyhodnotili pomocí vyhodnocovacího přístroje Harshaw Model 3500 Manual TLD Reader. Ten funguje na principu zahřátí dozimetru, při kterém dojde k luminiscenci, kterou zachytí integrátor. Tento proces jsme zopakovali pro každý dozimetr včetně 7 kontrolních (neozářených) a 7, které byly vystaveny neznámé dávce radiace. Dále jsme se zabývali zpracováním dat. Známé nám byly dávky u 4 skupin dozimetrů a termoluminiscenční odezva ($=i$ náboj) u všech dozimetrů za pomoci vyhodnocovacího přístroje. Začali jsme zprůměrováním skupin dozimetrů, vypočtením směrodatné odchylky a směrodatné odchylky průměru.

$$f_z = \frac{\sum_{j=1}^m z_j}{m} \quad (1)$$

$$s_{zj} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (z_j - f_z)^2}{m - 1}} \quad (2)$$

$$s_z = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (z_j - f_z)^2}{(m - 1)m}} \quad (3)$$

Následovalo vyloučení krajních hodnot, na což jsme využili metodiku vylučování odlehlých bodů.

$$x_j > f_z + k \times s_{zj} \quad (4)$$

$$x_i < f_z - k \times s_{zi} \quad (5)$$

Následně jsme za pomoci metody nejmenších čtverců sestrojili kalibrační přímku (dávka-termoluminiscenční odezva), načež jsme vypočítali chybu směrnice této závislosti.

$$y = a \times D + b \quad (6)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n y_i - n \sum_{i=1}^n D_i y_i}{(\sum_{i=1}^n D_i)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (7)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (8)$$

$$s_{y,D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - b - a D_i)^2}{(n-2)}} \quad (9)$$

$$s_a = \frac{s_{y,D}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n D_i^2 - (\sum_{i=1}^n D_i)^2}{n}}} \quad (10)$$

Poté bylo třeba vypočítat chybu měření dávky v závislosti na velikosti dávky.

$$s_{Dx} = \frac{s_z}{a} \sqrt{\left[\frac{1}{n} + \frac{1}{m} + \left(\frac{s_a}{a \times s_z} \right)^2 \times (f_z - b)^2 \right]} \quad (11)$$

Poté, co jsme zjistili, že chyba je minimální, použili jsme kalibrační křivku k určení neznámé dávky. Výsledkem našeho bádání bylo, že poslední sada vykazovala dávku 2,390 Graye. Z toho vyplývá, že dozimetry 4. skupiny byly ozařované 12 minut a 14 sekund.

5 Shrnutí

Z měření jsme se dověděli, že v oblasti vysokých hodnot dávky (1-10 Gy) je vztah výstupního náboje určeného termoluminiscenční dozimetru a dávky téměř lineární. Vzhledem k jednoduchosti lineární křivky není určení dávky z naměřeného náboje složité. Tohoto vztahu by bylo možné využít v osobních dozimetrech pro měření dlouhodobějšího vystavení ionizujícímu záření, v profesích jako je například lékařský fyzik, pracovník jaderné elektrárny nebo příslušného výzkumného ústavu.

Poděkování

Poděkování patří hlavně našemu konzultantovi Ing. Tomáši Urbanovi, Ph.D. za odborné poradenství a celkovou asistenci. Dále děkujeme FJFI a organizátorů TV@J 2023 za poskytnutí prostor a potřebných přístrojů.

References

- [1] HOROWITZ, Y.S. (Ed.). *Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry*. Vol. I.-III. Boca Raton, CRC Press, 1984.
- [2] MUSÍLEK L., ŠEDA J., TROUSIL J. *Dozimetrie ionizujícího záření (Integrované metody)*. ČVUT, 1992 (skripta)

Elektronová mikroskopie v materiálovém výzkumu

Tamal Fejt¹, Johana Vaníčková²

Gymnázium, Plzeň, Mikulášské nám. 23¹, Gymnázium Českolipská 373²
tamal.fejt@gmail.com¹, johana@vanickovi.cz²

Abstrakt

Cílem miniprojektu bylo seznámit se s funkcí řádkovacího elektronového mikroskopu a s jeho pomocí charakterizovat materiálové vady na části trubice využívané jako obal uranu v palivových tyčích.

1 Úvod

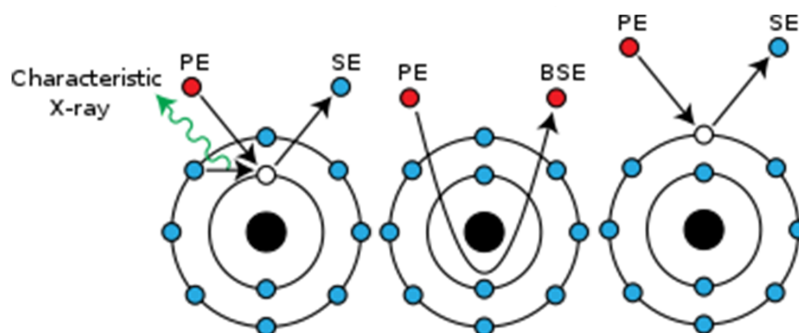
Elektronový mikroskop využívá k zobrazení vzorku proud elektronů. Vlnová délka světla je podstatně větší než u elektronu, proto také elektronový mikroskop dosahuje řádově lepšího zvětšení, než tradiční světelný mikroskop.

Během miniprojektu jsme zkoumali část trubice sloužící k pokrytí jaderného paliva a pokusili jsme se identifikovat materiálové změny v materiálu, které se na ní vyskytly po simulovaném výbuchu reaktoru. Výbuch byl simulován několika náhlými změnami teplot a následnou deformací zlomením.

2 Teorie

Z wolframového drátku je na vzorek vyslán paprsek primárních elektronů(PE). Některé z nich ze vzorku vyrazí sekundární elektron(SE), který lze detekovat. Další se také mohou od vzorku odrazit a jsou snímány jako zpětně odražené elektrony(BSE) viz obrázek 1.

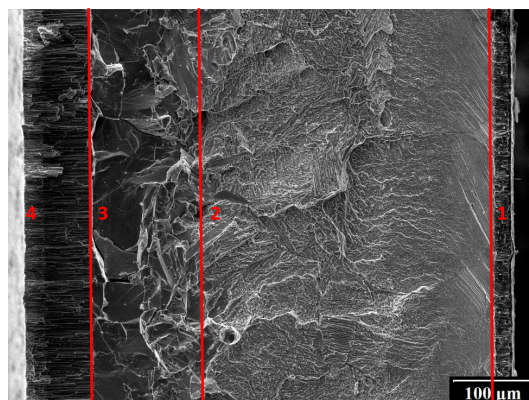
Oba druhy signálů se následně dají interpretovat jako obraz. Jelikož těžší atomy lépe odrážejí elektrony, jeví se při BSE snímání světleji. Snímání SE zase lépe zobrazuje topografii vzorku. Elektronový mikroskop je vybaven sondou, jež umožňuje detekovat fotony, které se uvolní při dopadu primárního elektronu a uvolnění sekundárního elektronu. Z vlnové délky tohoto záření můžeme docela přesně určit prvky v místě, na které fotony dopadají(chemická analýza).



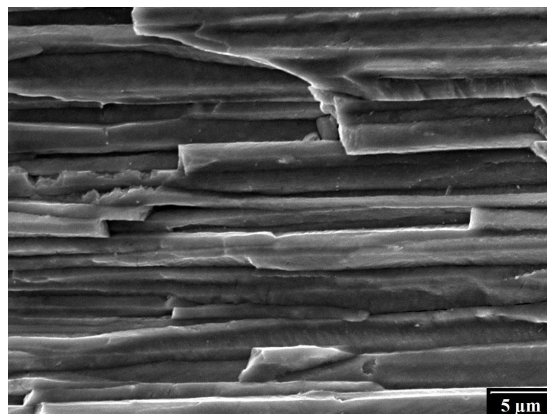
Obrázek 1: schéma dopadu elektronu na atom ve vzorku^[1]

3 Pozorování

Na obrázku 2 můžete vidět snímek řezu trubice 190x zvětšený. Trubice se skládá ze 4 dobře rozlišitelných vrstev. Později jsme s pomocí chemické analýzy zjistili, že vrstva 1(zprava) je z chromu a stejně jako vrstva 4(ze Zn, Nb a jejich oxidů) tvoří podlouhlé úzké krystaly(obr 3), podél kterých se porušuje. Vrstva 3 se porušuje štěpně, tedy v nepravidelných ostrých kusech po kterých zůstávají viditelné hrany. Ve 2. vrstvě je jak lom tvárný, tak lom štěpný.

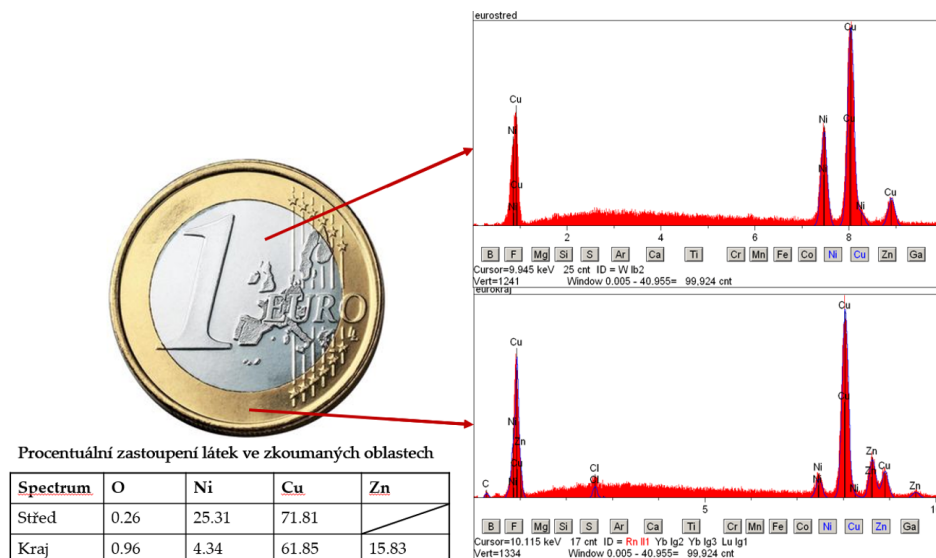


Obrázek 2: průřez stěnou palivové trubice



Obrázek 3: vrstva 4 - oxidy zirkonu a niobu

Dále jsme se s pomocí energiově disperzní analýzy dozvěděli, z čeho se skládají jednotlivé části mince euro. Chlor a uhlík pocházejí z nečistot viz obrázek 4.



Obrázek 4: výsledky chemické analýzy eurové mince

4 Shrnutí

Seznámili jsme se s principem funkce řádkovacího elektronového mikroskopu a s jeho pomocí jsme dokumentovali morfologii lomu trubice a pozorovali na ní mechanická porušování na trubici. Zjistili jsme, že se skládá ze 4 vrstev a že každá podléhá jiným změnám. Také jsme na některých pozorovaných předmětech provedli analýzu chemického složení.

Poděkování

Děkujeme panu Janu Adámkovi za umožnění tohoto miniprojektu v rámci Týdne vědy na Jaderce.

Reference

[1]https://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope

Co oční pohyby prozradí o prohlížení obrázků nejen generovaných AI

L. Hampejsová*, M. Bureš *, J. Khaled**

Gymnázium Děčín *, První české gymnázium v Karlových Varech**

LHampejsova@seznam.cz, buress.matej2004@gmail.com,

khjasmin@seznam.cz

Abstrakt:

Cílem průzkumu bylo zjistit, zda mají lidé při letmém pohledu na fotku možnost odhalit, že byla generována AI. Z tohoto důvodu jsme mapovali oční pohyby při pohledu na různé portrétní fotografie. Jako hlavní indikátor kognitivních procesů jsme použili dobu trvání fixace a její četnost. Nejčastěji lidé směřovali pohled na oči, nos a pus, případně na neobvyklé věci. Dále jsme sledovali, jak se změny jejich způsobu prohlížení portrétní fotografie, pokud mají určit, zda je vygenerována AI. Výrazné kvalitativní změny v lokaci fixací jsme zaznamenali u tří účastníků, kteří mají profesní zkušenosti s AI. Použili jsme validní data od 9 účastníků.

1 Úvod

V době, kdy se zdokonaluje umělá inteligence, je mnohdy těžké poznat, co bylo a co nebylo vytvořeno právě umělou inteligencí. My jsme se rozhodli zjistit, zda je člověk schopný poznat uměle vygenerovaný obrázek od skutečných. Jednou z hlavních motivací byl článek, který se objevil na portálu *novinky.cz* [1], který psal o fotografovi, jenž vyhrál soutěž s fotografií vygenerovanou AI. Nikdo z poroty nepoznal, že se nejedná o skutečnou fotografii, dokud o tom sám autor neinformoval. Pro zjištění potřebných informací jsme využili metody eyetrackingu.

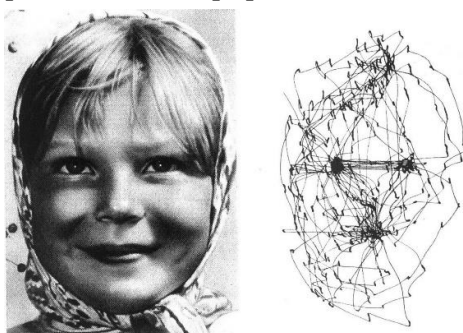
Metoda eyetrackingu [2] se mimo jiné využívá v marketingu, k rozeznání strojových překladů a k zefektivnění a individualizaci vzdělávání. V tzv. neuromarketingu se zařízení sledující oční pohyby využívají především z důvodu zvýšení prodejnosti produktů jejich efektivnějším umístěním na místa, na která lidé nejčastěji koukají. Správnost strojových překladů se hodnotí také pomocí eyetrackingu, viz např. [3]. Lidé mají tendenci déle koukat na věci, které jsou pro ně neobvyklé a neočekávané. Pokud se v textu objeví chyba či neběžně užívané slovo, lidé se pohledem vrací a udrží na daném slově pohled delší dobu.

Pro vzdělávací účely je eyetracking užitečný především pro analýzu metod řešení úloh (s výběrem odpovědi) žáky a porovnávání metod nadprůměrných i podprůměrných žáků. Např. žák s potřebnými znalostmi nevěnuje zdaleka tolik pozornosti na první pohled špatným odpovědím. Naopak žák s horšími znalostmi věnuje pozornost všem možnostem rovnoměrně.

2 Cíle a metoda průzkumu

Cíle průzkumu

Cílem kvalitativního průzkumu bylo zjistit, zda si lidé při běžném pohledu na portrét všimají míst, která umělá inteligence obvykle neumí dostatečně kvalitně vygenerovat. Obvykle mají lidé tendenci se zaměřit zejména na oblast očí, nosu a pusy v typickém trojúhelníku [4]. Můžeme tedy očekávat, že AI špatně vygenerované pozadí divák uvidí pouze periferním viděním a nepostřehne v něm případné nesrovnalosti.



Obr. 1 Tříminutové volné prohlížení fotografie. Původní práce A. Yarbuse [4].

Dále jsme chtěli zjistit, jakým způsobem člověk změní svůj způsob prohlížení obrázků, pokud je mu představena možnost, že některé z nich mohou být vygenerované pomocí umělé inteligence (viz testovací materiál, první a druhá sada).

Dále jsme se snažili zjistit, jak se odlišuje způsob řešení slovních úloh a úloh s grafy. Také jsme pozorovali, jakým způsobem lidé zareagují, pokud se v textu objeví pravopisná chyba nebo jiný nepředvídatelný slovní obraz či informace (viz testovací materiál, třetí sada).

Testovací materiál

Testovacím materiálem byla sada úloh, která vždy začínala zadáním. První sada úloh obsahovala sérii obrázků, u kterých měli účastníci průzkumu určit, zda vědí, o jakou osobu se jedná. V druhé sadě se jim ukázaly opět stejné obrázky, ale tentokrát měli účastníci určit, zda se dle jejich názoru jedná o obrázek generovaný pomocí umělé inteligence. Třetí, poslední sada, obsahovala tři úlohy s výběrem odpovědi. Dvě úlohy nabízely odpovědi v textové podobě a jedna v podobě grafů. Poslední úloha obsahovala úmyslně chyby a nesmyslná slova.

Účastníci průzkumu

Průzkumu se účastnilo celkem 9 lidí (1 žena a 8 mužů). Tři z účastníků měli profesní znalosti umělé inteligence. Všichni účastníci byli vybráni na chodbě Matfyzu.

Oční kamera a vizualizace dat

Sledování očních pohybů probíhalo na oční kameře TobiiTX300 s frekvencí snímání 300 Hz. Nebyla použita opěrka brady. Za validní byla považována data, kdy bylo zachyceno alespoň 90 % pozic očí. Data byla vizualizována v software TobiiPro 3.2.

Průběh testování oční kamerou

Účastníci byli seznámeni s fungováním oční kamery, byli i upozorněni, že nesmí v průběhu pohybovat hlavou, a s průběhem následné kalibrace. Kalibrace probíhala po seznámení s instrukcemi, po obrazovce se pohybovalo červené kolečko, jenž měl účastník

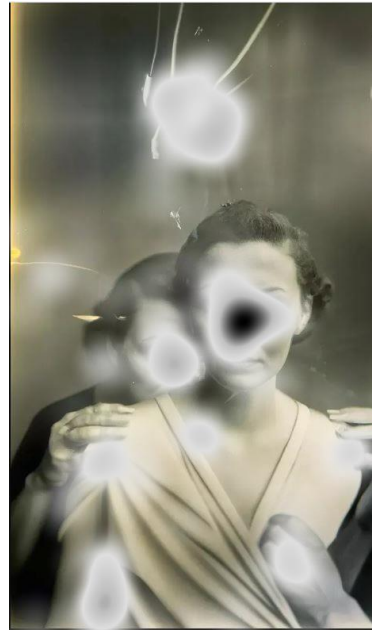
pozorovat očima. Testování zabralo přibližně pět minut. Po testování jsme účastníkům ukázali, jak obrázek pozorovali. Společně s účastníky jsme interpretovali výsledky a došli jsme k závěru, jakým způsobem sledují obrázky a jak se orientují v textu. Po dokončení jsme se účastníků ptali, jestli mají s AI nějaké bližší zkušenosti.

3 Výsledky

1. Při prvním volném prohlížení fotografií byl u větších fotografií znatelný výše zmíněný trojúhelník. Na menších fotografiích stačilo méně fixací uprostřed obličeje, okolí bylo vnímáno periferně. Pouze u fotografie vědkyně s rukou ve výši obličeje ukazující zkumavku bylo zaměření účastníků na obličej a zkumavku podobně výrazné.
2. Při druhém prohlížení zejména tři účastníci s profesní zkušeností vykazovali kvalitativní změnu v lokaci fixací. Jejich zaměření bylo zejména na pozadí, nápisy. Viz ilustrativní mapy pozornosti pro obrázek z článku novinky.cz [1].



Obr. 2 První pohled na fotku.



Obr. 3 Rozhodování zda je fotografie vygenerovaná.

3. Mezi třemi účastníky s profesní zkušeností s AI se objevil rozdíl v jejich strategiích. Jeden účastník například uplatňoval strategii prohlížení pozadí a obrázky systematicky procházel (viz obr. 4). Druzí dva účastníci, které můžeme nazvat experty, již měli tuto strategii zautomatizovanou a jejich pohled automaticky zamířil k nesrovnalosti pozadí (obr. 5). Účastník na obr. 4 také v případě nesrovnalosti v pozadí udělá najednou více fixací.

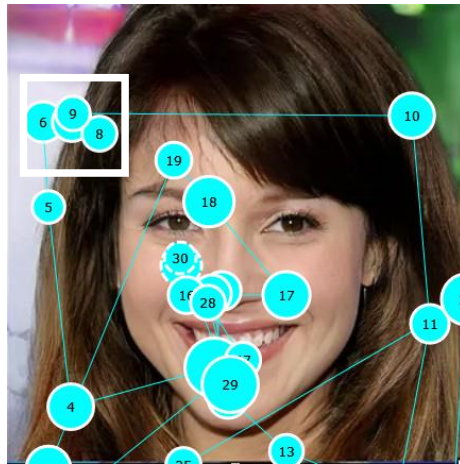
4 Shrnutí a diskuze

Lidé, kteří měli předešlou zkušenost s AI-generovanými obrázky, více zaměřovali svojí pozornost na pozadí, ruce a zuby, když se rozhodovali, zda je obrázek generovaný AI, což je v souladu s doporučeními expertů [5]. Lidé bez profesních zkušeností se také

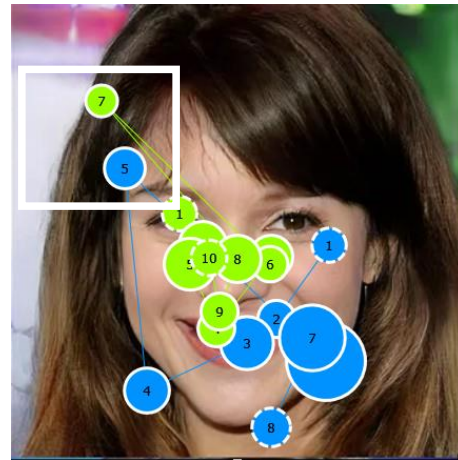
zaměřovali na okolí, ale bylo znát, že se na obrázku tolik neorientují. Lidé se nejčastěji koukají do oblasti očí, nosu a pusy a jejich pohled vytváří pomyslný trojúhelník. Tento jev byl znatelný jak v případě obyčejného prohlížení obrázku, tak při jejich rozhodování o jeho původu.

Dále jsme zjistili, že pokud se v textu vyskytuje neobvyklé spojení, či pravopisná chyba, člověk má tendenci se k těmto spojením vracet a zaměřit se na ně na delší dobu.

V budoucnosti očekáváme rozšíření využívání eyetrackingu v oblastech marketingu, vzdělávání, strojových překladech i v mnoha dalších.



Obr. 4 Gaze plot účastníka profesně se zabývajícím AI při druhém prohlížení.



Obr. 5 Gaze ploty dvou dalších účastníků profesně se zabývajícím AI při druhém prohlížení.

Poděkování

Naše poděkování patří především RNDr. Martině Kekule Ph.D., vedoucí našeho miniprojektu, za její ochotu, trpělivost a užitečné rady. Dále bychom chtěli poděkovat organizátorům Týdne vědy TV@J, FJFI, a děkujeme MFF UK za poskytnutí prostorů.

Reference

- [1] Novák, R. Umělá inteligence porazila nejlepší fotografy. A nikdo si toho nevšiml. Dostupné on-line: <https://tinyurl.com/4a8amvh2>. Citováno [19.6.2023]
- [2] *Eye tracking*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking. Citováno [20.6.2023].
- [3] Doherty, Stephen & Brien, Sharon & Carl, Michael. (2010). *Eye tracking as an Automatic MT Evaluation Technique*. Machine Translation. 24. 1-13. 10.1007/s10590-010-9070-9.
- [4] Holmqvist, Kenneth & Andersson, Richard. (2017). *Eye-tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms and measures*.
- [5] McDonald, K. How to recognize fake AI-generated images. Dostupné on-line: <https://kcimc.medium.com/how-to-recognize-fake-ai-generated-images-4d1f6f9a2842> Citováno [19.6.2023]

Identifikace neznámých látek za pomoci rentgenové difrakční analýzy

Autoři (V. Belada, V. Zajac, M. Beran)

Instituce, adresy (ČVUT – Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská –
Katedra inženýrství pevných látek, Trojanova 13, 120 00 Praha 2)

E-mail – belada.vojtech@psjg-hk.cz

– 20Lzajac@student.panska.cz

– beran.matyas@gymhu.cz

Abstrakt:

Práce (*Identifikace neznámých látek za pomoci rentgenové difrakční analýzy*) se zabývá strukturní analýzou práškové směsi složené z tří různých složek. K jejich analýze je používán je postup známý jakožto rentgenová difrakční analýza, který je vhodným nástrojem pro identifikaci fázového složení.

V praktické části práce jsou úspěšně odhaleny všechny tři látky. Konkrétně se pak jednalo o kuchyňskou sůl, jedlou sodu a křídou. Zároveň byla ovšem zaznamenána příměs neznámého původu, kterou ani po prvkové analýze nebylo možné identifikovat.

1 Úvod

Rentgenová difrakční analýza je nedestruktivní analytická metoda, pomocí které se analyzuje struktura krystalové mřížky materiálů. Funguje na principu difrakce záření krystalovou mřížkou a jeho následné detekci. Monochromatické záření zasáhne vzorek a na základě úhlu dopadu způsobí difrakci – rozptyl monochromatického záření na atomových rovinách krystalického materiálu. Analýzou lze určit fyzikální vlastnost jako druh krystalové mřížky, její orientace, zbytková napětí, přítomnost defektů, koncentrace příměsí atd. Metoda byla objevena již v roce 1912 Maxem von Laue. Metoda byla využívána u mnoha průlomových objevů například v biologii pro určení struktury DNA a různých aminokyselin. Metoda je dodnes hojně používána ve strojírenství, farmakologii, forenzice, geologii, sklářství a výzkumu nanomateriálů a integrovaných obvodů [1] [2].

2 Rentgenová difrakční analýza

Rentgenová difrakční analýza je metoda používaná v inženýrství pevných látek k určení krystalografické struktury těchto materiálů. Samotné zařízení funguje na principu ozařování materiálů rentgenovým zářením o určité vlnové délce a následného měření intenzity a úhlu jeho

rozptylu [3]. Tato kapitola se zabývá samotnými principy, na kterých difraktometr funguje, i následnou analýzou výsledků.

Princip funkce

Rentgenové paprsky potřebné pro tuto metodu jsou nejprve vytvořeny v rentgence, kde urychlené elektrony narážejí do anody z určitého materiálu, jehož elektrony jsou srážkou vyraženy. Elektrony z vyšších vrstev se srazí toto místo zaplnit, při čemž emitují charakteristické záření o známé vlnové délce. Volba terče ovlivňuje energii emitovaného záření, což má za následek i jiné výstupní spektrum z difraktometru. Z širokého spektra rentgenového záření se musí následně odstínit nežádané energie s pomocí speciálního kovového plíšku pro vytvoření monochromatického svazku, který je následně zkolimován. Paprsek zasáhne vzorek, kde je difraktován. Defrakci pak lze interpretovat jakožto odraz záření na atomových rovinách a jeho následná interference. Vztah pro interakci lze vyjádřit Braggovou rovnicí

$$n\lambda = 2d \sin \theta,$$

kde n je počet vrstev (většinou jedna), λ je vlnová délka, d je vzdálenost mezi atomy a θ je difrakční úhel. Během měření se otáčí ramena rentgenového zdroje i detektoru, čímž se mění úhel. Pozvolným pohybem ramen naměříme histogram intenzity záření v závislosti na difrakčním úhlu. Analýzou těchto dat lze určit různé parametry reálné struktury vzorku. Metodu lze použít jak pro kvalitativní, tak kvantitativní analýzu například koncentrace příměsí na základě výšky jednotlivých difrakčních maxim. Vzorky je možné analyzovat vcelku pro změření povrchové struktury a defektů nebo i ve formě prášků. Látka je možné rozeznat z toho důvodu, že každá má unikátní kombinaci symetrie krystalické mřížky, velikosti této krystalické mřížky a bází.

Analýza výsledků

Po úspěšném provedení rentgenové difrakční analýzy je nutné provést samotnou práci s výslednými daty. Tu lze rozdělit do dvou základních částí – zpracování naměřených dat a hledání shod s dostupnou databází.

Zpracování dat

Nejprve je pomocí výpočetních technologií nalezeno pozadí. Následně jsou automaticky identifikovány tzv. „peaky“, které uživateli ukazují úhly, pod kterými dochází u látek ke konstruktivní interferenci.

Moderní programy ovšem nejsou schopné bezchybně určit polohu všech těchto peaků. Proto musí být celý záznam v dalším kroku procházen a manuálně upravován uživatelem. Jakmile jsou chybějící peaky uživatelem vloženy, křivka je na data finálně nafitována. Proces fitování je také aplikován před zahájením manuálního vkládání nových peaků a také na zvolené úseky po každém vložení nového peaku.

Hledání shod s databází

Jakmile je křivka patřičně upravena, můžeme ji pomocí softwaru začít porovnávat s dostupnou databází. Pokud máme dostupné nějaké informace o zkoumané látce (její prvkové složení apod.), můžeme je aplikovat ve formě restrikcí. Ty mají schopnost redukovat množství shod s databází, což může začně usnadnit práci, kterou obnáší manuální hledání shod s danou databází.

Samotný program je schopný percentulálně ohodnotit shody měřených látek s látkami zaznamenanými v samotné databázi. Je pak ovšem na uživateli, aby zvolil správnou kombinaci látek, které se ve směsi/látce vyskytují. Pomoc nám při tom můžou přinést i znalosti o barvě či struktuře látky, kterou máme dostupnou.

Při vyhodnocování se též můžeme řídit jakousi hierarchií důležitosti informací. První by měly být vyhodnocovány peaky s největší intenzitou - jejich pozice a intezita. Následně jsou pak vyhodnocovány peaky, jejichž intenzity nedosahují příliš vysokých hodnot. Pozice by také měla mít přednost před intenzitou peaků.

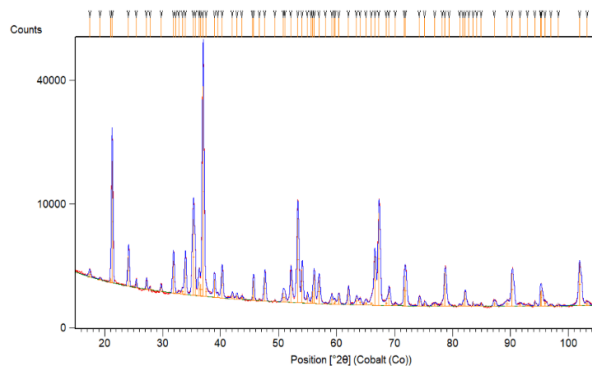
Proces může považovat za dokončený, jakmile jsou všechny peaky (zejména ty s vyššími intenzitami) přiřazeny k daným látkám a jejich intenzity i pozice většinově odpovídají.

3 Metodika

Z 5 vzorků byly vybrány tři, které byly pečlivě nadrceny a promíchány v mosazném hmoždíři. Pro difraktometrii bylo použito zařízení PANalytical X'Pert Pro MPD s kobaltovou rentgenkou od společnosti Malvern Panalytical. Pro samotnou analýzu byl použit software HighScore PLUS a knihovny PDF dostupné přímo v programu. Přesný postup ovládání difraktometru a analýzy dat je popsán výše.

4 Výsledky

Prvním krokem po obdržení výsledných dat z difraktometru byla jejich úprava. Úspěšně bylo nadefinováno pozadí, manuálně přidány systémem nenalezené peaky a nafitována finální křivka (viz obrázek 2).



Obrázek 1 – výsledná data z rentgenového refraktoru s finálně nafitovanou křivkou

Programem byly nalezeny nejbližší shody s daty v systému. Jednu z nejvyšších shod měla kuchyňská sůl (NaCl), která zároveň odpovídala svojí barvou a strukturou. Proto byla právě ona vybrána jako jeden z ucházejících kandidátů.

Peak, který nebyl v minulém kroku přiřazen ke kuchyňské soli, měly poměrně velké procento shody s jedlou sodou (NaHCO_3), která byla taktéž po porovnání barvy a struktury přiřazena na list možných složek.

Zbýlé peaky byly programem vyhodnoceny jakožto křída, která má ve svém standardním složení chemický vzorec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Křída byla tedy taktéž zařazena do seznamu pravděpodobných složek.

I po přiřazení poslední složky byly ovšem některé peaky nepřirazené, či přiřazené s neopovídající intenzitou. Tyto peaky byly interpretovány jako kontaminace neznámého původu. Následovala tedy prvková analýza, která byla ovšem neúspěšná. Nalezeny byly pouze prvky, které nemohly být součástí samotné směsi.

Diskuse

Po nalezení nepřirazených peaků byla snaha tento jev objasnit. První hypotézou byl peak z NaHCO_3 neuvedený v knihovně, což se ovšem později vyvrátilo po opětovném měření samotného NaHCO_3 . Rozhodli jsme se proto využít prvkovou analýzu, která však neodhalila žádné smysluplné prvky. Pravděpodobným důvodem je, že účinnost měření lehkých prvků je u tohoto přístroje velmi nízká. Nejpravděpodobnějším vysvětlením tak zbývá kontaminace látek při drcení v hmoždíři.

Shrnutí

Pomocí rtg difrakce byly ve směsi vyhodnoceny fáze kychyňské soli (NaCl), jedlé sody (NaHCO_3) a křídly ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Nebyl ovšem se stoprocentní jistotou odhalen původ kontaminantu, který byl zaznamenán pomocí rentgenové difrakce. Závěrem lze říci, že rentgenová difrakce je schopná nedestructivně rozlišit jednotlivé fáze ve směsi.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat především Jiřímu Čapkovi, vedoucímu našeho miniprojektu, za předání cenných znalostí a informací. Dále bychom rádi poděkovali organizátorům TV@J a Katedře inženýrství pevných látek FJFI za příležitost si vědeckou práci vyzkoušet a dozvědět se něco nového.

Reference

- [1] HOLLER, Mirko, Manuel GUIZAR-SICAIROS, Esther H. R. TSAI, Roberto DINAPOLI, Elisabeth MÜLLER, Oliver BUNK, Jörg RAABE a Gabriel AEPPLI. High-resolution non-destructive three-dimensional imaging of integrated circuits. *Nature* [online]. New York One New York Plaza Suite 4500: Springer Nature Limited, 1869, 15. března 2017 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/nature21698>
- [2] BUNACIU, Andrei A.; UDRIȘTIOIU, Elena Gabriela; ABOUL-ENEIN, Hassan Y. X-ray diffraction: instrumentation and applications. *Critical reviews in analytical chemistry*, 2015, 45.4: 289-299
- [3] TWI. What is X-Ray Diffraction Analysis (XRD) and How Does it Work?. TWI [online]. Granta Park, Great Abington, Cambridge, CB21 6AL, UK: TWI, 1999 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/x-ray-diffraction>

Tenké vrstvy, jak i málo dokáže hodně změnit

V. Kotyza*, M. Studeník**

Gymnázium dr. A. Hrdličky, Humpolec*,

Gymnázium Matyáše Lercha, Brno**

vaclavkotyza@icloud.com*, xstudenik@gml.cz**

Abstrakt:

Práce se zaměřuje na přípravu stříbrné tenké vrstvy pomocí Ionized Jet Deposition na mikroskopové skličko. Následná analýza pomocí AFM zjistila tloušťku 450 nm a strukturu povrchu nanesené vrstvy. Rentgenová difrakce potvrdila nanesení čisté vrstvy stříbra, která vykazuje preferenční orientaci.

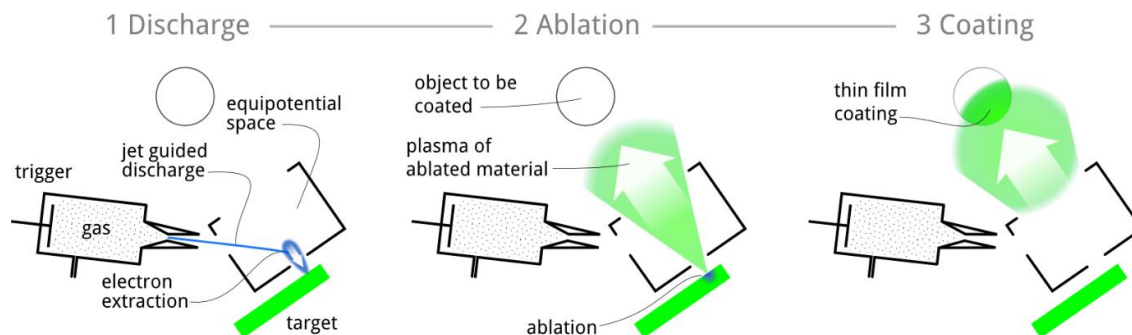
1 Úvod

Tenké vrstvy jsou součástí života každého z nás, pracujeme s nimi každý den. Využívají se v dotykových displejích mobilních telefonů a veškeré elektronice současnosti. Pro jejich vliv na materiály, například zvýšení tvrdosti a tím prodloužení výdrže daného zařízení, jsou nanášeny na povrchy vrtáků či kloubních náhrad. Způsoby jejich přípravy jsou rozmanité, tato práce je zaměřena na metodu Ionized Jet Deposition. Vzorek byl následně podroben analýze tak, aby byly zjištěny vlastnosti vrstvy, jejíž depozice byla prováděna při daných parametrech.

2 Příprava tenké vrstvy

IJD

Ionized Jet Deposition (Ionizovaná trysková depozice) spočívá v krátkých elektrických výbojích na materiál, na který chceme nanášet. Výboj elektronů je směřován do pevného terče což způsobí povrchový výbuch (ablaci) a následnou emisi materiálu ve formě plazmatu. Toto plazma vytvoří vrstvu na jakémkoliv objektu, který se nachází v jeho cestě. [1]



Obrázek 1: princip ionizované tryskové depozice [2]

Příprava substrátu a depozice

Mikroskopové sklíčko bylo očištěno mýdlem a vodou, následně střídavě oplachováno acetonem, izopropylalkoholem a destilovanou vodou, dokud voda nestékala po sklíčku bez odporu. Poté bylo v acetonu ponořeno na 5 minut do ultrazvukové čističky.

Vyčištěné sklíčko bylo upevněno na držák a zasunuto do držáku substrátu v depozičním systému. Dále byl připevněn stříbrný terč na držák. Před substrát byla umístěna clona. Systém byl vypumpován na požadované vakuum a byla spuštěna depozice se zacloněným substrátem, aby se předešlo znečištění substrátu. Po 3 minutách byla clona odkloněna a samotná depozice probíhala 45 minut. Po skončení depozice byl systém napuštěn na atmosférický tlak a substrát byl vyndán.

Materiál substrátu	sklo	Tlak při depozici [mbar]	$7,9 \times 10^{-4}$
Materiál terčíku	stříbro	Conditioning terčíku [min]	3
Vzdálenost terčík – substrát [mm]	110	Depoziční doba [min]	45
Vzdálenost terčík – tryska [mm]	3	Urychlovací napětí [kV]	18
Teplota substrátu [K]	pokojeová	Frekvence pulzů [Hz]	30
Tlak před depozicí [mbar]	$3,9 \times 10^{-5}$	Pracovní plyn	Varigon

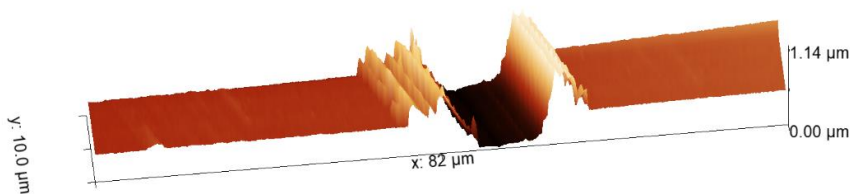
Tabulka 1: depoziční parametry

3 Analýza tenké vrstvy

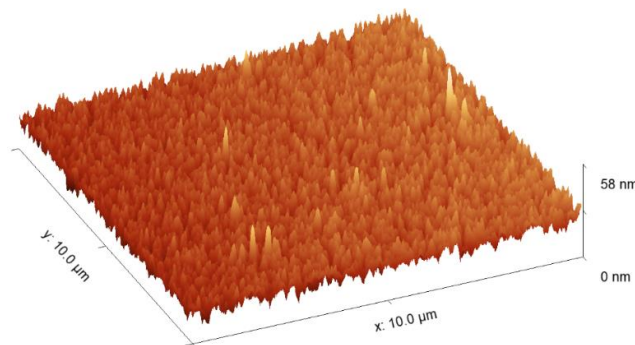
AFM

Atomic Force Microscopy (mikroskopie atomárních sil) je technika využívající meziatomové přitažlivosti. Během měření se po vzorku pohybuje velmi ostrý hrot, který se v našem případě vzorku nedotýká a měří se velikost amplitudy jeho kmitání. Jelikož velikost amplitudy závisí na vzdálenosti mezi hrotem a vzorkem lze sledováním změn sestavit obraz povrchu vzorku. [3]

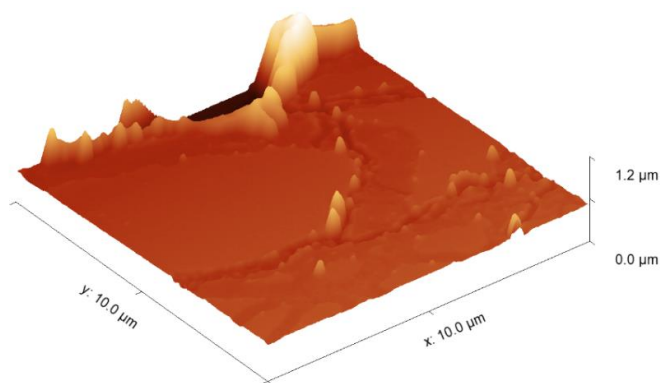
Pomocí AFM LiteScope od společnosti NenoVision se sondou Akiyama byla zkoumána tloušťka pomocí uměle vytvořené rýhy (viz obrázek 2) ve vrstvě. Zjištěná tloušťka deponované vrstvy je 450 nm. Dalším skenováním se zjistila struktura povrchu, která je hladká (viz obrázek 3) a dále povrchu, na kterém jsou „pavučiny“ způsobené elektrickými výboji (viz obrázek 4), které procházely vzorkem během depozice.



Obrázek 2: měření tloušťky deponované vrstvy na AFM pomocí uměle vytvořené rýhy



Obrázek 3: hladký povrch nanesené vrstvy naměřený pomocí AFM

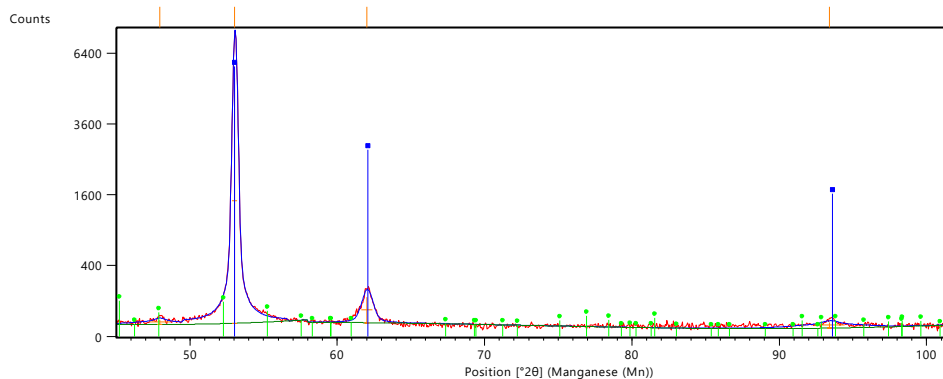


Obrázek 4: povrch nanesené vrstvy rozpraskaný elektrickými výboji, v zadní části je patrné kompletní odlomení vrstvy

Rentgenová difrakce

Vzorek byl zkoumán metodou rentgenové difrakce pomocí stroje Empyrean od firmy PANalytical manganovou rentgenkou s vlnovou délkou 2,103 Ångströmu. Použitým detektorem byl 1Der typ RTMS (polohově citlivý/polovodičový).

Výsledkem zkoumání pomocí této metody bylo zjištění, že vzorek obsahuje stříbro v kubické plošně centrované mřížce. Vrstva obsahuje také velmi malý podíl oxidu stříbra. Struktura byla určena jako polykrystalická a bylo zjištěno, že vrstva je velmi silně preferenčně orientovaná (texturovaná) ve směru tělesové úhlopříčky kolmé na povrch substrátu.



Graf 1: rentgenová difrakce vzorku stříbra

4 Závěr

Na mikroskopové sklíčko byla úspěšně nanесena vrstva stříbra pomocí metody IJD. Pomocí metody AFM byla naměřena tloušťka 450 nm, část povrchu byla hladká a část byla rozpraskaná. Pomocí rentgenové difrakce bylo zjištěno malé znečištění vrstvy oxidem stříbra a kubická plošně centrovaná mřížka s polykrystalickou strukturou s velmi silnou texturou ve směru tělesové úhlopříčky kolmé na povrch substrátu.

Poděkování

Naše poděkování patří panu Ing. Jakubu Skočdopolovi za vysvětlení a vedení miniprojektu. Také bychom rádi poděkovali panu Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. a celému týmu za organizaci TV@J a také FJFI ČVUT a sponzorům.

Reference

- [1] J. Skočdopole. IJD deposition of ultra-hard thin layers onto substrates of high-alloy steels an application in medicine study. ČVUT v Praze, diplomová práce, 2017
- [2] princip depozice IJD, <https://noivion.com/technology/>, přejato 20. 06. 2023
- [3] Metody analýzy povrchů: iontové, sondové a speciální metody, kol. autorů, Praha, Academia 2002

Výroba nových sorbentů pomocí tepelné degradace odpadní biomasy

Lenka Konopová*, Radim Kratochvíl**

*Gymnázium, Ústí nad Labem, Jateční 22, příspěvková organizace

**Střední zahradnická škola Rajhrad, příspěvková organizace

Abstrakt:

Práce se zabývá dvěma způsoby přípravy biocharu, středněteplotní pyrolýzou a vysokoteplotní pyrolýzou s aktivací vodní parou. Popisujeme rozdíly koncentrací plynu v závislosti na procesu a zároveň strukturu vzniklých pórů. Pyrolýzovaný biochar obsahuje velmi málo pórů, zatím co struktura aktivovaného biocharu má pórovitost větší.

1 Úvod

Tato práce se zabývá srovnáváním dvou způsobů výroby biocharu. Při tomto projektu jsme využily fyzikální aktivaci s tím, že jeden vzorek podléhal pouze pyrolýze a druhý byl následně aktivován vodní parou.

Biochar jsou tepelně upravené organické materiály čili materiály, které obsahují uhlík. Mohou obsahovat i atomy jiných prvků, např. vodíku, dusíku, síry, fosforu nebo kyslíku. Při výrobě biocharu se zpracovávají organické odpadní látky např. dřevo, ropa, plast, nejčastěji se však využívají materiály s malým obsahem vody a velkou tvrdostí např. odřezky kokosové kůry u nás lze takto využít různé pecky nebo ořechové skořápky.

K přípravě biocharu se využívá proces pyrolýzy. Pyrolýza je způsob rozkladu materiálu za nepřístupu vzduchu při vysokých teplotách. Materiál se částečně rozkládá a vzniká porézní sktruktura. Na pyrolýzu může navazovat proces aktivace vzniklého uhlí [1].

Aktivace vede ke zvětšení specifického povrchu materiálu. Je možné je provést aktivaci dvěma typy, fyzikální a chemickou.

Fyzikální aktivace je úprava při zahřátí materiálu na vyšší teploty (nad 800 °C) pomocí vhánění různých plynných látek (vodní pára, oxid uhličitý aj.) do procesu. Druhá, chemická, metoda využívá lázeň zásad (hydroxid sodný aj.), nebo kyselin (kyselina sírová, kyselina chlorovodíková, chlorid zinečnatý aj.), po kterém se však musí promýt destilovanou vodou a následně usušit.

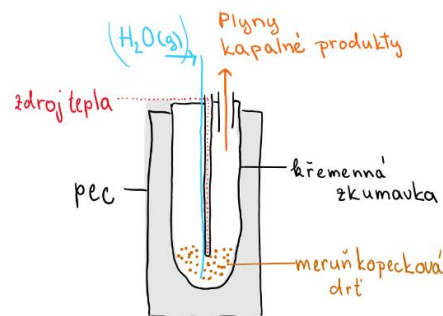
Na konci těchto procesů vzniká materiál s velkým povrchem, nám známé aktivní uhlí. Větší povrch u materiálů je vhodný pro sorpci ostatních prvků. Tuto schopnost můžeme využít nejen v lékařství, ale i např. v vodohospodářství k zachycování různých nežádoucích prvků, např. těžkých kovů [2].

Cílem naší práce je porovnat vlastnosti dvou materiálů. Jeden připravený pyrolýzou a druhý aktivovaný vodní parou a jejich možné využití.

2 Analýza vzorků

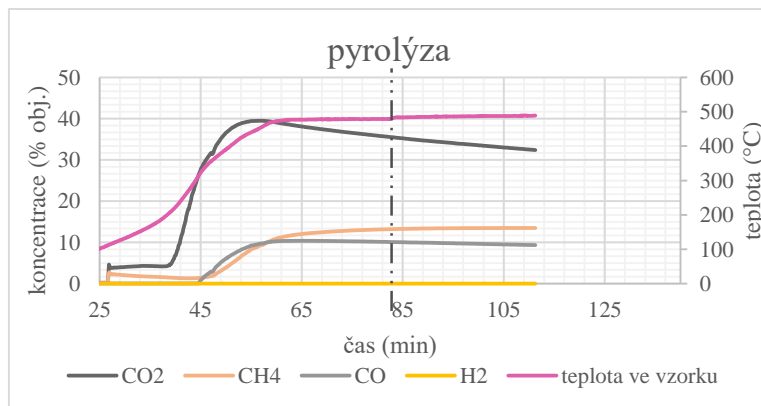
K naší práci jsme zvolili meruňkové pecky, neboť jsou v našich krajinách, na rozdíl od koksových skořápek běžným odpadním materiálem.

Meruňkové pecky se umyjí a nechají vysušit a následně jsou rozemlety ve střížném mlýnu na drť s velikostí kousků pod 3 mm. Množství suché meruňkopeckové drti vložíme do křemenné zkumavky, kterou umístíme do elektricky ohřívané pece (Obrázek 1). Jeden ze vzorků byl zpracován pyrolýzou do teploty 500 °C (bez přístupu vzduchu), druhý byl zpracován také pyrolýzou do teploty 900 °C s následným zplyňováním, čímž rozumíme vhánění aktivačního média, v našem případě vodní páry. Zplyněním vzniknul aktivovaný biochar podobný aktivnímu uhlí.

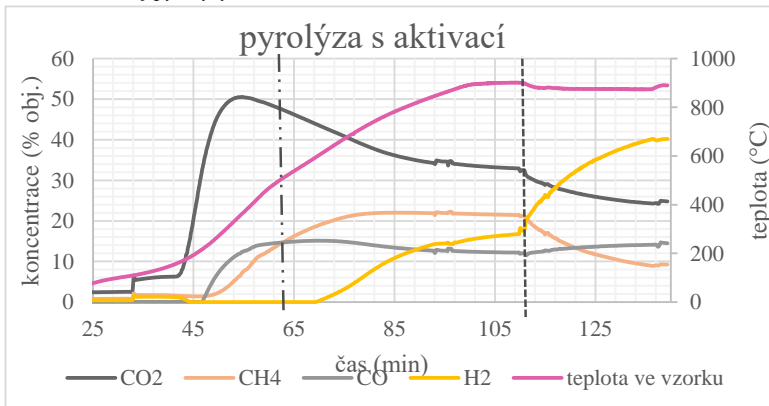


Obrázek 1 Popis aparatury

Z grafu analýzy (Obrázek 2), která probíhala v době pyrolýzy do 500 °C je zřejmé, že největší nárůst probíhá v koncentraci oxidu uhličitého od přibližně 200 °C, při 400 °C dosáhne svého maxima a poté mírně klesá. Metan stoupá od cca 350 °C stejně jako oxid uhelnatý, který má svůj vrchol při přibližně 450 °C. Vodík se v teplotách do 500 °C netvořil. V grafu analýzy pyrolýzy do 900 °C s následnou aktivací (Obrázek 3) jsou vidět značné změny. Hranice 500 °C je v obou grafech vyznačeny čerchovanou čarou. Koncentrace vodíku se z dosavadní nuly zvedá, koncentrace metanu za hranicí 500 °C vzroste na rozdíl od koncentrace oxidu uhelnatého, která stagnuje a klesá, koncentrace oxidu uhličitého nadále od 400 °C klesá. Další významné změny přicházejí se zplyněním – přidáním vodní páry, to je v grafu naznačeno čárkovanou čarou. Za ni koncentrace vodíku i oxidu uhelnatého vzroste, na rozdíl od koncentrace oxidu uhličitého nebo methanu, který rapidně klesá.

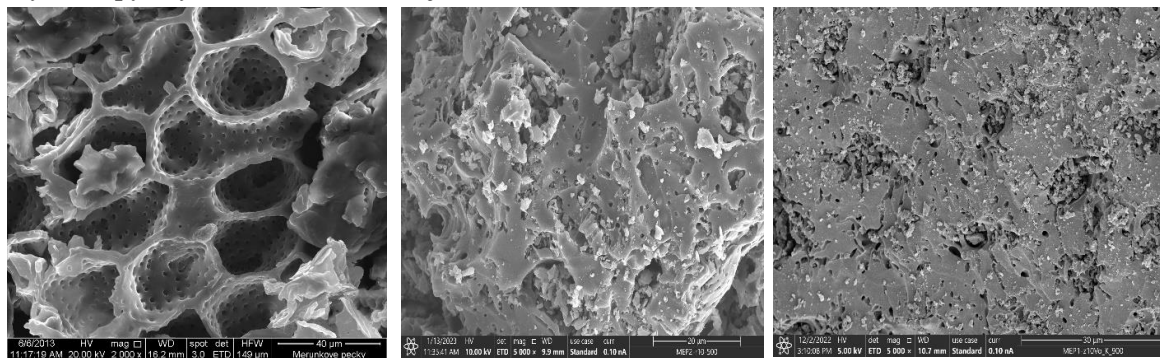


Obrázek 2 Graf pyrolýzy



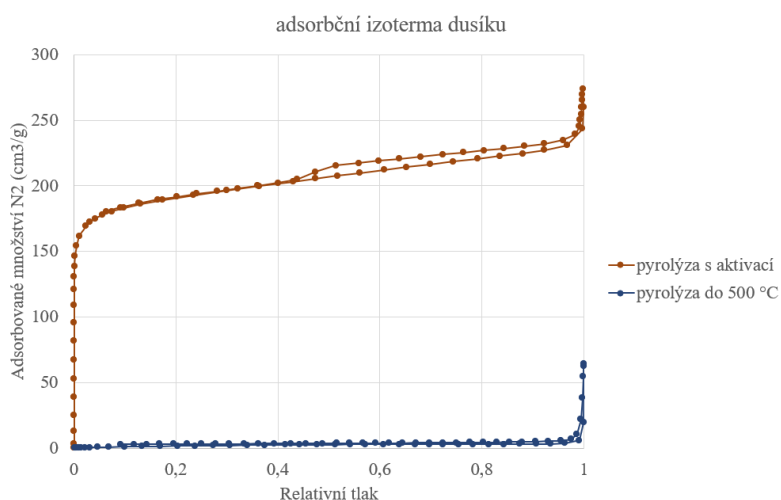
Obrázek 3 Graf pyrolýzy s aktivací

Výtěžek pyrolyzovaného biocharu je 27,7 % a aktivovaného biocharu 20,2 %.



Obrázek 4 Obrázky ze skenovacího elektronového mikroskopu a) meruňkové pecky b) m. pecky po pyrolýze c) m. pecky po pyrolýze a aktivaci vodní parou

Struktura jednotlivých materiálů je vidět na obrázcích z elektronového mikroskopu (Obrázek 4). Meruňkové pecky mají pravidelnou strukturu. Struktura meruňkových pecek, které prošly procesem pyrolýzy do teploty 500 °C mají hrubší strukturu a menší pórovitost, na rozdíl od materiálu, který prošel pyrolýzou do teplot 900 °C s aktivací, ten má dobře vyvinutou pórovitou strukturu.



K určení objemu pórů materiálů se využívá adsorbční izoterma dusíku [3]. Pyrolyzované a aktivované meruňkové pecky jsou porovnány na Obrázku 5. Pyrolyzované meruňkové pecky jsou téměř neporézní (izoterma se pohybuje v blízkosti osy x), zatímco aktivovaný biochar je s převahou mikropórů (do 2 nm) a menším množstvím mezopórů (2–50 nm).

Obrázek 5 Adsorbční izoterma dusíku

3 Závěr

V práci porovnáváme vlastnosti biocharu připraveného dvěma způsoby. Neaktivovaný biochar vznikl pyrolýzou do 500 °C, aktivovaný biochar pyrolýzou a následnou aktivací vodní parou při 900 °C. Aktivovaný biochar se vyznačuje větším objemem pórů a lépe vyvinutou porézní strukturou. Pyrolyzovaný biochar je téměř neporézní materiál.

Poděkování

Děkujeme za odborné vedení práce Ing. Olze Bičákové, Ph.D. a Ing. Mgr. Martině Švábové, Ph.D.

Reference

- [1] POHOŘELÝ, Michael, Anežka SEDMIHRADSKÁ, Lukáš TRKAL a Petr JEVIČ. Biochar – výroba, vlastnosti, certifikace, použití. Waste forum. 2019, 2019(3), 14.
- [2] Biochar jako půdní aditivum? [online]. Praha: Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://katedry.czu.cz/storage/214/4e7a5692-biochar-jako-pudni-aditivum.pdf>
- [3] THOMMES, Matthias, Katsumi KANEKO, Alexander V. NEIMARK, James P. OLIVIER, Francisco RODRIGUEZ-REINOSO, Jean ROUQUEROL a Kenneth S.W. SING. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem. 2015, 2015, 19.

Co je viskóznější, čokoláda, med nebo olej?

Štěpán Boudyš

První soukromé jazykové gymnázium, Brandlova 875, 500 03 Hradec
Králové

boudys.stepan@psjg-hk.cz

Abstrakt:

Tato práce se zabývá měřením viskozity u 4 vybraných vzorků pomocí viskozimetru Haake Viscotester iQ Thermo Fisher za účelem poukázat na různé viskozity jiných látek. U všech látek byla změřena dynamická viskozita, u vzorku s mazacím olejem poté i kinematická, která byla vypočtena přes hustotu a dyn. viskozitu mazacího oleje. Z výsledků vzešlo, že mazací olej je z těchto látek nejméně viskózní, zatímco vzorek čokolády Fin Carré milk chocolate byl viskózní nejvíce. Za vysokou viskozitou mléčné čokolády pravděpodobně stojí vyšší obsah jemných pevných částic.

1 Úvod

Viskozita je fyzikální veličina, která vyjadřuje vnitřní třecí sílu mezi sousedními vrstvami kapaliny, které jsou v relativním pohybu. Z toho tedy vyplývá, že pokud je viskózní kapalina protlačována trubicí, proudí rychleji v blízkosti osy než v blízkosti jejích stěn. Obecně viskozita závisí na stavu kapaliny, např. její teplotě, tlaku a rychlosti deformace. Nulová viskozita, tedy kapalina, která nemá žádný odpor vůči smykovému napětí, se vyskytuje pouze při velmi nízkých teplotách u supratekutých kapalin. Kapalina, která má nulovou viskozitu, se nazývá ideální nebo inviscidní. [1]

Rozlišujeme dva hlavní typy viskozity: dynamickou a kinematickou.

Dynamická viskozita charakterizuje odpor, který klade voda (nebo obecně tekutina) vlastnímu pohybu (toku) nebo jiné vzájemné změně částic vodní masy. Můžeme ji určit jako sílu, která je potřebná v určitém médiu k posunu 1 kg za 1 s o 1 m. Jednotkou je Pa·s (pascalsekunda, vyjádření pomocí jednotek SI je poté $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$). Značka této veličiny je η . Pro výpočet se používá vztah mezi smykovým napětím τ a smykovou rychlostí $\dot{\gamma}$ [2]:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad [\text{Pa} \cdot \text{s}]$$

Převrácenou hodnotou viskozity je tekutost, která se značí ϕ . Tekutost je fyzikální veličina, která vyjadřuje schopnost látky téci. Jinými slovy částice tekutých látek se mohou vůči sobě relativně snadno pohybovat. Vzorec je uveden níže [3]:

$$\varphi = \frac{1}{\eta} \quad [Pa \cdot s]$$

Kinematická viskozita je dána poměrem mezi dynamickou viskozitou a hustotou. Lze ji vyjádřit v jednotkách $mm^2 \cdot s^{-1}$ a značí se symbolem ν [4].

Jednou z mnoha oblastí, kde se měření viskozity využívá je pyrolýza odpadů. Tato metoda probíhá za nepřístupu vzduchu. Při tepelném rozkladu vznikají jak kapalné, tak i plynné a pevné produkty. Tyto produkty obsahují uhlovodíky s významným využitím. Dále nám určení viskozity kapalin slouží ke správnému popisu závislosti viskozity na jiných fyzikálních veličinách, kdy se těchto znalostí využívá při transportu kapalin v potrubí a dávkovacích zařízeních.

V potravinářském průmyslu se viskozita čokolády jeví jako důležitý cíl pro zlepšení kvality této sladkosti. V dnešní době se pro zlepšení viskozity čokolády využívá lecitin (E322), v případě mléčné čokolády pak i jakákoliv forma mléčného tuku, tedy mléko či smetana (může být i ve formě sušiny) [5].

Tato práce se zabývá měřením viskozity čokolády s cílem vyzkoušet si, jak může vypadat měření ve výrobním procesu, v našem případě v potravinářském průmyslu.

2 Materiály a metody

V první části experimentu byla měřena viskozita nejdříve čokolády hořké: (Fin Carré dark chocolate), a poté i čokolády mléčné: (Fin Carré milk chocolate).

Čokoláda byla nejdříve namleta na co možná nejmenší kousky, aby proces rozpuštění trval co nejkratší dobu. Vzhledem k tomu, že byla měřena čokoláda, měřili jsme pouze dynamickou viskozitu. Nejprve bylo vždy pomocí váhy Kern 770 zváženo přibližně 17 g daného vzorku.

Abychom čokoládu dostali do kapalného skupenství, byla v rámci přístroje Haake Viscotester iQ Thermo Fisher (Obr. 1) zahřata na požadovanou teplotu. Měření se uskutečnilo za teploty 40 °C při smykové rychlosti 100 s^{-1} . Vždy byla viskozita měřena pouze jednou. V tabulce 1 níže je uvedená viskozita změřená za uvedených podmínek.

Stejný postup byl zopakován i u měření mazacího oleje a medu. Abychom byli schopni dopočítat kinematickou viskozitu oleje, změřili jsme hustotu této látky. Měření hustoty probíhalo za pomoci přístroje Densito Mettler Toledo, kdy byla hodnota 3krát změřena a následně zprůměrována.



Obrázek 1 Rotační ponorný viskozimetr Haake Viscotester iQ Thermo Fisher s válcovou geometrií (CC25 DIN/Ti)

3 Výsledky

Níže je uvedena tabulka s hodnotami viskozit jednotlivých látek.

Tabulka 1 Hodnoty viskozity měřených látek, při oleji uvedena i hustota a z ní vypočtená kinematická viskozita

Měřená látka	Parametry při měření (°C, s ⁻¹)	Dynamická viskozita η (Pa·s)	Hustota (g/cm ³)	Kinematická viskozita (mm ² /s)
Fin Carré milk chocolate	40 °C, 100 s ⁻¹	8,272 Pa·s	-	-
Fin Carré dark chocolate	40 °C, 100 s ⁻¹	5,394 Pa·s	-	-
Med	40 °C, 100 s ⁻¹	1,151 Pa·s	-	-
Mazací olej	40 °C, 100 s ⁻¹	0,05227 Pa·s	0,8814 g/cm ³	0,5930 mm ² /s

Z tabulky je patrné, že mazací olej je z těchto látek nejméně viskózní s jeho hodnotou viskozity $\eta = 0,05227 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, naopak vzorek čokolády Fin Carré milk chocolate je nejméně viskózní ($\eta = 8,272 \text{ Pa}\cdot\text{s}$).

4 Diskuse

Viskozitu čokolády ovlivňuje řada faktorů. V základě jde o celkový souhrn míry působení mezi molekulami. Jde například o obsah jednotlivých složek a jejich vzájemný poměr. Dále velikost částic jednotlivých složek a použité technologické postupy. Vliv obsahových látek se týká zejména množství vody, kakaového másla, kakaové hmoty, sušeného mléka a cukru, či jiného sladidla. Viskozitu mohou také ovlivňovat různá potravinářská aditiva, např. lecitin, která mají funkci na zlepšení sensorických vlastností, jako jsou chuť, vůně nebo vláčnost.

Po porovnání medu a čokolády si můžeme všimnout, že mléčná čokoláda má přibližně pětinašobně vyšší viskozitu. Je to pravděpodobně dáno tím, že med se skládá zejména z velkého množství ve vodě rozpustných sacharidů a vody, vosku a částec pylu. Právě pevné částice a zejména jejich velikost mají na vyšší viskozitu vliv. Čím více jich je a čím jsou menší, tím větší viskozita výsledné směsi bude [7].

5 Shrnutí

V projektu byla změřena viskozita 5 látek pomocí viskozimetru Haake Viscotester iQ Thermo Fisher. Bylo poukázáno na význam měření viskozity různých látek a případně využití těchto dat. Při práci jsem si osvojil několik různých dovedností jak při samotném měření, tak i při sepisování tohoto článku.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Jaroslavu Cihlářovi Ph.D. za jeho čas o ochotu, kterou mi věnoval při zpracování tohoto projektu. Dále bych rád poděkoval Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR za zprostředkované materiály a milé prostředí.

Reference

- [1] Viscosity. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-06-19]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>
- [2] Prezentace fy Pragolab. Seminář reologie. REOLOGIE (pragolab.cz)
- [3] Tekutost. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tekutost>
- [4] Viskozita. *AV EQUEN* [online]. Česká republika: AV EQUEN, 2023 [cit. 2023-06-19]. Dostupné z: <https://www.av-equen.cz/znalosti/914/>
- [5] Kdy je čokoláda čokoládou. *FÉR potravina* [online]. Česká republika: FÉR potravina, 2012 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.ferpotravina.cz/clanky/kdy-je-cokolada-cokoladou>
- [6] *Analytické a senzorické hodnocení čokoládových výrobků* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/11731/barto%C5%A1kov%C3%A1_2010_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [7] Technologie výroby čokoládových a nečokoládových cukrovinek [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=1436&typ=html

Kompaktní násobič vysokého napětí

Filip Landr, Jana Bartoňová

Ústav fyziky plazmatu AV, PALS – U Slovanky 1a, 182 00 Praha 8

fi.landr@seznam.cz, bartonova.j1@seznam.cz

Abstrakt:

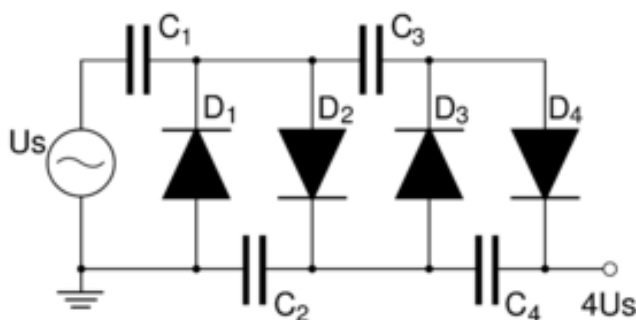
V tomto příspěvku shrnujeme výsledky našeho výzkumu násobiče napětí. Cílem práce bylo změřit hodnoty napětí při různých kapacitách, zátěžích a počtu stupňů a zjistit tak vlastnosti našeho modelu Cockroft-Walton násobiče.

1 Úvod

Násobiče napětí mají mnohá využití, která se pohybují od lapačů much až po urychlovače částic. Hojně se používal také u starších CRT televizí a monitorů. Jejich funkce spočívá v přeměně malého střídavého napětí na mnohonásobně větší stejnosměrné napětí. To je možné díky pasivním součástkám jako jsou kondenzátory a diody.

2 Proč zvolit násobič

Běžnému člověku se při představě zvyšování nebo snižování napětí vybaví transformátor, který ale nemusí být vždy vhodná volba. Násobiče se používají v aplikacích, kdy je potřeba více stabilnějšího napětí. Také nevyužívají vysokonapěťové součástky, k jejich sestavení stačí obyčejné a dostupné kondenzátory s diodami, což může znamenat i poměrně malý objem celkového zařízení.



Obrázek 1 – schéma násobiče napětí

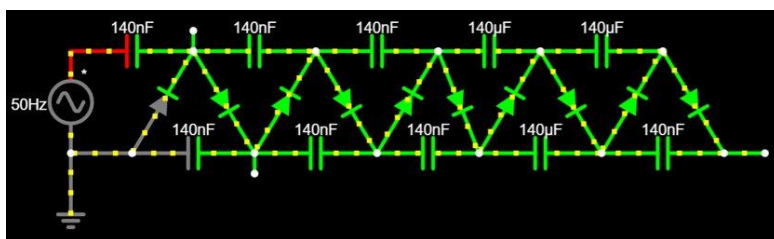
3 Měření Cockroft-Walton násobiče

Pro naše účely jsme využívali po celou dobu experimentu: generátoru střídavého napětí 15 V a digitálního multimetru DMM6500, diod 1N4007. K těmto součástkám byly přidány nejprve keramické a následně elektrolytické (kondenzátory).

3.1 Závislost napětí na stupních (počtu článků)

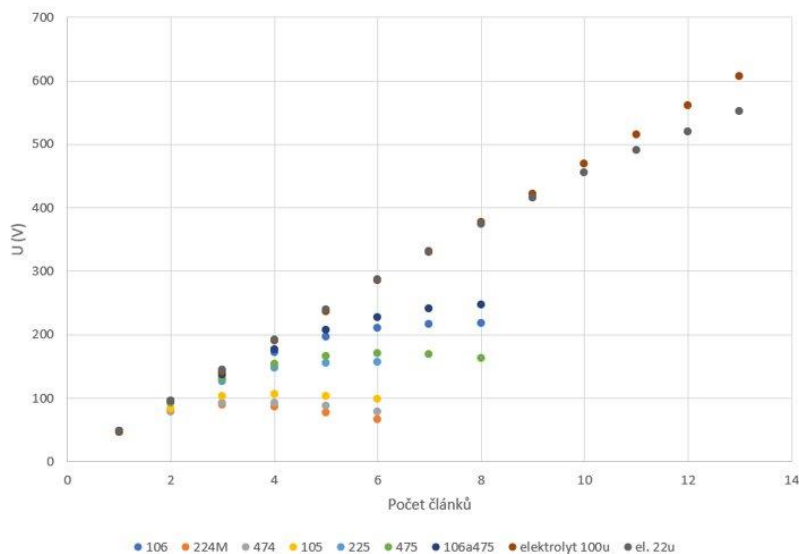
Cockroft-Waltonův násobič se skládá z jednotlivých stupňů (článků), které se skládají vždy z dvou kondenzátorů a dvou diod. Stupně se dají sériově zapojit a tím se napětí zvyšuje.

Nejprve jsme začali s keramickými kondenzátory, které mají řádově nižší kapacitu než ty elektrolytické. Postupně jsme prostřídali kondenzátory s různými kapacitami a měřili jejich výsledné napětí na 1. až 14. stupni. Došli jsme ke zjištění, že po nějaké době dojde napětí do maxima a při přidání dalších článků začne opět klesat. U vyšších kapacit se maximum dostavovalo později.



Obrázek 2 - Sériové zapojení článků násobiče

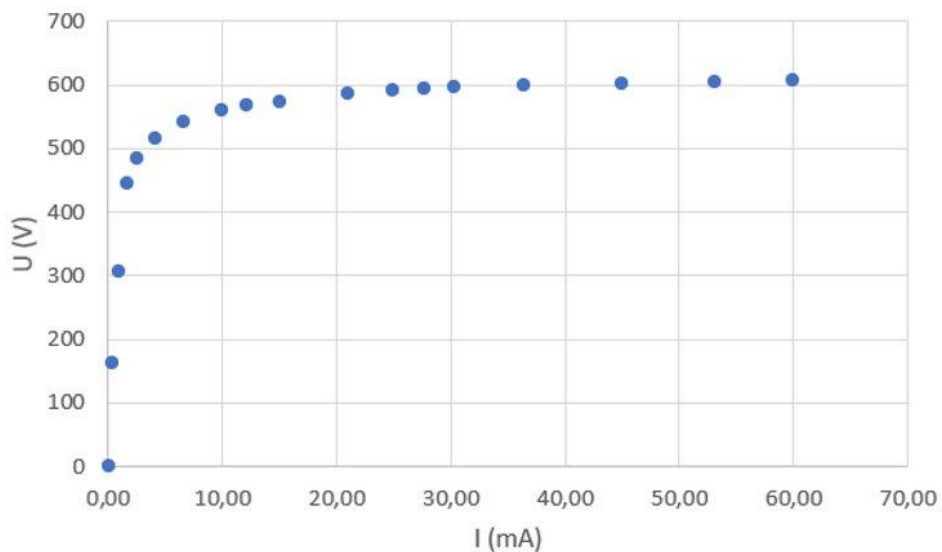
Následně jsme pokračovali zapojováním elektrolytických kondenzátorů, u kterých se snižování objevuje až při výrazně vyšších stupních.



Obrázek 3 - Graf závislosti napětí na stupni

3.2 Charakter zatěžování

Při konečném měření jsme zjišťovali stav proudu při zátěži. Postupně jsme do obvodu přidávali rezistory různých hodnot a měřili napětí.



Obrázek 4 - Graf závislosti proud na změně napětí

Poděkování

Děkujeme panu Michalu Červeňákovi za vedení a podporu při práci.

Reference

- [1] Násobič napětí. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Násobič_napětí

Obrázky

Obr. 1:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b6/Voltage_Multiplier_diagram.PNG/420px-Voltage_Multiplier_diagram.PNG

Jak chladne vesmír aneb Pečení sférického krocana

T. Kyselová¹, J. Novák², P. Sluka³,
FJFI ČVUT, Břehová 78/7

tereza.kyselova@gymnp.cz¹, novakjan@tutanota.com², petr@sluka.cz³

20. června 2023

Abstrakt

Ve vesmíru existuje řada jevů způsobujících chladnutí, resp. zahřívání objektů. Tento miniprojekt se zabývá aplikací rovnice vedení tepla na problematiku pečení tzv. sférického krocana jako určitého teoretického modelu a verifikací empiricky stanovené Panofskyho konstanty umožňující výpočet doby pečení s nelineární závislostí na jeho hmotnosti. Výsledky jsou zpracovány analyticko-numerickými metodami v programu Wolfram Mathematica. Text je sázen v publikačním systému L^AT_EX.

1 Úvod

Šíření tepla

Všechny objekty ve vesmíru chladnou, resp. se zahřívají v důsledku změny své vnitřní energie, která se realizuje v podobě uvolňování, resp. přijímání tepla. V principu rozlišujeme 3 způsoby jeho šíření - prouděním, zářením a vedením.

Šíření tepla prouděním odpovídá makroskopickému pohybu mediální tekutiny a popisuje se pomocí transportních rovnic v mechanice kontinua. Šíření tepla zářením odpovídá přenosu energie prostřednictvím elektromagnetických vln a popisuje se pomocí Maxwellových rovnic. Šíření tepla vedením je způsobeno oscilacemi v krystalické mřížce vodivého prostředí a popisuje se rovnicí vedení tepla. V tomto miniprojektu se omezíme na tento 3. způsob, tj. šíření tepla vedením.

Rovnice vedení tepla

Fourierův zákon pro 3D neustálené vedení tepla v isotropním nehomogenním prostředí se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda(\vec{r})$ definuje obecně vektorové pole hustoty tepelného toku $\vec{\varphi}(\vec{r}, t) = -\lambda(\vec{r})\nabla u(\vec{r}, t)$, kde $\vec{r} = (x, y, z)$ označuje polohový vektor kartézských souřadnic a $\nabla = (\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z})$ je operátor nabra.

V homogenním isotropním prostředí charakterizovaném součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = konst.$, měrnou tepelnou kapacitou $c = konst.$ a objemovou hustotou $\rho = konst.$ lze z Fourierova zákona pro daný element objemu odvodit rovnici vedení tepla s danými okrajovými a počátečními podmínkami pro neznámou funkci teploty $u = u(\vec{r}, t)$ ve tvaru

$$\frac{\lambda}{c\rho}\nabla^2 u - \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{P}{c\rho} = 0, \quad (1)$$

kde $\nabla^2 = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z^2}$ je Laplaceův operátor a $P = P(\vec{r}, t)$ je měrný tepelný výkon zdrojů nebo ztrát tepla v prostředí.

V případě sférické symetrie lze působení Laplaceova operátoru na funkci $u(r, t)$ zapsat jako $\nabla_s^2 u(r, t) = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial u}{\partial r} \right)$, kde $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ představuje sférický poloměr. Okrajová počáteční úloha bez zdrojů $P = 0$ lze pro sféricky symetrický případ v rámci objektu poloměru R formulovat pomocí rovnice vedení tepla ve tvaru

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial u}{\partial r} \right), \quad k = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (2)$$

s okrajovou podmínkou pro teplotu u_R na povrchu $r = R$, resp. počáteční podmínkou pro teplotu u_0 v čase $t = 0$ ve tvaru

$$u(R, t) = u_R, \quad t > 0, \quad u(r, 0) = u_0, \quad 0 < r < R. \quad (3)$$

2 Pečení sférického krocana

V této části se pokusíme částečně zreprodukovat a kriticky zhodnotit výsledky obsažené v pracích [1] a [2] s důrazem na použití výhradně metrické soustavy jednotek - kilogramy (kg), metry (m) a stupně Celsia ($^{\circ}\text{C}$) místo soustavy imperiální [3] - libry (lb), palce (in) a stupně Fahrenheita ($^{\circ}\text{F}$), tj. používáme převodní vztahy

$$1 \text{ lb} = 0,45 \text{ kg}, \quad 1 \text{ in} = 0,025 \text{ m}, \quad ^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32). \quad (4)$$

Panofskyho vzorec

Na základě teoretického modelu v rámci sférické symetrie krocana se pokusíme verifikovat nelineární Panofskyho vzorec pro dobu jeho pečení

$$t_P = \frac{M^{\frac{2}{3}}}{P_e}, \quad (5)$$

kde M je hmotnost krocana a P_e je empiricky stanovená Panofskyho konstanta, kterou lze pro naše účely zapsat v metrických jednotkách jako

$$P_e = 1,5 \text{ lb}^{\frac{2}{3}} \cdot \text{h}^{-1} = 0,88 \text{ kg}^{\frac{2}{3}} \cdot \text{h}^{-1}. \quad (6)$$

Škálovací symetrie

S využitím škálovací symetrie

$$(r, t) \mapsto (s, \tau) = (a r, b t), \quad (7)$$

lze ukázat, že pro hodnotu $b = a^2$ zůstává rovnice vedení tepla (1) invariantní, tj. platí stejné vnitřní podmínky. Pro různé hmotnosti krocana M_1 a M_2 s odpovídajícími dobami pečení t_1 a t_2 odtud za těchto neměnných podmínek plyne vztah

$$\frac{M_1^{\frac{2}{3}}}{t_1} = \frac{M_2^{\frac{2}{3}}}{t_2} =: P, \quad (8)$$

který v principu umožňuje definovat Panofskyho konstantu P . Dle práce [1] pak pro hodnoty $M_1 = 4,5 \text{ kg}$ a $t_1 = 4 \text{ h}$ dostaneme

$$P_1 = \frac{M_1^{\frac{2}{3}}}{t_1} = 0,68 \text{ kg}^{\frac{2}{3}} \cdot \text{h}^{-1}, \quad (9)$$

což příliš empirické hodnotě (6) neodpovídá.

Analytické řešení

Řešení okrajové počáteční úlohy (2) a (3) lze podle [1] nalézt metodou separace proměnných v analytickém tvaru nekonečné funkční řady

$$u(r, t) = \lim_{N \rightarrow +\infty} u_N(r, t) \quad (10)$$

v rámci N -té aproximační funkce

$$u_N(r, t) = u_R + \frac{2R(u_0 - u_R)}{\pi} \sum_{n=1}^N \frac{(-1)^{n+1}}{n} \frac{\sin \frac{n\pi r}{R}}{r} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 k}{R^2} t\right), \quad N \in \mathbb{N}. \quad (11)$$

Výsledky z 1. aproximační funkce

Podobně jako v práci [2] lze pro nejhrubší odhad $N = 1$ použít 1. aproximační funkci

$$u_1(r, t) = u_R + \frac{2R(u_0 - u_R)}{\pi} \frac{\sin \frac{\pi r}{R}}{r} \exp\left(-\frac{\pi^2 k}{R^2} t\right), \quad (12)$$

která umožňuje explicitně vyjádřit finální čas doby pečení

$$t_f = \alpha \ln \frac{2\beta(u_R - u_0)}{u_R - u_f}, \quad \alpha = \frac{R^2}{\pi^2 k}, \quad \beta = \frac{\sin \frac{\pi r_f}{R}}{\frac{\pi r_f}{R}}, \quad k = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (13)$$

pro požadovanou referenční teplotu $u_f = u_1(r_f, t_f)$ odpovídající optimální teplotě na referenčním poloměru r_f . Odtud lze dále v analogii se vztahem (8) určit pro hmotnost $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ teoretickou predikci pro Panofskyho konstantu ve tvaru

$$P = \frac{M^{\frac{2}{3}}}{t_f} = \frac{\lambda}{c} \left(\frac{16\pi^8}{9\rho} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{1}{\ln \frac{2\beta(u_R - u_0)}{u_R - u_f}}, \quad \beta = \frac{\sin \frac{\pi r_f}{R}}{\frac{\pi r_f}{R}}. \quad (14)$$

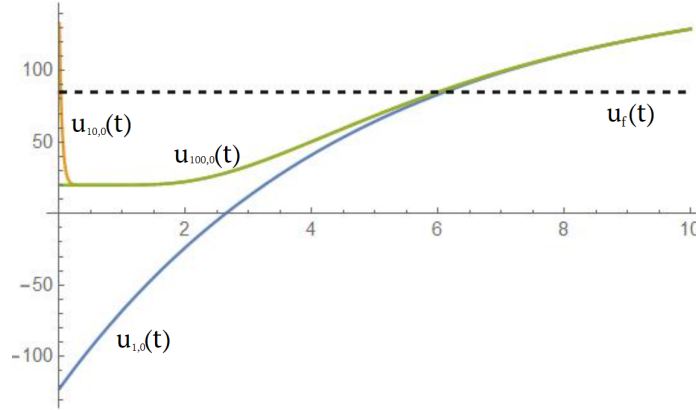
Pro $r_f = 0$ je limitně $\beta = 1$, čímž sice úspěšně zreprodukuje obecný vztah z práce [2], ale s odlišnou číselnou hodnotou pro totožná vstupní data dle Tabulky 1, tj.

$$P_2 = \frac{\lambda}{c} \left(\frac{16\pi^8}{9\rho} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{1}{\ln \frac{2(u_R - u_0)}{u_R - u_f}} = 0,99 \text{ kg}^{\frac{2}{3}} \cdot \text{h}^{-1} \neq 0,68 \text{ kg}^{\frac{2}{3}} \cdot \text{h}^{-1}, \quad (15)$$

což pravděpodobně naznačuje chybu v práci [2].

u_0 [°C]	u_f [°C]	u_R [°C]	λ [J · m ⁻¹ K ⁻¹ h ⁻¹]	c [J · kg ⁻¹ K ⁻¹]	ρ [kg · m ⁻³]
20	85	163	1 800	3 530	1 050

Tabulka 1: Vstupní data dle [2]



Obrázek 1: Graf aproximačních funkcí pro $N \in \{1; 10; 100\}$

3 Závěr

V programu Wolfram Mathematica jsme vykreslili aproximační funkce pro $N \in \{1; 10; 100\}$ v rámci referenčního poloměru $r_f = 0$, přičemž jednotlivé křivky odpovídají funkci

$$u_{N,0}(t) = \lim_{r \rightarrow 0} u_N(r, t), \quad (16)$$

jejichž graf lze nalézt na Obrázku 1.

Pro nízká N je nepřesnost výrazná, ale jen kolem počáteční podmínky u_0 . Všechny křivky se protnou s u_f v přibližně stejném bodě $t_f = 6$ h odpovídající optimální době pečení pro zvolený poloměr $R = 0,15$ m se zanedbatelnou odchylkou, což implikuje, že bod t_f je v dostatečné vzdálenosti od počátku, aby pro praktické účely nezáleželo na hodnotě N .

Poděkování

Děkujeme organizátorům Týdne vědy na Jaderce za možnost zúčastnit se miniprojektu a hlavně Ing. Filipovi Petraskovi, Ph.D za odbornou pomoc a teoretický úvod do problematiky vedení tepla.

Reference

- [1] R. L. Herman. *Baking a Spherical Turkey*. [\[online\]](#)
- [2] Y. Jin, L. R. Wang, and J. J. Wang. *Physics in turkey cooking: Revisit the Panofsky formula*. [\[online\]](#)
- [3] Wikipedia. Imperial units. [\[online\]](#)

Bimetalický katalyzátor pro vodíkové technologie

Ladislav Antoži*, Adrián Mikolaj*, Jakub Ježek**
Gymnázium Alejová 1, Košice*,
Gymnázium Boženy Němcové, Hradec Králové **
k-jezek@seznam.cz

Abstrakt

Práce se zabývá optimalizací výroby vodíku pomocí elektrolýzy protonově vodivé membrány (PEM). Dlouhodobým cílem je maximalizovat účinnost a cenu při výrobě Ir-Ru katalyzátoru. Jsou vyrobeny pomocí magnetronového naprašování, kde jsme testovali závislost prostorového nasměrování magnetronů na výsledném procentuálním zastoupení jednotlivých kovů pomocí skenovacího elektronového mikroskopu.

1 Úvod

Vodík je jednou ze zásadních komodit v průmyslu. Byl by vhodný i pro uchovávání energie jako "palivo budoucnosti". Zvýšení efektivity jeho průmyslové výroby může být zásadním krokem k nahrazení za fosilní paliva. V současnosti je vodík nejvíce vyráběn ze zemního plynu [1], jehož zdroj je ale omezený a navíc proces přispívá k nežádoucí emisi oxidu uhličitého. Naopak výroba elektrolýzou vody může sloužit jako účinný způsob uchování elektrické energie. To je možné využít k vyrovnaní lokálního přebytku u solárních a větrných elektráren anebo následně zužitkovat jako palivo.

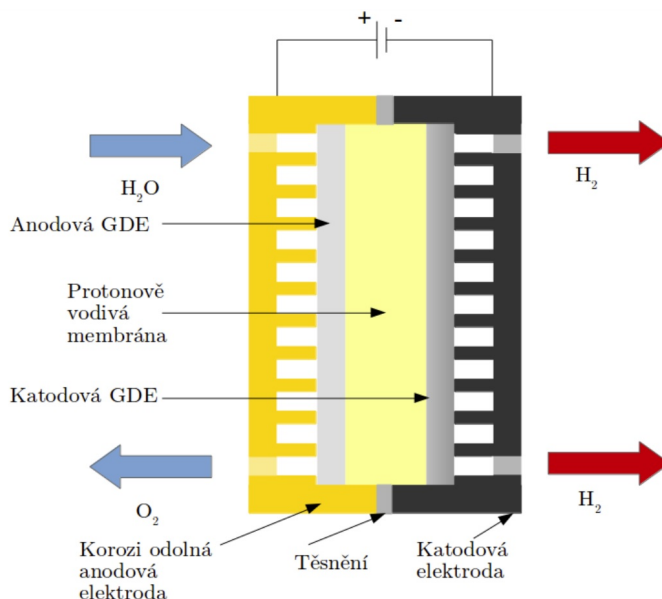
Existují různé typy elektrolyzérů. Vysoký potenciál do budoucna má elektrolýza s protonově vodivou membránou (proton exchange membrane electrolyser), kde se očekává účinnost 82-86 % [3]. PEM využívá heterogenní katalýzu pomocí iridia. V průmyslové praxi se ale snaží eliminovat drahé kovy jako iridium a část nahradit jinými levnějšími, jako kobalt nebo ruthenium. Právě u ruthenia jsme zkoumali, jak se chová při naprašování společně s iridiem.

2 Principy a metody

2.1 Elektrolyzér vody s protonově vodivou membránou

Elektrolyzér s PEM se skládá z elektrod, protonově vodivé membrány (ionomer) a z příslušných katalytických vrstev, kterými jsou v našem projektu právě bimetaly složené z iridia a ruthenia. Do reakce vstupuje voda na anodu, kde se rozkládá na vodík a kyslík. Vodík se následně rozloží na jádro (proton) a elektron, přičemž elektron se zapojí do tvorby elektrického proudu pomocí napětí z externího zdroje (co může být například solární panel nebo větrná elektrárna), a jádro projde skrze protonově vodíkovou membránu na stranu katody, kde se následně znovu spojí s elektronem, a vzniknou tak molekuly vodíku dále

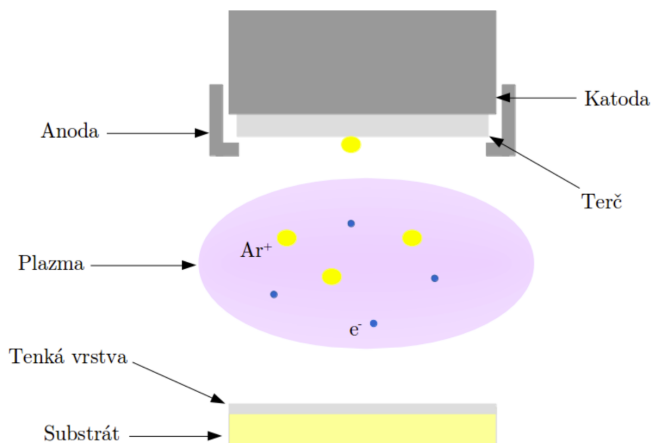
využitelné pro vodíkové hospodářství. Důležitým faktorem PEM elektrolyzáru je katalyzátor, v našem případě je jím bimetalická vrstva z iridia a ruthenia, kterou jsme získali pomocí magnetronového naprašování.



Obrázek 1: Schéma PEM-WE s naznačenými směry toku látek.

2.2 Magnetronové naprašování

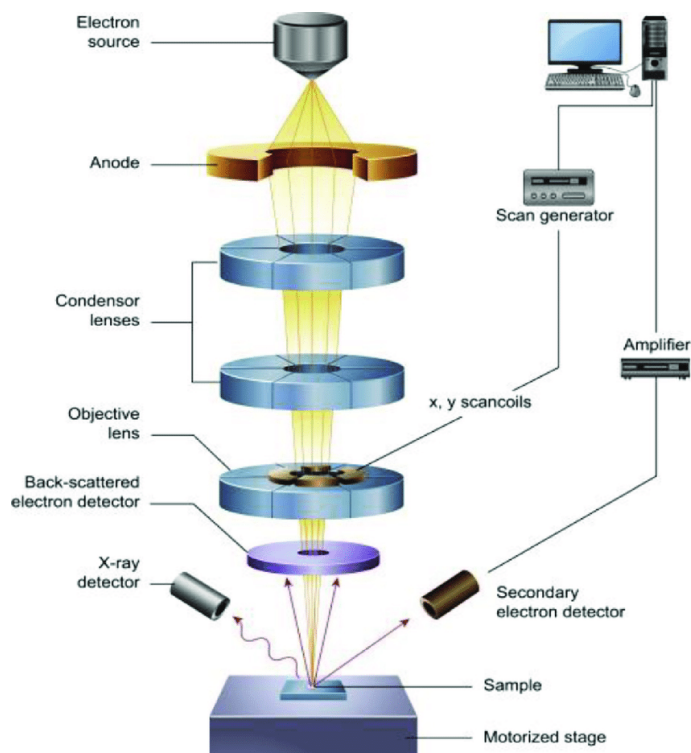
Magnetronové naprašování funguje na principu bombardování terče z materiálu, který chceme naprášit na náš substrát. Terč bombardujeme ionty argonu, získanými z plazmy argonu. Bombardací se uvolní atomy z terče, které následně dopadnou na substrát. Naprašování funguje díky vhodně umístěné anodě a katodě (viz Obrázek 2). Tímto způsobem můžeme kombinovat i dva a více kovů, co je obzvláště výhodné právě při naší práci, kde kombinací různých kovů zlepšíme vlastnosti a efektivitu výsledného produktu.



Obrázek 2: Schematic-form-of-SEM.

2.3 Skenovací elektronový mikroskop

Poměr Iridia v naší tenké vrstvě jsme byli schopni zjistit pomocí skenovacího elektronového mikroskopu, který funguje na principu katodoluminiscence. Konkrétně se jedná o vyzařování fotonů po excitaci elektronů v naší vrstvě srážkou s elektrony námi střílenými. Rentgenové detektory tyto fotony zachytí, a následně dokáží dle jejich frekvence určit, o jaký prvek se jedná.



Obrázek 3: Schéma skenovacího elektronového mikroskopu.

3 Výsledky

Cílem naší práce bylo zjistit atomový poměr prvků iridia a ruthenia v tenké vrstvě naprášené na křemíkový substrát. Poměr jsme zjišťovali na devíti vzorcích uložených do tvaru mřížky 3x3 o celkové straně 10 cm. Atomový poměr jsme zjistili pomocí analýzy dat ze skenovacího elektronového mikroskopu v programu EdX. Zjištěné výsledky jsou zapsány v tab.1, přičemž prášící magnetrony se nacházely vlevo nahoře (ruthenium), resp. vpravo nahoře (iridium)

Tabulka 1: Procentuální zastoupení iridia ve vzorcích (Ir:(Ir+Ru)) .

Rutheniový magnetron	16,5	48,1	82,5	Iridiový magnetron
	25,4	51,8	73,6	
	48,0	52,8	65,4	

4 Závěr

V naší práci jsme zjistili atomový poměr Iridia a Ruthenia v tenké vrstvě získané magnetronovým naprašováním na křemíkovou podložkou v závislosti od polohy vzorku. Z výsledků naší práce můžeme vyčíst, že atomový poměr Iridia v našem magnetronu je na středové vertikální osy kolem 50 %. Na pravé straně tabulky se poměr Iridia v směru shora dolů zmenšuje, zatímco na levé straně se zvětšuje, což je způsobeno polohováním magnetronových hlavic.

Poděkování

Děkujeme Peteru Kúšovi a Tomáši Hrbkovi za důkladné objasnění problematiky zmíněných metod a možnost aktivně se na výzkumu podílet. Také děkujeme organizátorům Týdne vědy, za přípravu této akce.

Reference

- [1] V. Rievaj, J. Gaňa, F. Synák *Is hydrogen the fuel of the future?*. [Transportation Research Procedia](#), leden 2019
- [2] T. Hrbek *Studium vlivu morfologie tenkovrstvého katalyzátoru na účinnost elektrolyzéru vody s protonově vodivou membránou.*, 2019
- [3] Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking *Development of Water Electrolysis in the European Union.* , 2014.

Obrázek 1 a 2: T. Hrbek, Studium vlivu morfologie tenkovrstvého katalyzátoru na účinnost elektrolyzéru vody s protonově vodivou membránou, 2019

Obrázek 3: Nanotechnology and the Environment, Application of Nanomaterials in Environmental Improvement, 2020

Homogenní nukleace vody

M. Novák, K. Rudolfova

Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i.

ma.novak@pekcloud.cz, k.rudolfova@pekcloud.cz

Abstrakt:

Při extrémních podmínkách v reaktorech elektráren, ale i v turbínách či motorech dochází dennodenně ke kondenzaci, se kterou se ovšem zvládáme vypořádat. Problém nastává při jevech, jako je nukleace homogenních látek. Nukleace může totiž způsobit navlhnutí přístrojů, a tím je závažně poškodit, což může vést, jak k finančním ztrátám, tak ke mnohem větším, enviromentálním problémům. Cílem naší práce bylo tedy popsat, kdy a za jakých podmínek k nukleaci dochází. K měření jsme využívali He-Ne laser, pomocí něhož jsme určovali množství shluků způsobených nukleací.

1 Úvod

Homogenní nukleace je děj, kdy se při extrémních podmínkách ($217\text{ K} < T < 259\text{ K}$, $6,5 < S^1 < 11$, $40\text{ kPa} < p < 73\text{ kPa}$) v přesycené páře vytvářejí shluky molekul. Za těchto podmínek je energie, potřebná k udržení molekul u sebe, namísto odražení, natolik nízká, že je pro soustavu výhodné vytvářet shluky. Homogenní nukleaci můžeme nazývat homogenní pouze v případě, že se v soustavě nenacházejí žádné prachové částice a žádná stěna. Pokud by se tam nacházely, mluvili bychom o nukleaci heterogenní.

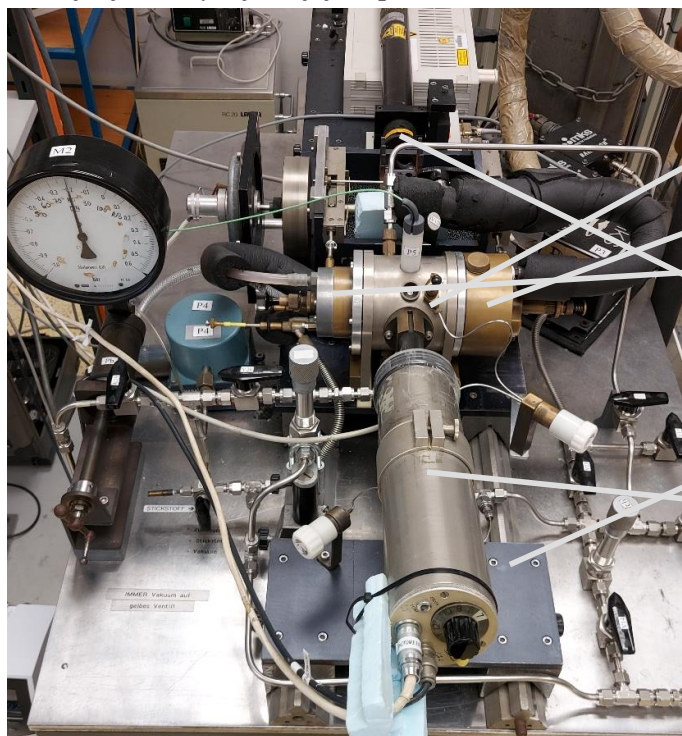
V současné době bohužel nejsme schopni vyzkoumat více, vzhledem k podmínkám v laboratoři. Jedná se o jednu ze 3 laboratoří na světě zkoumajících tuto problematiku, avšak pouze v této se do přesycené páry přidává i oxid uhličitý, a zkoumá se jeho účinek na homogenní nukleaci vody.

2 Proces nukleace

K homogenní nukleaci dochází při extrémně rychlé změně počátečního stavu látek, to zajistí podmínky, při kterých se chování, jinak volných molekul vody, změní tak, že se molekuly vody začnou, místo neustálého odrážení se, na sebe navzájem vázat. Při překročení kritického poloměru r^* se shluk stane stabilním a začne se zvětšovat, pokud kritického poloměru r^* nedosáhne, zárodečný shluk se rozpadne zpátky na volné částice. Při formování shluků je stále přítomen dodávaný plyn, který vznikajícím, zahřívajícím se kapkám, odebírá teplo, a tím jim snižuje teplotu. Díky tomuto ději můžeme zkoumat vliv různých plynů na homogenní nukleaci vody.

Náš experiment

Proces nukleace v našem experimentu probíhá ve 3 komorách, kde vytváříme ideální podmínky pro vytvoření shluků, jejich expanzi ale také tvoření pouze po určitou dobu. V první komoře máme normální atmosférický tlak, je sem přivedena přesycená páry smíšená s inertním plynem popř. CO₂. Následně je otevřena přepážka do druhé komory, ve které je podtlak. Tím nám rapidně klesne tlak a začnou se tvořit shluky. Během 1 milisekundy dochází k tvorbě a expanzi shluků vody (obklopených molekulami/atomy plynu) do velikosti větší než je její kritická hodnota, což znamená že se shluky stanou energeticky stabilními. Ty jsou změřeny helio-neonovým laserem pomocí lomu světla ve shlucích. Po tomto čase se otevře i třetí komora s tlakem o trochu vyšším než v nyní dvou spojených komorách. Tím se zastaví tvorba kapiček, které již jen nabývají na jejich poloměru.



Hlavní (I.) komora

II. komora

III. komora

Laser

Fotodioda

Fotonásobič

Měření pomocí He-Ne laseru

Shluky, které se vytvoří jsou prosvíceny laserovým paprskem. Ten se ale rozlomí na několik frakcí, a my jsme schopni změřit kolik světla proniklo skrz a kolik z rozštěpeného světla prošlo (v této laboratoři je měřený úhel 15 stupňů). Lomené světlo měříme pomocí fotonásobiče a transparentní světlo pomocí fotodiody. Podíl zachyceného lomeného světla a transparentního světla vydělíme vypočítanou hodnotou pro jeden, fiktivní, shluk (který by se jako jediný nacházel v komoře) a získáme tak počet shluků.



3 Shrnutí

Homogenní nukleace vody je velmi zajímavý, ale může být i nebezpečný jev, není-li mu správně porozuměno. V rámci experimentu jsme popsali změny lomu světla při tvorbě shluků částic vody, a jejich následnému růstu. To nám pomohlo k bližší informovanosti a znalosti tohoto problému, který ještě není uspokojivě popsán. Na zobrazení z grafů jsme vyčetli vzor chování shluků. Naše poznatky a měření byly přidány do systému MATLAB, ve kterém pomohou dalším pokrokům v této oblasti. Věříme, že průlom v právě této oblasti je nablízku.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat manželům Ing. Tetiane Lukianovové a Ing. Mykolovi Lukianovovi, Ph.D. za skvělou spolupráci a výborné vedení naší práce.

Seznam použité literatury

- [1] NUCLEATION ANJI GROWTH OF CLUSTERS IN EXPANDING NOZZLE FLOWS; Otto F. HAGENA 1980
- [2] Homogeneous water nucleation and droplet growth in methane and carbon dioxide mixtures at 235 K and 10 bar; V. Holten; M. E. H. van Dongen 2010
- [3] Critical cluster composition from homogeneous nucleation data: application to water in carbon dioxide–nitrogen carrier gases; M.M. Campagna 2021
- [4] Homogeneous water nucleation in argon, nitrogen, and nitrous oxide as carrier gases; Mykola Lukianov, Tetiana Lukianova, Jan Hrubý 2023

Šíření světla v nanostrukturách

W. Bureš, V. Minárik

18wojtek8@gmail.com, minarikvojta@gmail.com

Abstrakt:

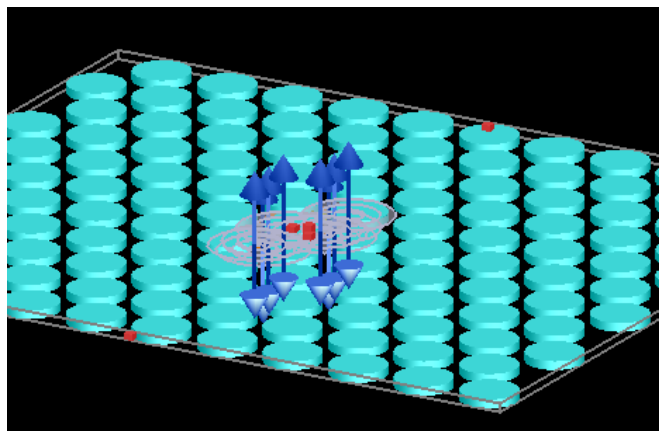
Práce ukazuje efekty nehomogenních prostředí na světlo na nanometrové úrovni. Cílem je ukázat, jak světlo interaguje s hmotou v závislosti na jeho polarizaci a vlnové délce.

1 Úvod

Fotonický krystal je optická nanostruktura, v níž se periodicky mění index lomu světla. To ovlivňuje šíření elektromagnetického záření v závislosti na samotném krystalu i parametrech tohoto záření. Existují jak přírodní fotonické krystaly (například v některých motýlích křídlech, kde způsobují jejich barevnost), tak uměle vytvořené. [1][2]

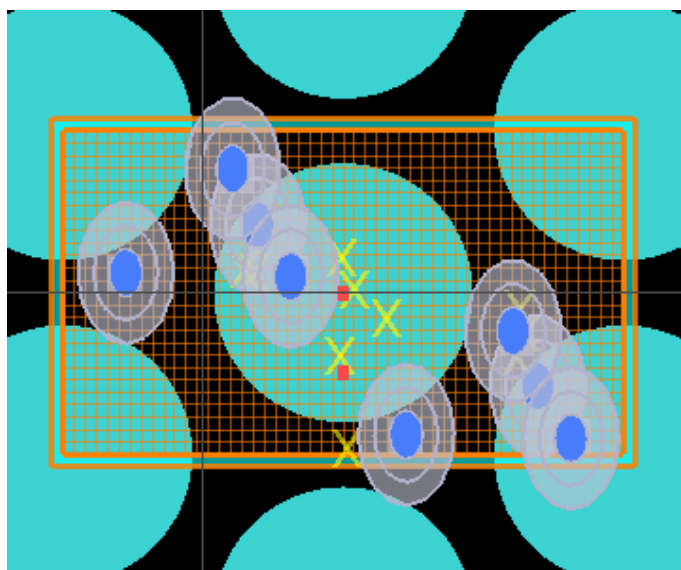
2 Světlo ve fotonickém krystalu

Pro simulaci používali jsme počítačový program Ansys Lumerical[3]. Ten pomocí metody FDTD[4][5] (finite-difference time-domain) vypočítává chování elektromagnetického záření ve daném scénáři, vyžaduje tedy specifikovat výpočetní oblast a model prostředí. Zde jsme definovali krystal hexagonální mřížky o periodě $0.5\text{ }\mu\text{m}$ s kruhovými elementy poloměru $0.2\text{ }\mu\text{m}$. Index lomu je $n_1 = 2$ pro prostor mezi elementy a $n_2 = 1$ pro elementy samotné. Model krystalu je vidět na obrázku 1.



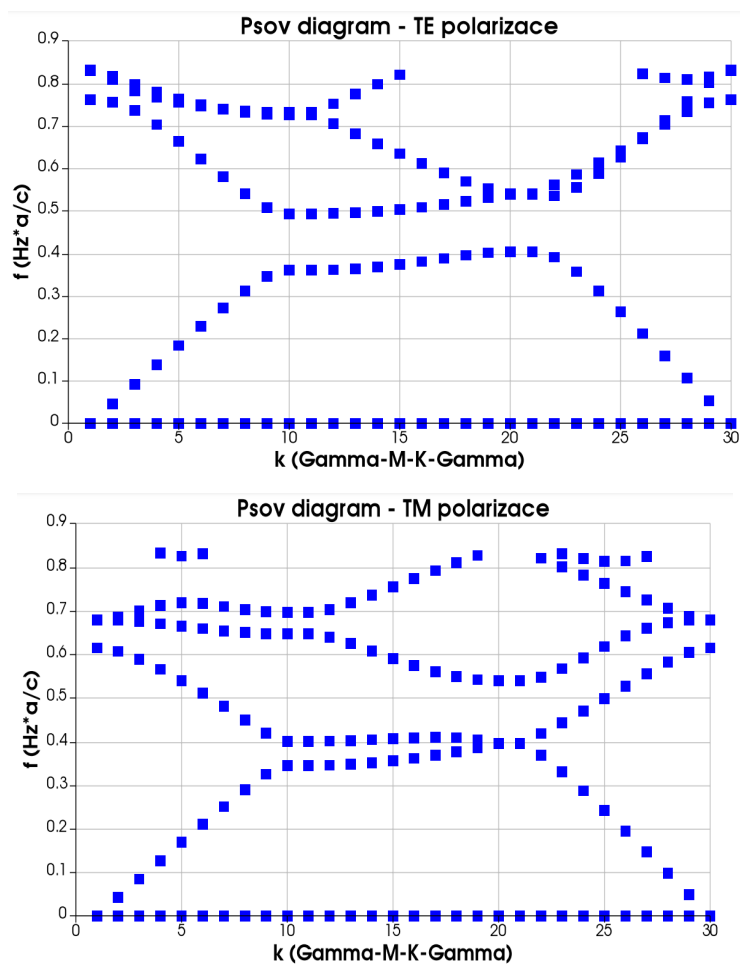
Obrázek 1: výpočetní model

Pro samotnou výpočetní oblast byla využita elementární buňka struktury pro nejefektivnější výsledek a to pouze v 2D řezu. Její ohraničení lze vidět na obrázku 2.



Obrázek 2: vymezení výpočetní oblasti

3 Výsledky



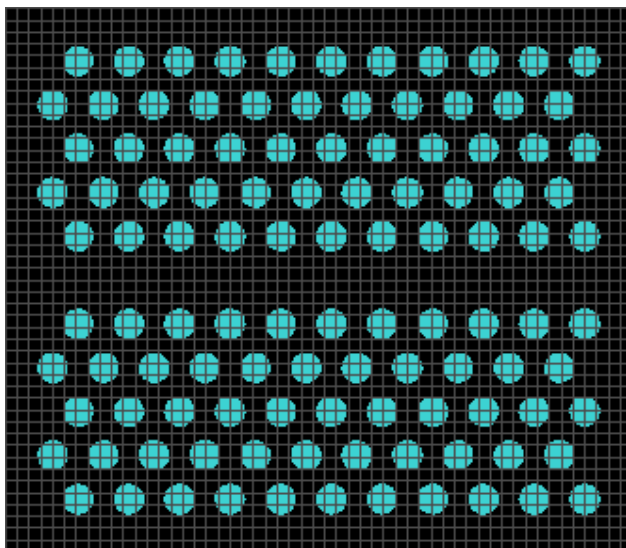
Obrázky 3 a 4: možnosti směru šíření elmg. vln v krystalu

Obrázky 3 a 4, které jsou výsledkem simulace, ukazují, v jakých směrech se může v krystalu záření o dané vlnové délce šířit. Při TE polarizaci vzniká dokonce i zakázaný pás (pásová mezera), která znamená, že se v krystalu toto záření nemůže šířit vůbec. Veličina “a” je perioda krystalu, c/Hz se rovná vlnové délce, tudíž se v této konfiguraci nebudou šířit vlnové délky v intervalu (1;1,25) μm .

Tato simulace byla provedena pouze v ploše, ne v prostoru, což znamená, že zde může vznikat rozdíl oproti reálnému scénáři, jinak by se choval jako nekonečný. Výpočetní síť není nekonečně hustá (byla zkoumána konvergence úlohy), tady se může objevit další nepřesnost.

4 Shrnutí

Fotonické krystaly se často vyskytují v přírodní podobě, a to například v nerostech či živých organismech. Mohou způsobovat zbarvení drahokamů či dříve zmíněných motýlích křídel. V umělé podobě mohou mít například využití v podobě vlnovodů pro integrovanou fotoniku. Ty narozdíl od klasického optického vedení mohou vést světlo materiálem s nižším refrakčním indexem, než má okolí.



Obrázek 5: vlnovod tvořený fotonickým krystalem

Poděkování

Děkujeme garantům Pavlu Kwiecienovy, Ivanu Richterovi a Milanu Burdovi za úvod, pomoc a vedení našeho miniprojektu. Děkujeme také organizačnímu výběru za umožnění Týdne Vědy na Jaderce, kde jsme se mohli seznámit s tímto projektem.

Reference

- [1] Photonic crystal. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Photonic_crystal
- [2] JOANNOPOULOS, John D. *Photonic crystals: molding the flow of light*. 2nd ed. Princeton: Princeton University Press, 2008. ISBN 978-0-691-12456-8.
- [3] Ansys/Lumerical FDTD [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.lumerical.com/>
- [4] KANE YEE, Yee. Numerical solution of initial boundary value problems involving maxwell's equations in isotropic media. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 1966, 14(3), 302-307. ISSN 0018-926X. Dostupné z: doi:10.1109/TAP.1966.1138693
- [5] TAFLOVE, Allen. *Computational electrodynamics: the finite-difference time-domain method*. Boston: Artech House, 1995. ISBN 08-900-6792-9.

Chemické změny v důsledku ozáření – radiační chemie a fotochemie

V. Dorazilová*, J. Šrámek**, E. Štechová***,
J. M. Višňák****

* Gymnázium Elgartova, Brno, Elgartova 689/3
valentina.dorazilova@email.cz

** Gymnázium Boskovice, Boskovice, Palackého nám. 222/1
jakub.sramek.2017@gymbos.net

*** Gymnázium Děčín, Děčín, Komenského nám. 340
ema.stechova@gymnaziumdc.cz

**** Gymnázium Mimoň, Mimoň, Letná 263
visnamat@gymi.cz

Abstrakt:

Naším cílem bylo zjistit přítomnost a množství OH radikálů po radiolýze vody v závislosti na dávce ozáření.

1 Úvod

Při dopadu ionizujícího záření (v našem případě rentgenového) na látku dochází k chemickým reakcím, v případě vodných roztoků tedy nejčastěji k radiolýze vody. V ní vznikají reaktivní radikály (H, OH, hydratovaný elektron,...), které interagují s biochemickou hmotou – v případě interakce s DNA dochází k roztržení řetězce a řízené smrti buňky nebo vzniku nádoru. Mnohdy je důležité zjistit koncentraci a charakter radikálů vyskytujících se ve specifické látce.

V našem případě jsme použili vodný roztok kyseliny tereftalové resp. její sodné soli ke stanovení koncentrace OH radikálů vzniklých při jejím ozařování. Pro porovnání jsme k experimentu použili identický vzorek s ethanolem, který slouží jako efektivní vychytávač výše zmíněných radikálů.

2 Pít, či nepít?

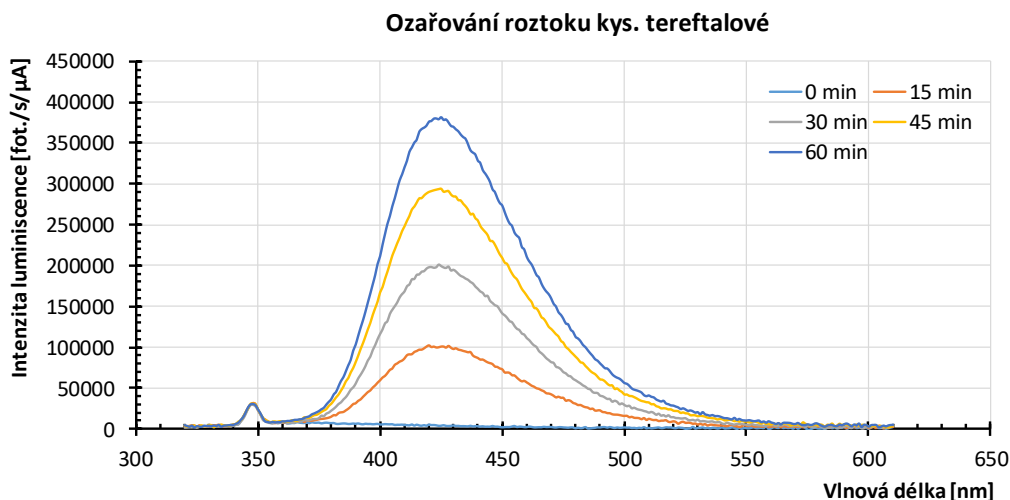
Na začátku našeho experimentu jsme si v polypropylenových zkumavkách připravili dva vodné roztoky o objemu 10 ml. Jeden se samotnou solí kys. tereftalové a druhý navíc s přidavkem ethanolu odpovídajícím 2‰ (20 µl). Dále jsme si připravili a popsali černé plastové 5ml ampulky s 2,8 ml vody (5 ampulek pro každý roztok) a přesunuli se k RTG

ozařovači SCIOX Beam. Tento ozařovač je vybaven wolframovou rentgenkou (nominální výkon až 4,2 kW) s možností nastavení hodnoty vysokého napětí 50 – 350 kV.

Na místě jsme do prvních ampulek odebrali ze zkumavek 0,2 ml neozařených roztoků a zkumavky jsme vložili do již připravené orbitální třepačky a zapnuli rentgenku s následující konfigurací: 195 kV, 15 mA, 4mm Al filtr. Po každých 15 minutách ozařování jsme odebrali 0,2 ml roztoku do příslušných ampulek. Poslední vzorek byl tedy ozařován po dobu 60 minut (dávka ~ 400 Gy).

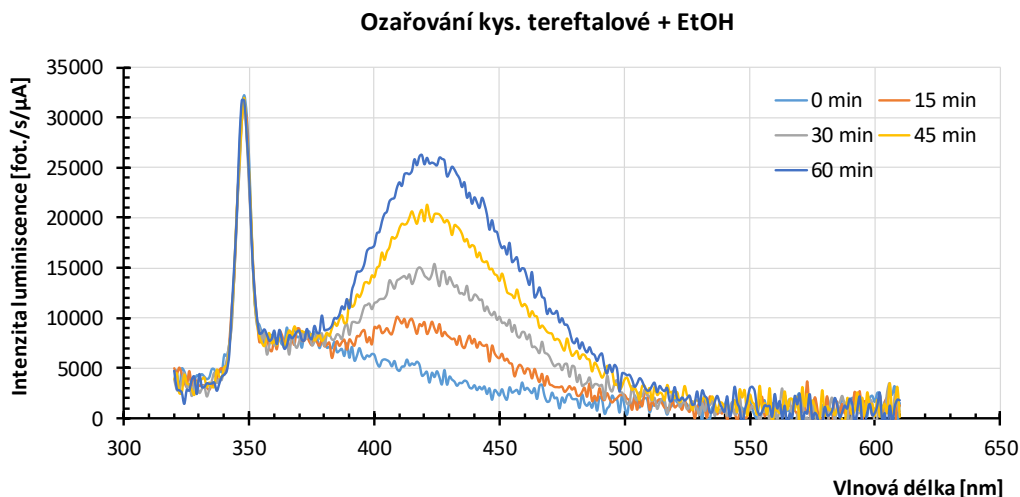
Se získanými vzorky jsme se vrátili do laboratoře k spektrofleurimetru FluoroMax 4+, kde jsme změřili emisní spektra pro excitační vlnovou délku 311 nm. Pro porovnání jsme změřili koncentrační standard o koncentraci $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 2-hydroxytereftalátu sodného v $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ NaOH.

Emisní spektra měřených roztoků čistého tereftalátu jsou uvedena zde:

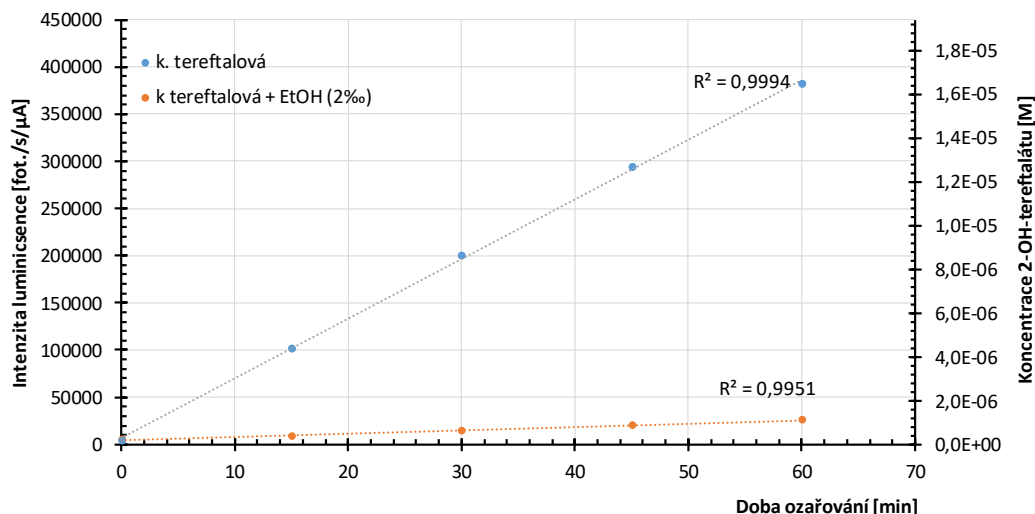


Emisní peak s maximem při ~ 425 nm, příslušející vzniklému 2-hydroxytereftalátu, s dobou ozařování narůstá. Ve spektru je zřetelný i běžný instrumentální artefakt při měření luminiscence – Ramanovský peak vody při 348 nm.

Emisní spektra měřených roztoků tereftalátu s přidavkem ethanolu jsou uvedena zde:



V porovnání s emisními spektry neozařených roztoků je patrná výrazně nižší intenzita luminiscence 2-hydroxytereftalátu, Ramanovský peak se nezměnil. Intenzita emisních maxim ve všech roztocích roste přímo úměrně s dobou ozařování:



Nižší směrnice nárůstu koncentrace 2-hydroxytereftalátu v roztocích s ethanolem odpovídá reakci ethanolu s OH radikály, která snižuje jejich koncentraci dostupnou pro tereftalát sodný.

3 Shrnutí

Kdyby ve vašem okolí přistála atomová bomba, asi byste nepřežili. Pokud byste však byli ve vnějším okruhu ozáření, pravděpodobně by stačilo pár piv k přežití. Bohužel jsme neměli subjekt, na kterém bychom to mohli otestovat, tudíž jsme nezjistili přesný počet piv na jedince. Tím pádem si to budete muset vyzkoušet sami. (Nedoporučujeme osobám mladším osmnácti let) :3

Poděkování

Vřelé poděkování patří vedoucímu našeho miniprojektu, Ing. Janu Bártovi a dále děkujeme FJFI a ČVUT za uskutečnění Týdne vědy, také MŠMT za finanční podporu celé akce.

Reference

- [1] H. J. Greenberg. *A Simplified Introduction to LATEX*. <https://mirrors.nic.cz/texarchive/info/simplified-latex/simplified-intro.pdf>. 2010.
- [2] ČUBA, Václav, Jan BÁRTA a Lenka PROCHÁZKOVÁ. *Praktikum z radiační chemie a fotochemie*. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06384-2.

Rostou racionální čísla na stromech?

M. Drexlerová¹, L. Létal², M. L. Skuda³

Gymnázium Rožnov pod Radhoštěm¹, Gymnázium Boskovice²,
Gymnázium Jakuba Škody³

Abstrakt

Práce se zabývá kladnou částí oboru racionálních čísel, její reprezentací pomocí Calkin-Wilfova stromu, důsledky, které z této reprezentace vyplývají, a také aplikacemi, jež tento binární strom má.

1 Úvod

Racionální čísla jsou taková čísla, která lze zapsat do tvaru zlomku, jenž má ve jmenovateli i čitateli celé číslo. Dohromady tvoří množinu racionálních čísel. Tuto množinu je třeba vhodně reprezentovat, abychom mohli ověřovat a zkoumat její vlastnosti. Tímto problémem se mimo jiné zabýval i matematik Stern a duo Calkin a Wilf. Ve zbytku práce prozkoumáme poznatky plynoucí z Calkin-Wilfova binárního stromu.

2 Obecné poznatky k teorii množin

2.1 Mohutnost

U všech množin můžeme určit mohutnost. U konečných množin mohutnost představuje prostý počet jejích prvků. V 19. století ji německý matematik G. Cantor zavedl i u množin nekonečných. Nejméně mohutné nekonečné množiny mají mohutnost rovnou $|\mathbb{N}| = \aleph_0$. Tuto mohutnost má nejen množina přirozených čísel, ale i všechny další množiny, na nichž můžeme z \mathbb{N} provést bijekci. Množiny tohoto charakteru poté nazýváme spočetnými a patří do nich, ačkoliv se to zdá nepravděpodobné, i čísla racionální.

2.2 Bijekce

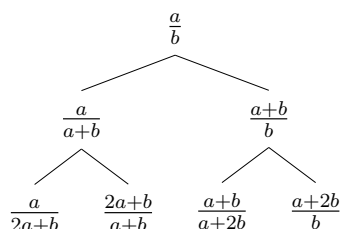
Bijekce je vzájemně jednoznačné zobrazení, tj. mějme dvě množiny A, B . Je-li možno ke každému prvku z množiny A jednoznačně přiřadit právě jeden protějšek z množiny B tak, že každý prvek v množině B bude přiřazen právě jednou, pak lze provést mezi těmito množinami bijekci. U konečných množin je nutným parametrem shodný počet prvků v množině, u množin nekonečných se v našem kontextu bavíme o schopnosti libovolnou nekonečnou množinu indexovat pomocí čísel z \mathbb{N} .

3 Reprezentace racionálních čísel

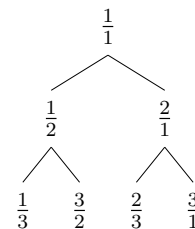
Bijekci mezi racionálními a přirozenými čísly můžeme znázornit pomocí vizuálního zápisu množiny – dvěma často užívanými postupy jsou Cantorova diagonální metoda (tabulka 1) a Calkin-Wilfův strom, z nichž druhý zmíněný považujeme pro naše účely za lepší. Na obr. 1 níže je vyobrazený obecný předpis pro tento strom platící pro jakýkoliv rodičovský zlomek $\frac{a}{b}$, kde $a, b \in \mathbb{N}$. Na obr. 2 jsou poté první 3 patra stromu.

m/n	1	2	3	...
1	$1/1$	$2/1$	$3/1$...
2	$1/2$	$2/2$	$2/3$...
3	$1/3$	$2/3$	$3/3$...
...

Tabulka 1



Obrázek 1



Obrázek 2

4 Vlastnosti Calkin-Wilfova stromu

Jelikož výše tvrdíme, že Calkin-Wilfův strom je vhodnou reprezentací racionálních čísel, je na místě prokázat, že tomu tak skutečně je. V této sekci si tedy nejprve dokážeme, že strom skutečně obsahuje všechna racionální čísla, poté prokážeme, že se žádná čísla uvnitř stromu neopakují, a konečně si ověříme, že všechny zlomky uvnitř stromu jsou opravdu v základním tvaru.

Věta 1. *C-W strom obsahuje všechna racionální čísla.*

Důkaz. Důkaz provedeme indukcí na $r + s$. Prvním krokem je $r + s = 2$, což platí pro zlomek $\frac{1}{1}$, který ve stromu jistě obsažený je. Nyní vezmeme libovolný zlomek ve tvaru $\frac{r}{s}$, kde $r, s \in \mathbb{N}$. Ten (ze znalosti předpisu stromu) vznikl buď z uzlu $\frac{r-s}{s}$ pro $r > s$ nebo $\frac{r}{s-r}$ pro $s > r$. Z indukčního předpokladu oba tyto zlomky ve stromu budou obsaženy, protože $r < r + s$ i $s < r + s$. Z toho plyne, že i zlomek $\frac{r}{s}$ bude ve stromě obsažen. \square

Věta 2. *Všechny členy C-W stromu jsou v základním tvaru.*

Důkaz. Důkaz opět provedeme pomocí indukce tak, že ukážeme, že r, s libovolného zlomku $\frac{r}{s}$ z C-W stromu musí být nesoudělné. Tato skutečnost platí u prvního zlomku $\frac{1}{1}$. Z indukčního předpokladu plyne, že libovolný zlomek $\frac{r}{s}$ je v základním stavu, a jeho potomci, kteří mají tvar $\frac{r+s}{s}$ a $\frac{r}{r+s}$, jsou tedy zřejmě také v základním tvaru. \square

Věta 3. *Uvnitř C-W stromu se žádné zlomky neopakují.*

Důkaz. Provedeme přímý důkaz, který vychází z předpokladu, že jsou všechny zlomky v základním tvaru (což bylo dokázáno) a že mezi čísly ve stromě není nulový prvek. Tím pádem musí platit: $r + s \neq r \neq s$ a z předpisu stromu platí, že stejné $r + s$ je vždycky v právě jednom čitateli a v právě jednom jmenovateli, pokaždé s jiným číslem (r , nebo s). Tím dokazujeme unikátnost každého zlomku. \square

5 Operace s Calkin-Wilfovým stromem

V C-W strom má několik pozoruhodných vlastností, které přímo vyplývají ze způsobu, jakým roste, a lze je matematicky popsat pomocí základních principů stromu a racionálních čísel.

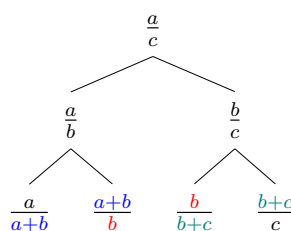
5.1 Řazení čísel v patře

Nejprve si ukážeme způsob, jakým podle velikosti seřadit zlomky v konkrétní vrstvě stromu. Ze stavby stromu víme, že prvky v levé větvi jsou vždy menší než v pravé. Proto bude v pořadí záležet, na které větvi čísla jsou. Nejmenší prvek bude tedy nejvíce vlevo. Další bude nejvíce vlevo, ale v pravé polovině stromu. Takto budeme střídat strany, dokud se nedostaneme až k prvku nejvíce napravo, který je z řádku nejvyšší.

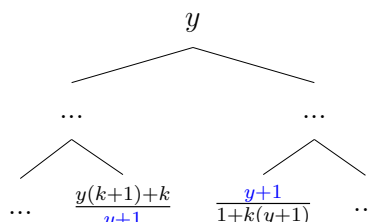
5.2 Návaznost čitatele a jmenovatele

Dále si ukážeme, že čísla ve jmenovateli jednoho členu a v čitateli následujícího členu jsou stejná.

Pro čísla ve stejné větvi to vyplývá ze samotné definice stromu. Pro vedlejší větve to nemusí být tak očividné. Jako důkaz poslouží obr. 3, kde začneme libovolným zlomkem $\frac{a}{c}$. Pro následující patra vidíme, že rovnost také vyplývá z předpisu, tudíž máme návaznost dokázanou (obr. 4 tvrzení dokazuje pro libovolné patro).



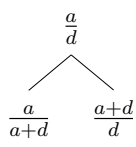
Obrázek 3



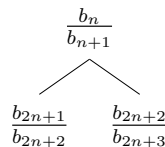
Obrázek 4

5.3 Sternova diatomická posloupnost

Vezmeme-li všechna čísla obsažená v Calkin-Wilfově stromě, hodnota jejich čitatelů nám tvoří Sternovu posloupnost $b_n = 1, 1, 2, 1, 3, 3, 2, 3, 1, \dots$. Ze zápisu stromu pomocí obecného předpisu (obr. 5) a členů posloupnosti (obr. 6) vyplývají 3 rovnice (níže je příklad pro $n = 6$, tedy $2n + 1 = 13$), pomocí kterých jsme schopni posloupnost od základního členu popsat.



Obrázek 5



Obrázek 6

$$\begin{aligned} b_n &= b_{2n+1} \\ b_{n+1} &= b_{2n+3} \\ b_{2n+2} &= b_{n+1} + b_n \end{aligned}$$

Navíc existuje speciální posloupnost, která má stejné členy (a tedy splňuje stejný předpis). Tato posloupnost udává pro n -tý člen počet možných rozkladů čísla n na sčítance mocnin 2 tak, že každá mocnina se v rozkladu vyskytne nejvýše dvakrát.

$$n = 6 \rightarrow b_n = 3$$

$$6 = 2^2 + 2^1$$

$$6 = 2^1 + 2^1 + 2^1$$

$$6 = 2^2 + 2^0 + 2^0$$

$$n = 13 \rightarrow b_n = 3$$

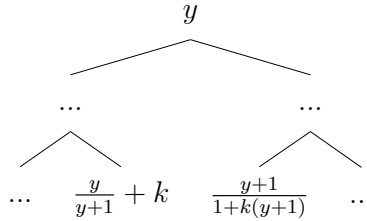
$$13 = 2^3 + 2^2 + 2^0$$

$$13 = 2^3 + 2^1 + 2^1 + 2^0$$

$$13 = 2^2 + 2^2 + 2^2 + 2^0$$

5.4 Následující zlomek

Z posloupnosti rovněž vyplývá předpis funkce udávající následující zlomek. Ten využívá počet pater k , které jsou mezi daným zlomkem a uzlem, který má společný s následujícím zlomkem.



Obrázek 7

V čísle $x = \frac{y}{y+1} + k$, kde $k \in \mathbb{N}_0$, máme celou část $\lfloor x \rfloor = k$ a zlomkovou část $\{x\} = \frac{y}{y+1}$ (zbytek získaný po odečtení dolní celé části). Sousední zlomek lze upravit na $\frac{1}{k+1-\frac{y}{1+y}}$ a následně ho vyjádříme pomocí $\lfloor x \rfloor$ a $\{x\}$. Dostaneme tak funkci $f(x)$, ta každému zlomku přiřadí následující: $f(x) = \frac{1}{\lfloor x \rfloor + 1 - \{x\}}$.

6 Závěr

Úspěšně jsme se seznámili s problematikou Calkin-Wilfovova stromu a zdárně jsme vypracovali důkaz jeho použitelnosti pro případ racionálních čísel. Mimo to se nám rovněž podařilo nalézt a dokázat některé další zajímavé vlastnosti C-W stromu.

Poděkování

Ve jménu našeho týmu tímto děkujeme naší vedoucí Veronice Hendrychové za vedení projektu a zajímavý vhled do výše zpracované problematiky.

Reference

- [1] HENDRYCHOVÁ, Veronika. *Calkin-Wilfov strom a jeho vlastnosti* [Přednáška]. ČVUT v Praze: 19. června 2023
- [2] AIGNER, Martin a Gunter M. ZIEGLER. *Proofs from THE BOOK*. 6th ed. 2018. Imprint: Springer, 2018. ISBN 9783662572658.

Abstinent versus alkoholik: na koho si vsadit v případě jaderné katastrofy

Š. Brabec¹, M. Kluger², J. Muller³, A. Šulcová⁴

Gymnázium Arcus¹, Gymnázium Tišnov², Gymnázium Alejová 1³,
Gymnázium Botičská⁴

simon.brabec.05@gmail.com, mrtinklgr@seznam.cz,
jakub.muller7@gmail.com, sulcova.betka@gmail.com

Abstrakt:

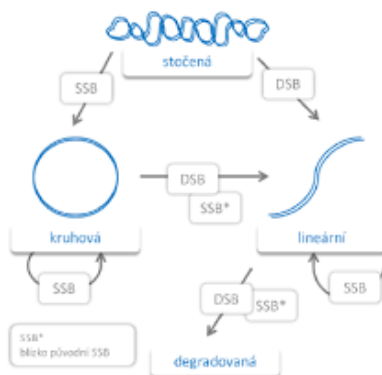
Naše práce se zabývá vlivem alkoholu na stupeň poškození plazmidové DNA ionizujícím zářením. Pomocí metody agarózové elektroforézy jsme zpracovali devět ozářených vzorků o různé koncentraci ethanolu, z nichž tři se nepovedly. Po zpracování dat jsme dokázali, že alkohol do určité míry působí jako radioprotektivum.

1 Úvod

Ionizující záření (IZ) pochází z mnoha zdrojů a vyskytuje se neustále kolem nás. Některé druhy jsou relativně neškodné, některé jsou smrtelné. Pochází z přírodních radionuklidů, jako je radon, kosmického záření, na Zemi odstíněného atmosférou, a umělých zdrojů, jako jsou radioterapie, jaderné zbraně apod.. Skládá se z částic nebo záření schopného ionizovat atomy nebo molekuly. V některých situacích, například ve vesmíru, se však od záření nedá schovat, kvůli čemuž se IZ stává pro organismy problematickým, hlavně pro jejich DNA.

DNA (deoxyribonukleová kyselina) je tvořena dvěma komplementárními řetězci, spojenými vodíkovými můstky, mezi páry bází stočených do šroubovice. Páteří řetězce je opakující se sekvence sacharidu deoxyribózy a fosfátu. Na každý sacharid se váže jedna ze čtyř možných dusíkatých bází, buď purinových (adenin, guanin), nebo pyrimidonových (cytosin, thymin). DNA se rozlišuje dále podle výskytu, buď v jádře buňky, anebo volně v ní ve formě plazmidu, u kterého je řetězec narozdíl od jaderné DNA kratší a zacyklený.

Z hlediska radiobiologie se dá buňka popsat jako zředěný vodný roztok s nukleonovou kyselinou, pro jednoduchost experimentů často nahrazenou plazmidovou DNA. Poškození se dělí na přímé, při kterém je energie absorbována přímo v molekule DNA, a nepřímé, při kterém dochází k poškození zprostředkovaně přes produkty radikálových reakcí vody. Pravděpodobnost přímého poškození je oproti nepřímému velice nízká, tudíž hlavním problémem pro buňky je poškození nepřímé, způsobované hlavně hydroxylovým radikálem OH[•], který z okolí vytrhává atomy vodíku. Poškozením komplementárních řetězců se mění terciární struktura DNA plazmidu (viz. obrázek 1). Jednoduchý zlom na jednom vlákne, není pro buňku tak závažný, zatímco dvojitý zlom na obou vláknech závažný je. V nejlepším případě způsobí programovanou smrt buňky, v horších případech buňka DNA chybně opraví za rizika vzniku nádorové buňky.



Obr. 1

Látkám, které chrání DNA před nepřímým poškozením se obecně říká radioprotektiva. Jedním z principů, na kterém fungují a který my budeme využívat, je vychytávání hydroxylových radikálů. Mezi takovátou radioprotektiva patří právě ethanol. Kvůli tomu máme hypotézu, že alkoholik, jehož tělo obsahuje více ethanolu než tělo abstinenta, bude více chráněn před IZ, kterému by byl vystaven při jaderné katastrofě.

2 Praktická část

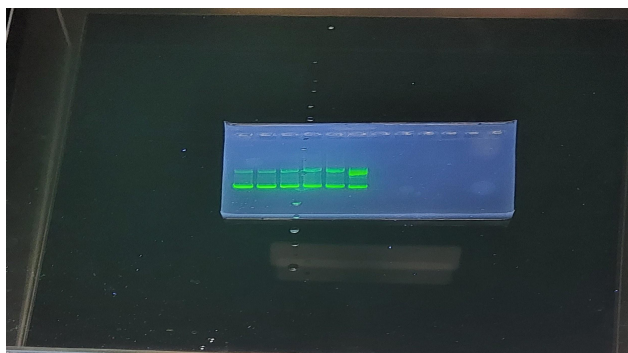
2.1 Materiály a metody

Nejdříve jsem si připravili 40 ml 1% agarózového gelu v 0.5x TAE pufru. Gel jsme nechali přibližně 20 minut vařit a poté jsme přidali 4 μ l fluorescenčního barviva SYBR Green I. Následně jsme jej nechali chladnout během přípravy vzorků. Těch jsme si připravili celkově 9, každý s postupně klesající koncentrací ethanolu (viz. tabulka). Jako zdroj ethanolu jsme použili 37,5% obj. vodku. Každý ze vzorků byl celkových 12 μ l, obsahoval 100 ng (55 ng/ μ l) plazmidu, a odlišné koncentrace ethanolu.

Vzorek	Obj. % ethanolu
1	25
2	10
3	2.5
4	1
5	0.25
6	0.1
7	0.025
8	0.01
9	0

Tab. 1

Následně jsme vzorky ozařovali z gama zdroje ^{60}Co dávkou 50 Gy, což zářiči trvalo 23 minut. Po ozáření jsme do každého vzorku přidali 2 μl nanášecího pufru, který obsahuje glycerol, díky němuž se vzorek při nanášení udrží v jamce. Ztuhlý gel jsme přesunuli do horizontální lázně, kterou jsme vyplnili 0,5x TAE pufrem. Poté jsme pomocí pipety nanесли vzorky do jamek. Pro následné rozdělení různě poškozených plazmidů jsme využili elektroforézu při napětí 100 V. To způsobilo migraci vzorků směrem k anodě, která trvala hodinu. Po hodině jsme vyfotili gel spolu se vzorky pod UV zářením (obr. 2).

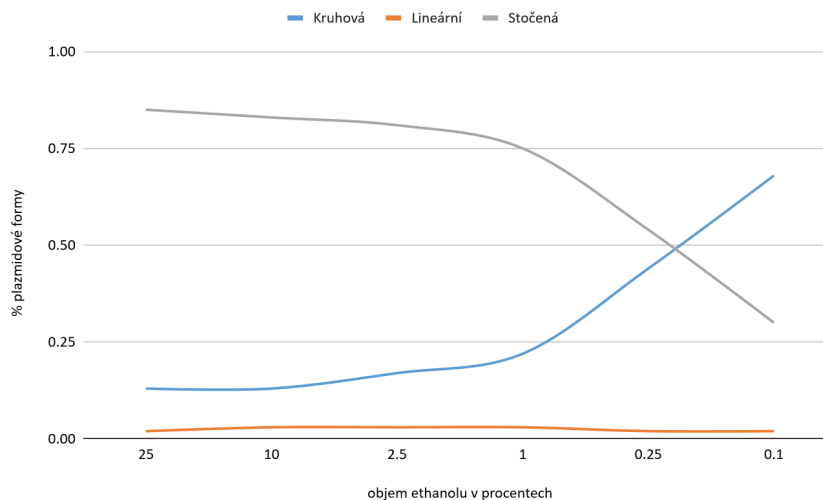


Obr. 2: gel se vzorky pod UV

2.2 Výsledky

Pod UV světlem jsme jasně viděli, že jsme ztratili 3 vzorky, vzorky 7,8 a 9. Chyba byly nejspíše způsobena nepřidáním plazmidové DNA do vzorků.

Z integrace grafu intenzit jednotlivých vzorků a jejich migrací jsme zjistili procentuální zastoupení plazmidových forem, specificky stočené, kruhové a lineární. Z těchto procentuálních zastoupení jsme vytvořili graf (graf 1), ze kterého jde vidět snižující se poškození DNA se zvyšující se koncentrací ethanolu.



Graf 1

2.3 Diskuze

Provedli jsme experiment na zodpovězení otázky, zda alkohol v těle člověka chrání před IZ při jaderné katastrofě. Výsledek našeho experimentu ukazuje, že ethanol sice patří mezi radioprotektiva, se zvyšující koncentrací ethanolu ve vzorcích se snižovala jejich míra poškození, ale výpovědná hodnota tohoto experimentu je pro zodpovězení původní otázky skoro nulová, jelikož chránění lidského těla a plazmidu v roztoku je velmi odlišné.

3 Závěr

Na reprezentativním modelu buňky jsme prokázali, že alkohol (ethanol) funguje za vysokých koncentrací v plazmidu jako radioprotektivum, ale nemůžeme s jistotou říci, jestli takto funguje i v lidských buňkách, jak jsme vysvětlili výše (viz. 2.3).

Poděkování

Poděkování za konzultaci, provedení projektem a ochotu patří naší supervizorce Ing. Kateřině Pachnerové Brabcové Ph.D. Velké díky patří také všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce.

Reference

- [1] https://is.muni.cz/el/1431/jaro2012/Bi8141/um/2-poskozeni_genomu_-_molek.pdf

Zlaté nanostruktury pro extrémní zesílení Ramanova signálu

L. Mičicová*, J. Husák**

Bilingválne gymnázium Milana Hodžu, Sučany*

Gymnázium, Jateční 22, Ústí nad Labem**

jirka.husak@outlook.com**

micicova.linda1@gmail.com*

Abstrakt:

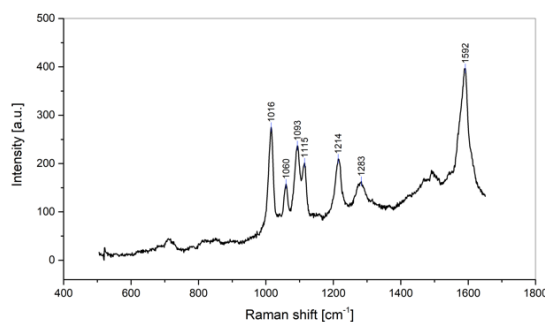
Ramanova spektroskopie je rychlá a nedeštruktivní metoda vhodná na přesné určení chemické zlúčeniny. My sa zameriavame na meranie ramanovho signálu 4-merkaptopyridínu zesíleného zlatou vrstvou na SiO₂ sférach.

1 Úvod

Ramanova spektroskopie je jediný typ spektroskopie na přesné určení chemické zlúčeniny. Za normálnych podmienok je však potrebné veľké množstvo zlúčeniny, preto sa využíva SERS (surface-enhanced Raman spectroscopy), pri ktorej je možné pomocou kovových nanoštruktúr výrazne zosiliť Ramanov signál.

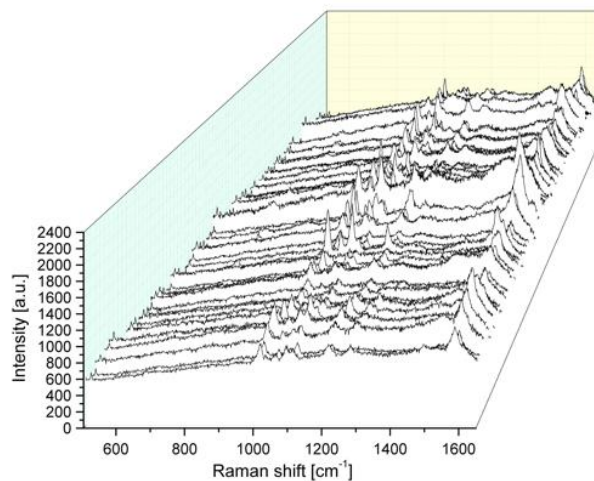
2 Popis experimentu

Na vytvorenie nanoštruktúrovej vrstvy sme využili hydrofobizované SiO₂ guľičky usporiadané na vodnej hladine, preniesli sme ich na kremíkové dosťičky a nechali uschnúť v peci. Ďalej sme magnetronovým naprašovaním pridali 20 nm zlata, a namáčali do roztoku 4-merkaptopyridínu v metanole s koncentráciou 10⁻⁶ M na 30 minút. Síra vytvorila kovalentnú väzbu so zlatom. Následne sme na zmeranie Ramanovho signálu použili Ramanov mikroskop, ktorý mal hélium-neonový laser s vlnovou dĺžkou 633 nm.



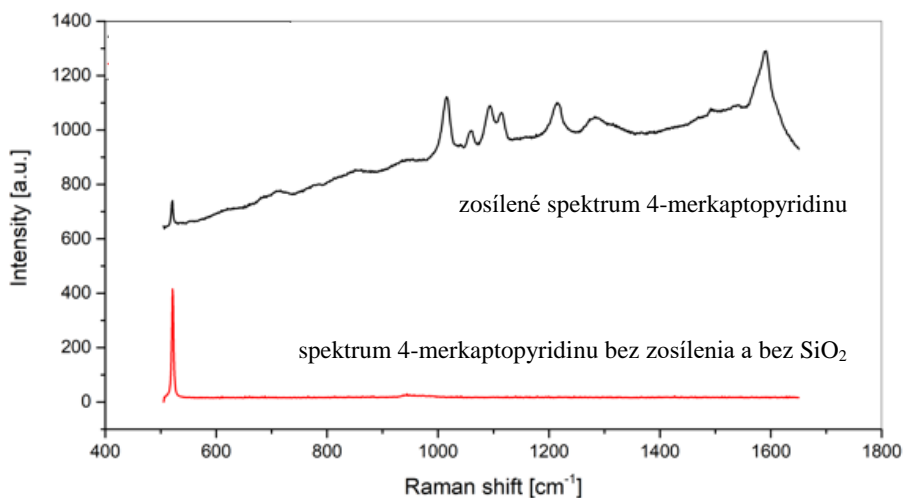
obr. 1

Zmerali sme Ramanov signál z 3 máp so spektrami 5*5, vzdialené 10 mikrónov, pri akumulácii 3 a čase 5 sekúnd. Na základe priemeru z týchto 75 spektier, z ktorého sme odčítali pozadie tvorené substrátom sme dostali spektrum, z ktorého na základe pásov vieme určiť, že sa jedná o 4-merkaptopyridín.



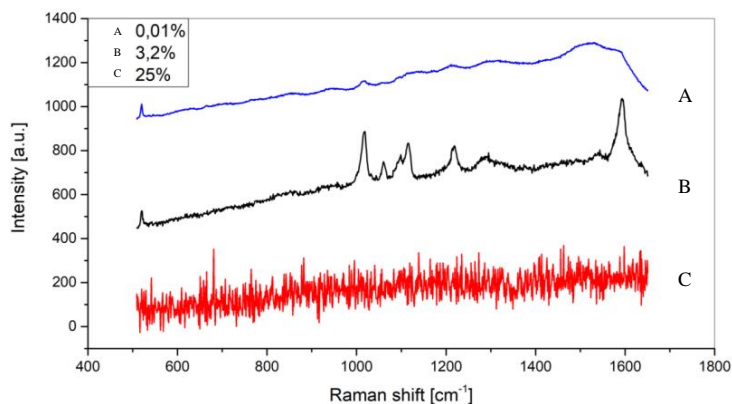
obr. 2

Na obr. 2 je možné vidieť všetkých 75 spektier. Vidíme, že schopnosť zosilovať SERS signál je rovnomerná, lebo rozdiely sú malé, a všetky z nich majú charakteristické pásy.



obr. 3

Na obr. 3 vidíme porovnanie Ramanovho spektra zosílené 4-merkaptopyridínu so spektrum 4-merkaptopyridínu bez zosílenia a bez SiO₂.



obr. 4

Na meranie sme využívali laser na intenzite 3,2%. Na obr. 4 je porovnanie viacerých intenzít. Charakteristické spektrum 4-merkaptopyridínu vidíme pri intenzite 3,2%, pri 0,01% je intenzita príliš nízka, pri 25% zas príliš vysoká.

3 Zhrnutie

Pomocou Ramanovej spektroskopie sa nám podarilo zmerať Ramanov signál SiO₂. S pomocou zlatých nanoštruktúr nám pomohli ho zmerať aj napriek nízkej koncentrácii. Tiež sme porovnali viaceré intenzity lasera a vybrali tú, ktorú sme považovali za najvhodnejšiu.

Pod'akovanie

Ďakujeme Ing. Lucii Marešovej za vedenie a odbornú pomoc s miniprojektom a RNDr. Janovi Proškovi za prípravu substrátu. Ďalej ďakujeme organizátorom Týdne vedy na Jaderce za príležitosť vyskúšať si vedeckú prácu.

Čárové kódy molekul a atomů aneb jak určit složení podle barev

Jan Holub

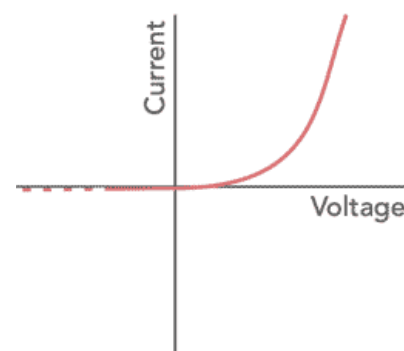
Wichterlovo Gymnázium
Čs. Exilu 669 Ostrava-Poruba

Abstrakt:

V tomto miniprojektu jsem se zabýval atomovými emisními spektry. Měřený vzorek byl plyn obsažený v neonové lampě, tudíž původní předpoklad byl, že se jedná o čistý neon. Měření probíhalo na vlastním sestaveném difraktu, kde probíhal ohyb světla vycházejícího z lampy, jednotlivé složky rozdělené podle vlnových délek byly poté analyzovány a výsledky analýzy potvrdily původní hypotézu, jedná se o čistý neon.

1. Úvod

Neonová lampka funguje pomocí doutnavého výboje v plynu. Tento princip svícení je v dnešní době velmi populární, využívá se v zářivkách a výbojkách. Jedná se o dlouhé úzké trubice obsahující plyn, který slouží jako zdroj světla. Světlo je vlastně vnější projev vedení elektrického proudu v plynu. Konstrukce zářivky je podobná jako konstrukce elektrolyzátoru, obsahuje dvě elektrody (katodu a anodu) a vodivé médium (plyn). Na elektrodách bývá z pravidla vysoké napětí (v řádech desítek kV), takové hodnoty jsou nutné pro udržení plynu v ionizovaném stavu, protože při nízkých hodnotách napětí by se plyn neionizoval samovolně a nebyl by elektricky vodivý. Napětí, při kterém se plyn ionizuje samovolně nazýváme zápalné napětí.



Obrázek 1: Závislost prošlého proudu plynem na napětí.

Ionizace plynu probíhá tak, že atom nebo molekula uvolní ze svého elektronového obalu elektron. Tento děj nazýváme elektromagnetická emise. Nemusí se nutně jednat o elektron valenční vrstvy, elektron se může uvolnit i z vnitřních vrstev. Stane-li se tak, uvolní se energeticky nižší elektronová hladina pro elektrony z energeticky vyšších hladin a ty pak mohou volné místo zaplnit. Při přechodu elektronu mezi hladinami se uvolní energie ve formě elektromagnetického záření. Při specifických přechodech se záření uvolňuje s vlnovou délkou ve viditelné oblasti. My pak vidíme, že plyn v zářivce svítí.

2 Emisní spektra

Hodnoty energií jednotlivých elektronových hladin atomů a molekul nejsou pro všechny látky stejné, každá látka má vlastní specifické energie. Tento fakt nám umožňuje analyzovat látky pomocí vyzářeného spektra světla. Jednotlivé vlnové délky uvolněné při přechodech se dají teoreticky vypočítat z Rydbergovy rovnice. Podle rovnice pro neon vychází specifické hodnoty emisních vlnových délek 656,1 nm (tmavě oranžová); 587 nm (žlutá); 433,9 nm (fialová) ; 410 nm (fialová).

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

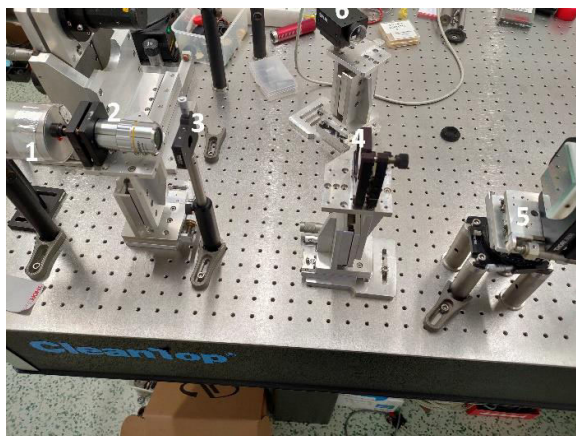
Obrázek 2: Rydbergova rovnice
(R - Rydbergova konstanta, n_f - hladina do které elektro přešel, n_i - původní hladina)

3 Průběh měření

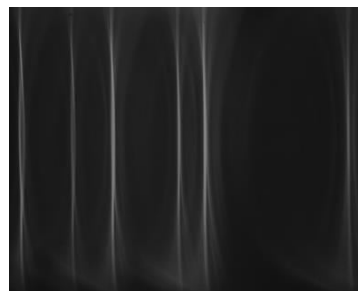
Pro měření jednotlivých vyzářených vlnových délek jsem sestavil difraktor světla. Při sestavování jsem použil mikroskop (zvětšení 200, 3,7 cm od lampy), plastovou slitku (šířka štěrbinu 50 μm , 3,5 cm od mikroskopu), spojnu čočku (ohnisková vzdálenost 15 cm, 18 cm od slitky), difrakční destičku (1200 vřpů/mm, 18,5 cm od spojné čočky) a spektrometr THORLABS CCS200/M střídaný s kamerou Grasshopper3 GS3-PGE-

9156M (rozlišení 1920 x 1200).

Mikroskop usměrňuje paprsky vyzářené z lampy na slitku se štěrbinou, přes kterou prochází úzký pruh světla o stejné tloušťce. Pruh světla poté prochází čočkou a vzniká z něj sbíhavý svazek paprsků. Při dopadu na desku dochází k ohybu, jehož úhel je závislý na vlnové délce, tudíž dochází k rozdělení jednotlivých vyzářených vlnových délek obsažených ve světle lampy. Jednotlivé vlnové délky se pak zobrazovaly na jiných pozicích, do kterých se stavěla kamera a spektrometr. Kamera sloužila k přesnému zaměření pro daný paprsek a spektrometrem byla poté změřena intenzita a vlnová délka odděleného světla



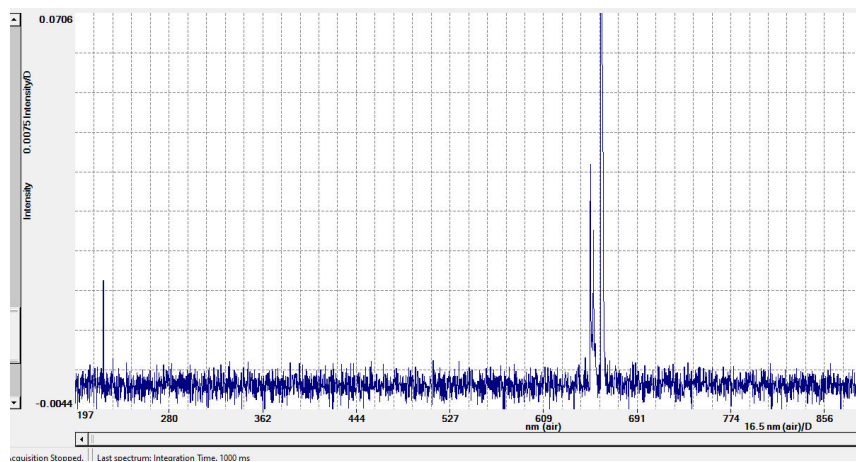
Obrázek 3: postavený difraktor (1 - neonová lampa, 2 - mikroskop, 3 - slitka, 4 - čočka, 5 - difrakční deska, 6 - kamera)



Obrázek 4: kamerou zaměřené jednotlivé vlnové délky (oblast 600 - 550 nm)

4 Výsledky měření

Nejprve bylo změřeno samotné světlo z lampy jakožto standart. Poté se měřily jednotlivé světelné pásy pomocí kamery, byla snaha získat co nejmenší čáru. Po dostatečném zaměření se kamera vyměnila za spektrometr a změřily se jednotlivé intenzity a vlnové délky pásů. Naměřené výsledky většinou odpovídají



teoretickým hodnotám.

Obrázek 4: diagram intenzity a vlnové délky emitovaného světla (vlnová délka 656 nm o intenzitě 0,0708)

5 Shrnutí

Pomocí difraktorů emitovaného světla se dá poměrně přesně určit látka a její koncentrace ve vzorku. Tato metoda se osvědčila jako přesná analytická metoda.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Janu Hřebíčkoví za ochotu a pomoc při práci.

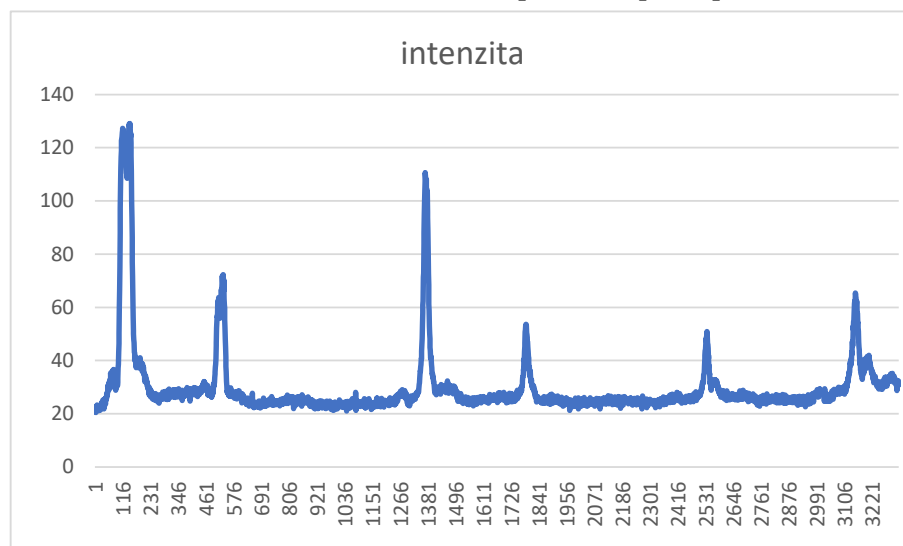
Reference

[1] H. J. Greenberg. *A Simplified Introduction to LATEX*.

<https://mirrors.nic.cz/te-xarchive/info/simplified-latex/simplified-intro.pdf>. 2010.

[2] Finite-element analysis of the effect of sheath-gas composition in an inductively-coupled plasma - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Electrical-conductivity-of-argon-and-hydrogen-gas-as-a-function-of-temperature-14_fig1_328037170 [accessed 20 Jun, 2023]

[3] _____ Ohm's Law. (n.d.). Advanced Learning App Shiken. <https://shiken.ai/physics/ohms-law>



Obrázek 5: graf intenzit světla na kameře podle pixelů.

[4] Contributors to Wikimedia projects. (2003). *Rydberg constant* - *Wikipedia* [Image]. Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Rydberg_constant

Můžeme od sebe odlišit jádra uhlíku a helia?

M. Kalda*, M. Zmátlová**

Ústav fyziky plazmatu AV ČR v.v.i.

Gymnázium Tišnov*, Gymnázium Třebíč**

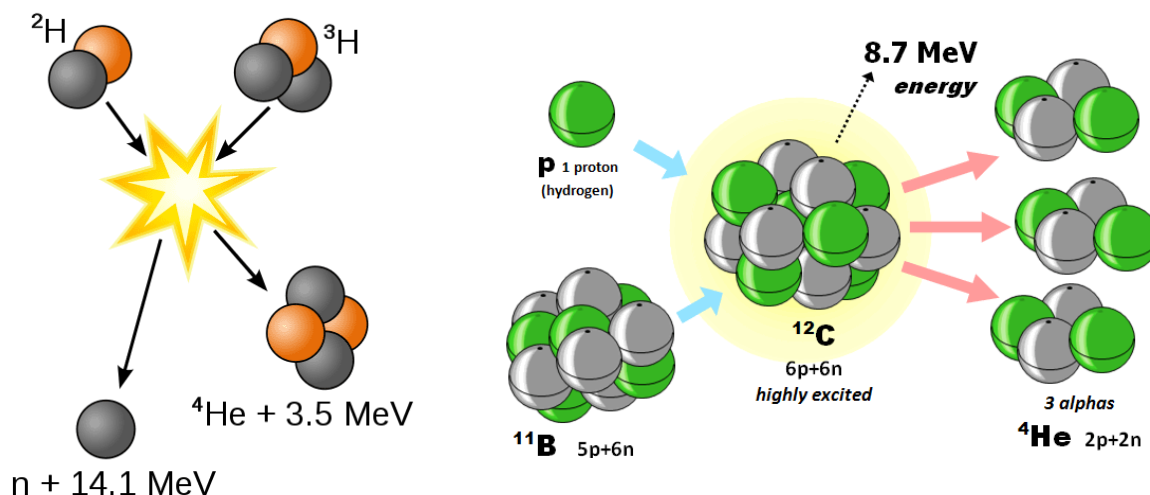
martin.kalda07@gmail.com*, marketa@zmatlovi.cz**

Abstrakt:

Cílem práce bylo vytvořit model aparatury, která by byla schopná odlišit alfa částice od dalších iontů, např. uhlíku nebo bóru. Alfa částice jsou v podstatě jádra helia, jelikož jsou složeny z 2 protonů a 2 neutronů. Odlišení alfa částic od ostatních iontů je důležité k tomu, abychom zjistili, jestli proběhla proton-borová fúze. Při pB fúzi se neprodukuje žádné neutrony, kvůli kterým by vznikala jaderná odpad. Standardně se k detekci používá Thompsonova parabola, u ní ale nejde jednoznačně zjistit, jestli jsme detekovali alfa částici, a ne například iont uhlíku nebo právě bóru, jelikož poměr hmotnosti ku náboji je 2,00075, 2 či 2,20186.

1 Úvod

Proton-borová fúze je fúze, při které se, na rozdíl od slučování deuteria s tritiem, neprodukuje neutrony, a tak nevznikají problémy například spojené s ionizujícím zářením, nebo s poškozováním reaktoru. Další výhodou proton-borové fúze je, že vznikají nabitá 3 alfa částice, které můžeme následně rovnou přeměnit v elektrický proud a neztratíme část energie, která při DT fúzi uniká při konverzi mezi tepelnou a elektrickou energií. K provedení pB fúze je ale potřeba desetkrát vyšší teplota než při DT fúzi. Proto se pB fúze zatím ještě moc nevyužívá.



Obrázek 1.: Fúze deuteria a tritia

2 Postup práce

Pracovali jsme pomocí simulačního softwaru pro návrh iontové optiky SIMION. V tomto softwaru jsme se snažili navrhnout aparaturu magnetů, která by nejen směřovala ionty a alfa částice do dvou různých bodů, ale také by nakonec odstínila všechny ionty kromě alfa částic.

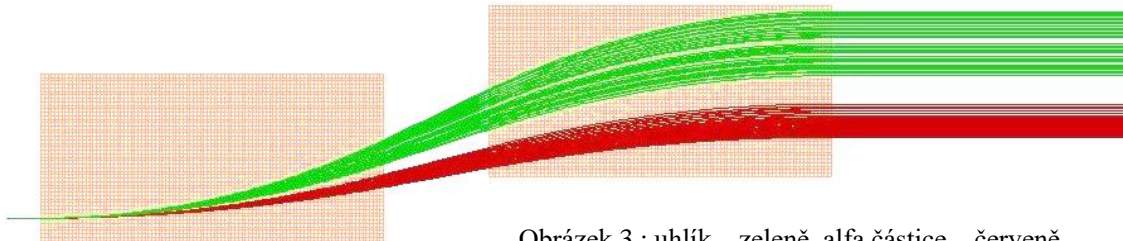
$$r = \frac{mv}{QB}$$

Diagram znázorňující vztahy mezi fyzikálními veličinami v rovnici $r = \frac{mv}{QB}$:

- m : hmotnost částice
- v : velikost rychlosti
- Q : elektrický náboj
- B : velikost magnetické indukce
- r : poloměr křivosti

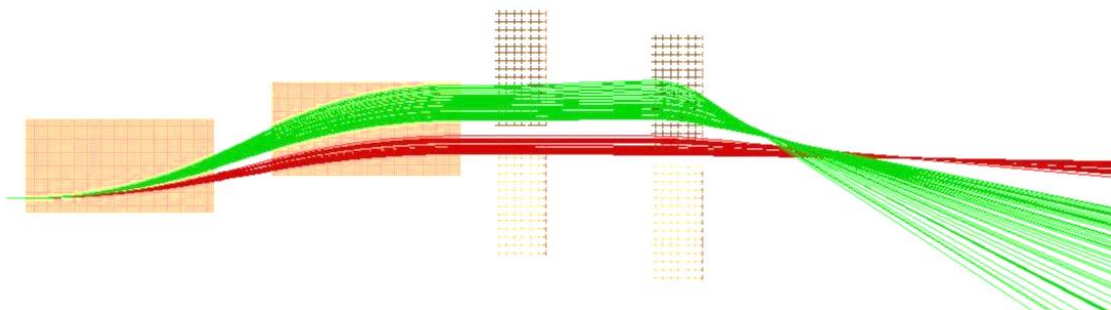
Při průchodu magnetickým polem mají částice různé trajektorie, protože mají odlišnou hmotnost, rychlost a elektrický náboj. Proto mají také jinou velikost poloměru křivosti trajektorie.

Nejprve jsme vytvořili dva magnety s opačně orientovanými póly, které jsme umístili tak, aby se oddělily alfa částice od uhlíku do rovnoběžných proudů. (Obr. 3.)



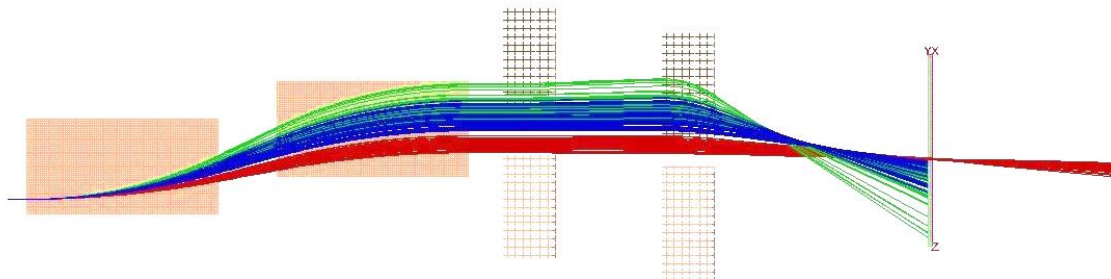
Obrázek 3.: uhlík – zeleně, alfa částice – červeně

Následně jsme se pokusili soustředit každý proud do jednoho ohniska, abychom mohli do nejužšího bodu proudu alfa částic dát clonu s otvorem, a tím odclonit ionty uhlíku. To jsme udělali přidáním kvadrupólových magnetů. Kvadrupólový magnet se chová jako čočka pro nabitě částice – v jedné rovině je soustředí do jednoho ohniska, ve druhé je naopak rozptyluje. Použili jsme dva kvadrupólové magnety. První na rozptýlení, aby se nám složky dostaly trochu dál od sebe a druhý na soustředění každého z proudů do jednoho bodu, který je pro každý proud jinak daleko. (Obr. 4.)



Obrázek 4.: uhlík – zeleně, alfa částice – červeně

Nakonec jsme přidali clonu, aby prošly pouze dále využitelné alfa částice, a také jsme přidali ionty bóru, abychom se přesvědčili, že clona odstíní i je. (Obr. 5.)



Obrázek 5.: bor – modře, uhlík – zeleně, alfa částice – červeně

Práci jsme prováděli v omezeném rozpětí kinetické energie částic, které bylo pouze 2–4 MeV. V reálných podmínkách je kinetická energie typicky mezi 2,5 a 10 MeV, takže by se částice chovaly jinak a návrh reálné funkční aparatury by musel být trochu jiný.

3 Shrnutí

Při práci jsme se snažili o teoretické vytvoření aparatury, díky které bychom byli schopni odlišit částice alfa, ionty bóru a uhlíku. To se nám povedlo, ale v reálu by to nefungovalo tak přesně, jelikož pracujeme s menším rozpětím energií částic. Návrh naší soustavy také nepočítá s okrajovými jevy magnetických polí.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat hlavně panu Ing. Pavlu Gajdošovi za vedení, pomoc a rady při práci.

Reference

- [1] Picciotto, A.; et al. Boron-Proton Nuclear-Fusion Enhancement Induced in Boron-Doped Silicon Targets by Low-Contrast Pulsed Laser. Phys. Rev. X 2014, 4, 031030.
- [2] [online]. In: . [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://fusionandthings.eu/wp-content/uploads/2019/06/fus-reaction-p-b112.png>
- [3] Diagram of the deuterium-tritium fusion reaction. [online]. In: . [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: https://www.fusionenergybase.com/static/6f19817a60b49eaed023d31f99fec639/48c0e/D-T_fusion.png
- [4] S.I.S. Inc., SIMION3DVersion 8.0, <https://simion.com>, 2007

Určování krystalové mřížky pomocí difrakce elektronů

T. Urban; O. Švihnos

SPŠ Chemická, Brno; Gymnázium Děčín

ttomas.urban@gmail.com; ondrej.svihnos@seznam.cz

Abstrakt

Pomocí transmisního (prozařovacího) elektronového mikroskopu jsme sledovali měděnou síťku s nánosem hliníku a okraje tenké fólie ze slitiny Fe-28 at.% Al připravené elektrolytickým leštěním. Poté jsme mikroskop zaostřili na jednotlivá zrna polykrystalického materiálu a sledovali jsme difrakční obrazce. V následující teoretické části přiblížíme principy difrakce a způsob určení krystalové struktury z difrakčních obrazců.

1 Úvod

Nejdříve definujeme klíčové pojmy. Difrakce elektronů je jev, kdy je elektromagnetické vlnění ohýbáno za překážku. Nastává v okamžiku, kdy je rozměr překážky v řádech vlnové délky difraktujících elektronů. Tento jev dokazuje vlnovou povahu e^- . Druhým důležitým termínem je krystalová mřížka, jíž se zabývá krystalografie. Kovy - předmět našeho zkoumání - mají v pevném skupenství atomy uspořádané do struktur, které se v prostoru periodicky opakují. Stačí tedy popsat jeden úsek, tzv. elementární buňku. Krystaly dělíme podle pravidelnosti a symetrie do několika soustav.

2 Praxe

- **Příprava vzorku** Používáme prozařovací mikroskop, tedy potřebujeme dostatečně tenký a prozářitelný vzorek. Jeden ze způsobů přípravy spočívá v elektrolytickém leštění dvou kulových ploch, které se v okamžiku perforace indikované průchodem světla zastaví (obr. 1a - otvor v terčíku). Tímto způsobem vznikne vzorek s různými tloušťkami materiálu. Jiné vzorky lze připravit magnetronovým naprašováním nebo napařováním.
- **Nastavení mikroskopu** Zdrojem elektronů je W tryska, poté jsou urychleny na 100 až 400 kV. Dále je jejich proud fokusován solenoidy a může být omezen clonami. Po průchodu vzorkem je další solenoid (projektiv) promítne na stínítko. V mikroskopu musí být vysoké vakuum (okolo 10^{-5} Pa), které zajišťuje systém vývěv. Vzorek je pohyblivý nejen kolmo na směr promítání, ale také rotačně podél osy ukotvení. Tento pohyb je zásadní, neboť nám umožňuje dosáhnout úhlu vhodného pro difrakci.

3 Dokumentace

Digitální fotografie při různých zvětšeních
Difrakční obrazce

4 Teorie

- **Difrakce** Předpokládejme, že vlny difraktuji se stejnou fází a že všechny atomy jsou ozářeny stejnou intenzitou. Difraktované vlny se šíří v podobě kulových ploch a v určitých směrech (s celočíselným poměrem dráhového rozdílu a vlnové délky) vznikají svazky interferenčních maxim. Krystaly mají prostorový charakter a podle vzájemné polohy krystalových rovin dochází k destruktivním nebo konstruktivním interferencím. Destruktivními interferencemi vznikají tzv. zakázané reflexe. Pokud sledujeme krystal o více prvcích, mohou být zakázané reflexe nahrazeny tzv. reflexemi nadstruktury. Výstupem v mikroskopu je difraktogram, který může mít podobu soustředných kružnic (polykrystaly, malá zrna) nebo bodů (monokrystaly, velká zrna).
- **Čtení z difrakčních obrazců** Bodové difraktogramy lze analyzovat porovnáním s tabulkami, podle úhlů a poměru vzdáleností jednotlivých bodů.

5 Shrnutí

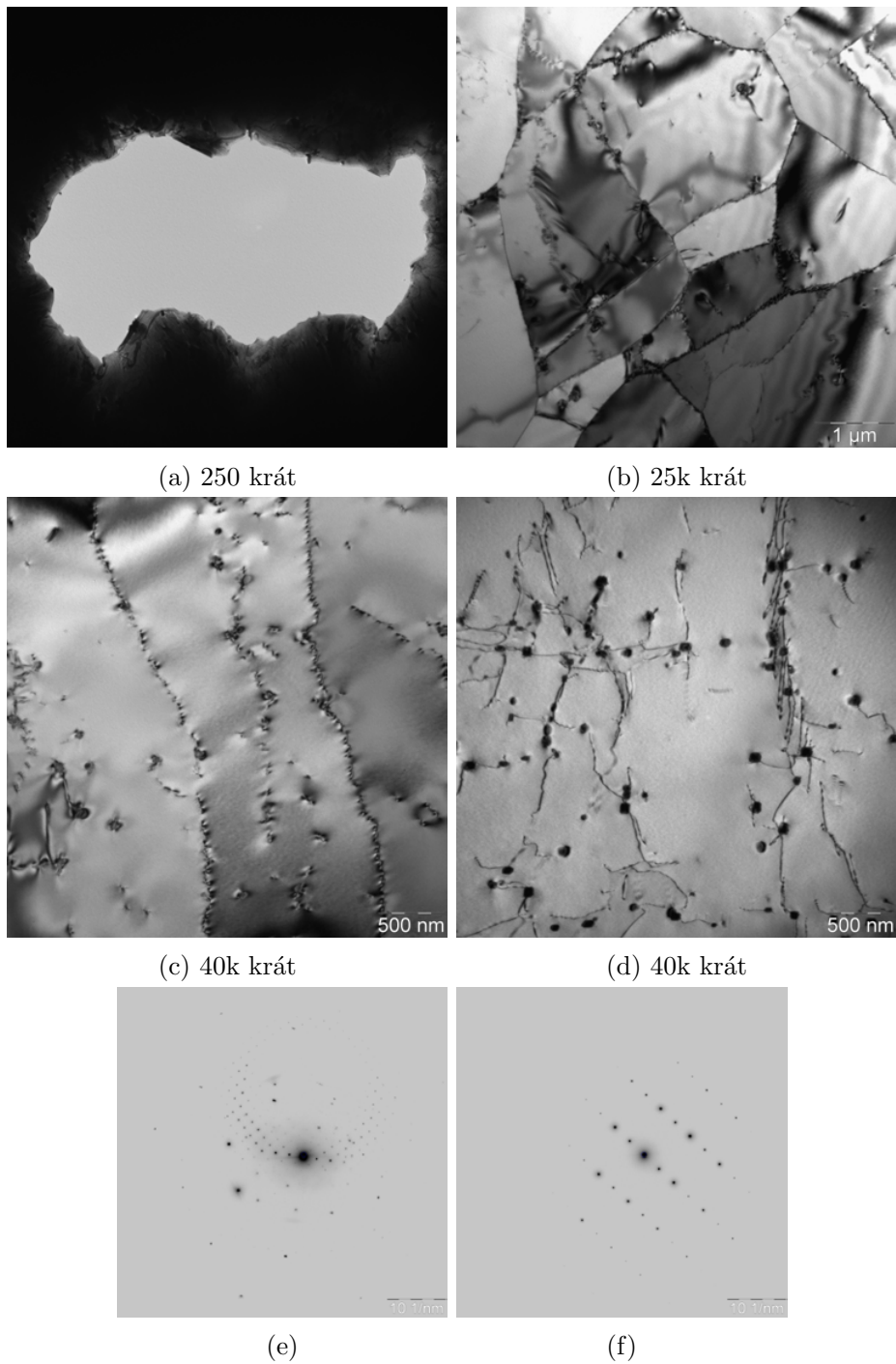
Transmisní elektronová mikroskopie se může významně podílet na materiálovém výzkumu. Lze pomocí ní určit mimo jiné krystalovou strukturu materiálů, zjistit lokální chemické složení pomocí energiově disperzní spektroskopie charakteristického RTG záření či zobrazovat krystalovou mřížku v atomovém rozlišení.

Poděkování

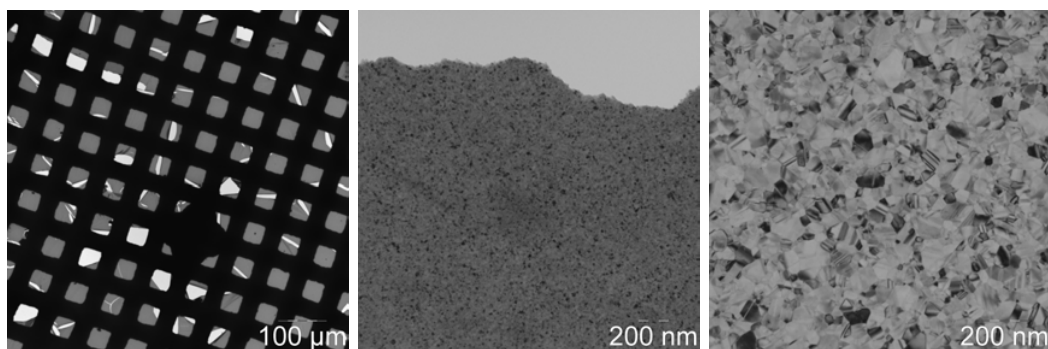
Děkujeme FJFI ČVUT a MFF UK za poskytnutí prostoru a materiálů po celou dobu miniprojektu, děkujeme prof. Dr. RNDr. Miroslavu Karlíkovi za odborné vedení a organizátorům TV@J.

Reference

- [1] H. J. Greenberg. *A Simplified Introduction to L^AT_EX*. <https://mirrors.nic.cz/tex-archive/info/simplified-latex/simplified-intro.pdf>. 2010.
- [2] M. Karlík. *Úvod do transmisní elektronové mikroskopie*. Praha: ČVUT v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04729-3



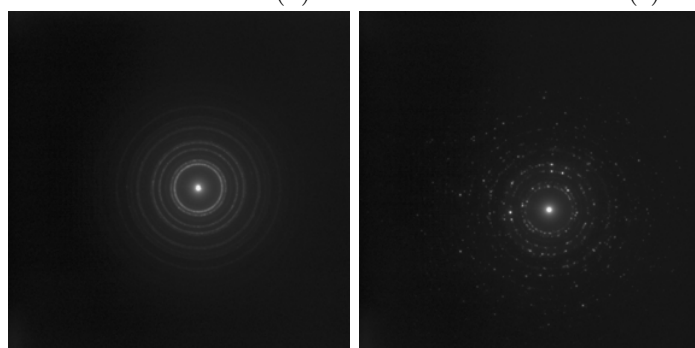
Obrázek 1: Vzorek slitiny Fe - 28 at. % Al, perforace terčíku (a), mikrostruktura slitiny (b - d), difraktogramy částice (e) a matrice slitiny (f).



(a) 200 krát

(b) 100k krát

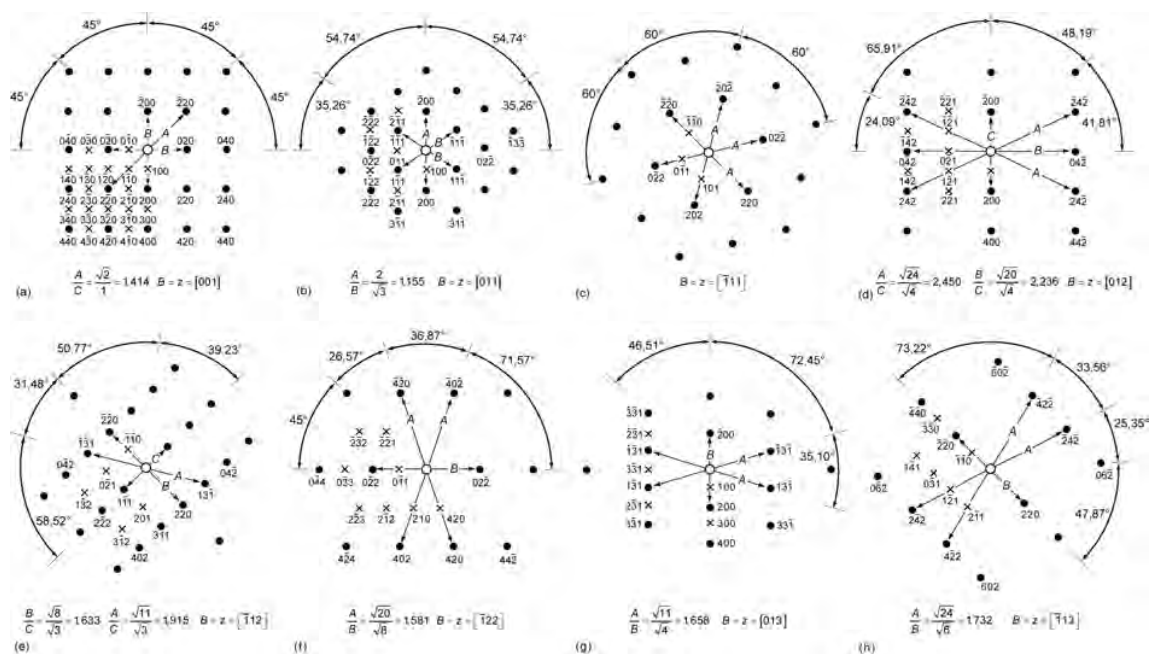
(c) 100k krát



(d)

(e)

Obrázek 2: Obrázky napařené hliníku (a - c), difraktogramy hliníku s různou hrubostí zrna: d) kolem 10 nm, e) řádově 100 nm.



Obrázek 3: Tabulka bodových difraktogramů pro plošně centrovanou krystalovou mřížku (např. Al)

3D atomární struktura bílkoviny za 24 hodin

B. Dolenská, J. Kutscherauer, M. Plachý

BIOCEV, Průmyslová 595, 252 50 Vestec

barcadolenska@gmail.com, jakub.kutscherauer@gbl.cz,
marek.plachy@outlook.com

Abstrakt

Práce se zabývá zjišťováním 3D atomární struktury bílkoviny pomocí rentgenové krystalografie. Struktura byla měřena u bílkoviny lysozymu, krystalizované pomocí metody založené na difuzi par. Následně byla srovnána kvalita krystalů vzniklých za různých podmínek.

1 Úvod

Zkoumání struktury biologických makromolekul je klíčové pro vývoj účinných léků bez vedlejších účinků nebo pro výzkum fungování lidského těla. Bílkoviny jsou jedním ze základních stavebních kamenů všech živých organismů, a proto jsme se zaměřili právě na ně. Nejčastěji využívanou metodou pro zjištění struktury dané molekuly je rentgenová krystalografie, které jsme se blíže věnovali v rámci našeho miniprojektu.

Hlavním výhodou rentgenové krystalografie oproti ostatním metodám je časová efektivita – celý proces výzkumu nám netrval déle než 24 hodin. V našem experimentu jsme se zabývali konkrétně lysozymem, který je známý pro své antibakteriální účinky. Nachází se například v lidských slzách, nebo ve vaječném bílku.

2 Materiály a metody

Proces měření struktury lze rozdělit na tři části: krystalizaci vzorku, měření difrakce rentgenového záření a výpočet modelu molekuly. Pro účely krystalizace jsme využili metody visící kapky, využívající principu difuze vodních par.

2.1. Příprava krystalizačního roztoku

Nejprve jsme si připravili 10 ml krystalizačního roztoku následujícího složení:

Tabulka 1: Složení krystalizačního roztoku

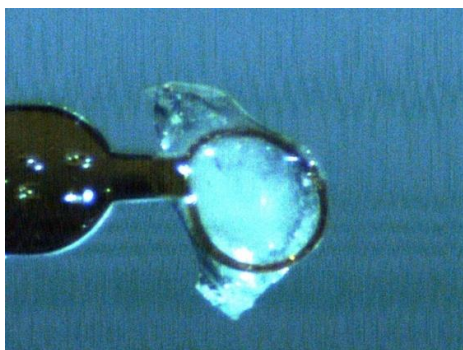
Složka	Koncentrace zásobního roztoku	Požadovaná koncentrace	Pipetovaný objem
PEG MME 3350 (¹)	50 hm. %	30 hm. %	6 ml
NaCl	$4 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	$1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	2.5 ml
NaOAc	$2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	$50 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$	250 μl

2.2. Příprava vzorků do krystalizační aparatury

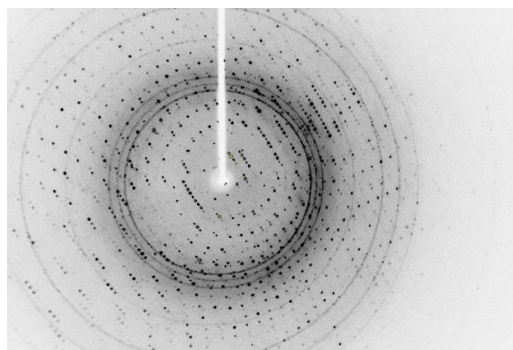
Pro přípravu jednoho vzorku jsme do krystalizační jamky odměřili 500 μl krystalizačního roztoku. Následně bylo do středu krycího sklíčka odpipetováno 0.5 μl lysozymu a 1 μl *de*mi H_2O . Následně jsme víčkem přiklopili krystalizační jamku a sledovali růst krystalů přes mikroskop.

2.3. Měření krystalu

Posléze jsme pod mikroskopem vybrali vhodný krystal (o velikosti přibližně 100 mikronů), který jsme vylovili na smyčku. Následně jsme smyčku umístili do rentgenového difraktometru Bruker D8 Venture (SC-XRD)². Průchodem rentgenového záření krystalem dochází k difrakci paprsků, jejichž dopady zaznamenává detektor a v počítači je z nich následně utvořen obraz.



Obrázek 1: Krystal v kaptonové smyčce



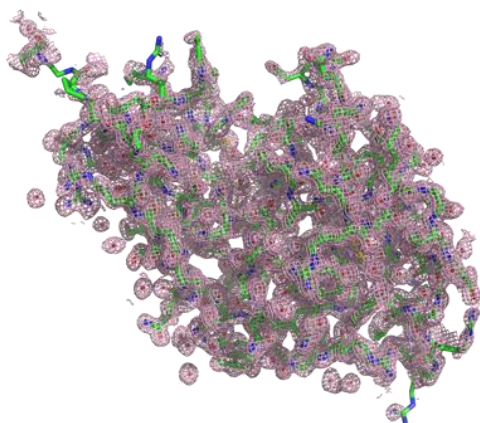
Obrázek 2: Difrakční diagram

¹ PEG MME 3350 = Polyethylen glykol monomethyl ether 3350 Da (průměrná molekulární hmotnost)

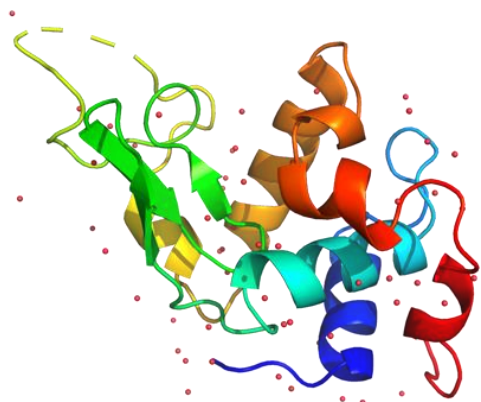
² SC-XRD = Single Crystal X-ray Diffraction = Monokrystalová (strukturní analýza) rentgenovou difrakcí

2.4. Výpočty a modelování (SW)

Z naměřených dat o dopadu záření jsme skrze počítačový program dopočítali hustotu rozložení elektronů, od kterých se rentgenové záření odráží. Díky této hustotě elektronů jsme následně odvodili umístění jednotlivých atomů a jejich vazby. Výsledkem této posloupnosti výpočtů je 3D model dané molekuly.



Obrázek 4: Molekulární kostra lysozymu vč. elektronové hustoty



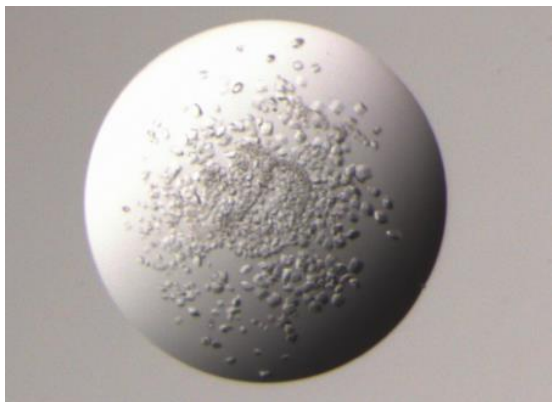
Obrázek 3: Stuhový model lysozymu (+ molekuly vody)

Tabulka 2: Porovnání difrakčních dat jednotlivých vzorků

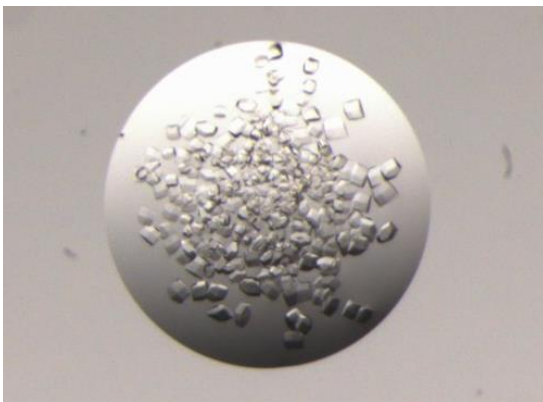
	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2
Rozlišení	38.38-3	3.18-3
	0.144 (0.665)	0.665 (0.006)
Naměřených reflexí	33637 (5522)	5522 (48237)
Unikátních reflexí	2452 (386)	386 (32221)
I/sigma(I)	5.5 (1.1)	1.1 (43.8)
CC1/2	0.992 (0.588)	0.588 (1)
Kompletnost	99.7 (99.1)	99.1 (99.1)
Násobnost	13.7 (14.3)	14.3 (48.1)
Rwork	0.252	0.348
Rfree	0.227	0.297

3 Výsledky a diskuse

Při první krystalizaci jsme použili 100 mg lysozymu, nicméně v takovéto koncentraci jádra vznikala příliš rychle a vznikaly pouze drobné krystaly s defekty, se kterými nebylo možné pracovat (viz obr. vlevo). Z toho důvodu jsme zkusili snížit koncentraci lysozymu na 80 mg, díky čemuž se celý proces krystalizace zpomalil a výsledek byl výrazně lepší (viz obr. vpravo).



Obrázek 5: Krystaly vzorku č. 1



Obrázek 6: Krystaly vzorku č. 2

4 Shrnutí

Při práci se nám podařilo zhotovit řadu více či méně zdařilých vzorků. Díky experimentování s poměry používaných látek jsme se naučili rozpoznat správné měření a faktory ovlivňující jejich kvalitu.

Poděkování

Děkujeme panu Ing. Janu Stránskému, Ph. D. z Biotechnologického ústavu AV ČR za uvedení do problematiky a pomoc s přípravou sborníkového příspěvku. Dále pak organizátorům Týdne vědy na Jaderce 2023 za veškerý čas a úsilí, které projektu věnovali.

CIISB, Instruct-CZ Centre of Instruct-ERIC EU consortium, funded by MEYS CR infrastructure project LM2023042 and European Regional Development Fund-Project „UP CIISB“ (No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/18_046/0015974), is gratefully acknowledged for the financial support of the measurements at the CF [name of the unit/CF].

Reference

- [1] I. Kutá Smatanová. *Krystalizace biologických makromolekul od teorie k praxi*. https://csacg.fzu.cz/func/viewpdf.php?file=2006_1Kuta.pdf. 2006.

Interpretace dat z pozorování tranzitu exoplanety

E. Bednářová, E. Švarcová, D. Menšík, A. Podmanická

MFF UK, V Holešovičkách 2, Praha 8

bednarovaeliska236@gmail.com, podmanickaana@gmail.com,
evelisvarcova@gmail.com, davca@mensikovi.com

Abstrakt:

V rámci miniprojektu jsme interpretovali získaná a zpracovaná fotometrická data tranzitu exoplanety. Cílem bylo určit, co nejvíce parametrů a charakterizovat zkoumanou planetu.

1 Úvod

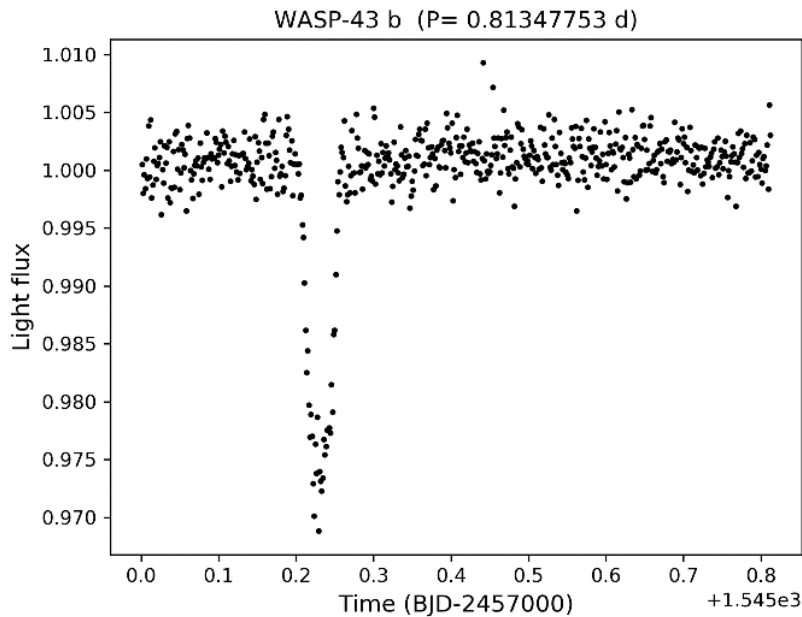
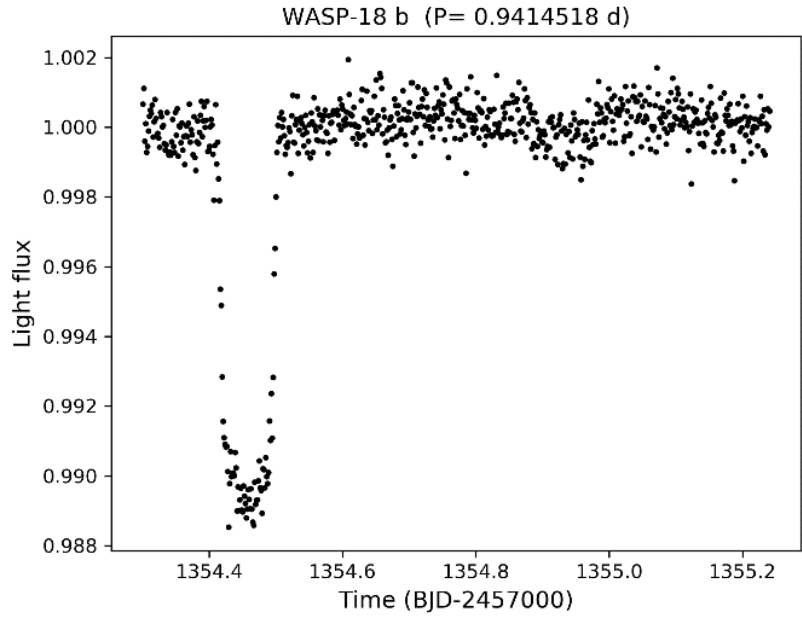
Exoplaneta (extrasolární planeta) je planeta obíhající jinou hvězdu než Slunce. Zkoumání exoplanet nám pomáhá určit, zda může existovat život jinde než na Zemi. Zjistíme, zda se exoplanety nachází v obyvatelné zóně, která je definována jako oblast, ve které se voda může nacházet v kapalném skupenství. V dnešní době mnoho informací získáváme z vesmírných sond. V roce 2009 byla vyslána sonda Kepler za účelem detekce exoplanet a později sonda TESS v roce 2018. K detekci exoplanet je používáno mnoho metod, mezi nejpoužívanější patří tranzit a metoda radiálních rychlostí, pomocí které byla objevena první exoplaneta při hvězdě podobné Slunci 51 Pegasi b v roce 1995. K tranzitu dochází, když exoplaneta prochází z pohledu pozorovatele před svou mateřskou hvězdou.

2 Materiály a metody

Pracovali jsme s normovanými daty získanými z pozorování tranzitů 2 různých exoplanet sondou TESS. Data ukazují změnu intenzity světelného záření hvězdy v závislosti na čase. Pracovali jsme s daty zpracovanými v grafech, ze kterých jsme vyčítali údaje (např. doba trvání tranzitu exoplanety, maximální pokles jasnosti v průběhu tranzitu, přítomnost okrajového ztemnění). Po dohledání hmotnosti a poloměru mateřské hvězdy jsme byli schopni určit poloměr exoplanety, vzdálenost exoplanety od její mateřské hvězdy a zda se exoplaneta nachází v obyvatelné zóně.

V zpracovaných fotometrických datech můžeme vidět linii konstantní svítivosti a následný pokles způsobený tranzitem exoplanety. Začátek a konec tohoto poklesu svítivosti indikuje první a poslední kontakt a porovnáním časů, kdy tyto události nastaly, můžeme zjistit délku trvání celého tranzitu exoplanety. Další zajímavý jev, který jsme mohli z dat vypožiorovat je efekt okrajového ztemnění. Tento efekt nastává v důsledku toho, že hvězda nesvíí rovnoměrně jasně na celém svém disku, ale její jasnost mírně klesá od středu směrem ke krajům hvězdy. V grafu se tento efekt projevuje mírným prohloubením ve světelné křivce. Když zjistíme maximální pokles jasnosti, tak pomocí vztahu $J_{max} - J_{min} = \frac{R_p^2}{R_h^2}$ můžeme zjistit poměr

poloměru exoplanety a poloměru hvězdy. Po dohledání poloměru mateřské hvězdy můžeme určit poloměr exoplanety. Když dohledáme hmotnost mateřské hvězdy, můžeme pomocí vztahu $r^3 = \frac{GM_h}{4\pi^2} \cdot P_p^2$ určit vzdálenost exoplanety od své mateřské hvězdy, kde G je gravitační konstanta, M_h je hmotnost mateřské hvězdy a P_p je perioda oběhu exoplanety. Pro zjednodušení dalších úvah předpokládáme, že mateřská hvězda zkoumané exoplanety má stejný zářivý výkon jako Slunce. Díky tomu můžeme určit, že hranice obyvatelné zóny jsou 0,95 AU – 1,37 AU. Porovnáním vypočítané vzdálenosti s těmito hraničními hodnotami zjistíme, že ani jedna ze zkoumaných exoplanet se nenachází v obyvatelné zóně.



3 Výsledky

Název exoplanety	WASP-43 b	WASP-18 b
Mateřská hvězda	WASP-43	WASP-18
Souhvězdí	Fénix	Sextant
Délka tranzitu [h]	$1,8 \pm 0,6$	$2,4 \pm 1,2$
Perioda [den]	0,81347753	0,9414518
Maximální pokles svítivosti	$0,032 \pm 0,003$	$0,011 \pm 0,001$
Efekt okrajového ztemnění	ANO	ANO
Poloměr mateřské hvězdy [km]	464 000	856 000
Poloměr exoplanety [km]	$84\,000 \pm 3\,890$	$89\,800 \pm 4\,080$
Hmotnost hvězdy [M_{\odot}]	$0,717 M_{\odot}$	$1,24 M_{\odot}$
Vzdálenost od mateřské hvězdy [AU]	0,015	0,021
V obyvatelný zóně	NE	NE

Porovnání vypočítaných hodnot s oficiálními údaji:

Exoplaneta	WASP-43 b		WASP-18 b	
Zdroj	Náš výpočet	Exoplanet.eu	Náš výpočet	Exoplanet.eu
Poloměr exoplanety[km]	$84\,000 \pm 3\,890$	$72\,400 \pm 1\,320$	$89\,800 \pm 4\,080$	$81\,400 \pm 5\,380$
Vzdálenost exoplanety od mateřské hvězdy[AU]	0,015	0,015	0,021	0,021

4 Shrnutí

Vypočítané vzdálenosti exoplanet od mateřských hvězd se shodují s oficiálními údaji, ale vypočítané poloměry exoplanet mají jisté odchylky od oficiálních údajů nejpravděpodobněji v důsledku nepřesného odhadu hodnot z grafu. Z normovaných fotometrických dat se nám povedlo dané exoplanety poměrně přesně charakterizovat.

Většina doposud zkoumaných exoplanet má krátkou periodu oběhu, tudíž jsou ve většině případů blízko své hvězdy, a proto se nenachází v obyvatelné zóně. Budoucí pozorování planet mimo naši Sluneční soustavu může přispět k hledání mimozemského života. Pohled na vzdálené hvězdné soustavy nám přináší pochopení historie formování naší Sluneční soustavy a naší planety Země.

Poděkování

Děkujeme našemu vedoucímu miniprojektu Mgr. Danielovi Dupkalovi za provedení na cestě objevování exoplanet a ukázaní nekonečného světa astronomie. Naše díky patří také organizátorům Týdne vědy za možnost zúčastnit se této unikátní akce.

Reference

- [1] http://exoplanet.eu/catalog/wasp-18_b/
- [2] http://exoplanet.eu/catalog/wasp-43_b/
- [3] M. Blažek a spol. *Pozorování, popis a charakterizace exoplanet pomocí 2M Perkovy dalekohledu na hvězdárně v Ondřejově.*
- [4] https://sk.wikipedia.org/wiki/Ob%C3%BDvate%C4%BEn%C3%A1_z%C3%B3na

Proč je zlato lesklé?

Karolína Faitová*, Adam Roštejnský**

Gymnázium Na Vítězné pláni 1160, Praha 4*, Jiráskovo gymnázium
Náchod, Řezníčkova 451**

karolina.fait@seznam.cz*, wojdik32@gmail.com

Abstrakt:

V této práci zkoumáme koncentraci volných elektronů ve zlatě a jak souvisí s jeho leskem a elektrickou vodivostí. Pomocí Fresnerova a Drudeova modelu jsme spočítali plazmovou frekvenci zlata a díky jeho permitivitě se nám podařilo vypočítat koncentraci elektronů.

1 Úvod

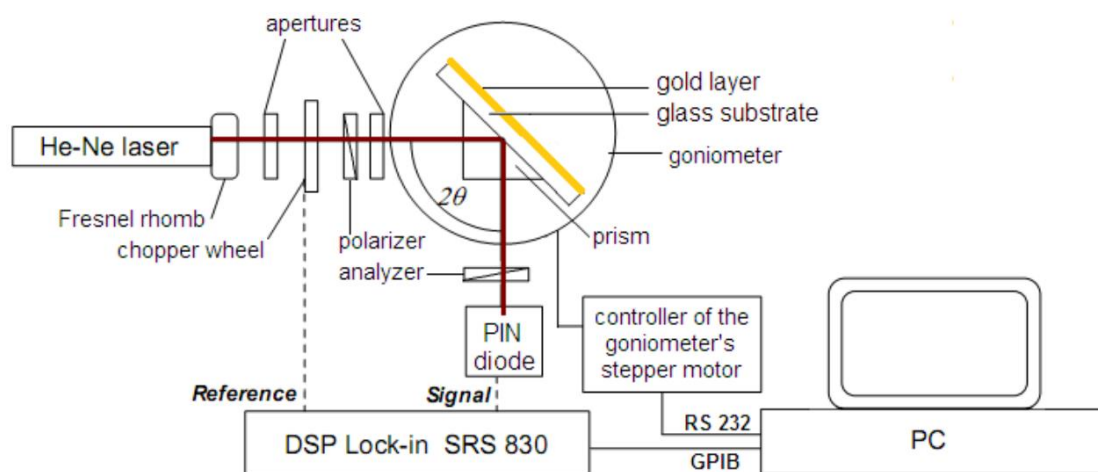
Zlato má zajímavé optické a elektrické vlastnosti. Už od starověku lidstvo fascinovalo svým třpytivě lesklým povrchem. Právě na původ tohoto lesku jsme se zaměřili. Pomocí metody zeslabené totální reflexe (ATR) jsme naměřili jeho permitivitu a pomocí matematických modelů spočítali koncentraci volných elektronů.

2 Metody

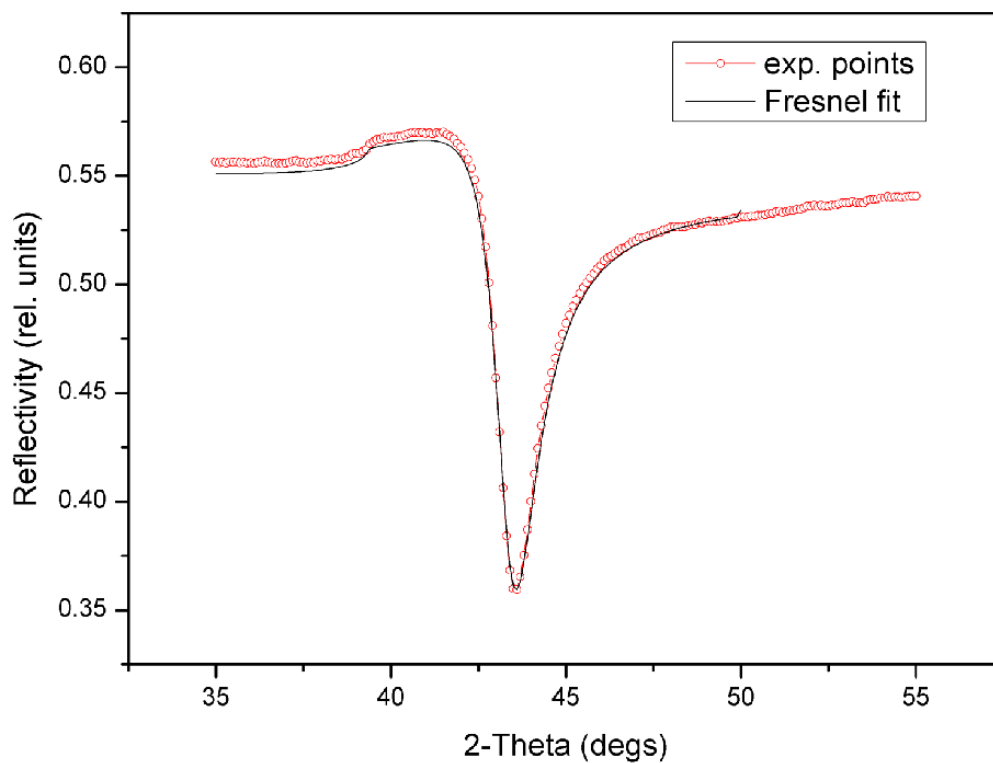
K určení koncentrace volných elektronů potřebujeme určit plazmovou frekvenci – bod, kdy elektromagnetické záření začne procházet materiálem. Po dosažení této frekvence se míra odraženého záření snižuje vlivem vznikajících plasmonů (kvazičástice), které absorbují energii záření a vzniká dipól.

Plazmovou frekvenci lze určit přímou metodou, která spočívá v postupném zvyšování elektromagnetického záření, dokud nenalezneme požadovaný bod poklesu reflektivity. Tato metoda je v praxi nedosažitelná, protože nedosáhneme spojitě změny vlnění s tak velkou energií ($E > 4\text{eV}$).

Proto jsme využili nepřímou metodu ATR. Ta je založena na změně dopadového uhlu monochromatického svazku na optický hranol s destičkou se vzorkem. Destička byla vytvořena fyzikální depozicí z plynné fáze (roztavení zlata ve wolframové vaničce ve vakuu). Pozlacenou destičku spojíme s hranolem imerzní kapalinou, abychom zachovali stejný index lomu. Hranol vložíme do experimentální soustavy (obrázek 1). Na hranol necháme dopadat světlo z laseru a fotodiodou snímáme odraz. Pomocí lock-in zesilovače vyrušíme světlo z místnosti. Měření je automatizované, úhel je postupně nastavován krokovým motorem. Výsledkem je graf závislosti reflektivity na úhlu dopadu (obrázek 2). Abychom získali permitivitu zlata musíme nalézt funkci, která má podobný průběh jako náš graf. Na to jsme použili Fresnelův fit.



Obrázek 1: Sestava ATR [1]



Obrázek 2: Výstupní graf s fitem

3 Výpočty

Nejprve vypočítáme úhlovou frekvenci ω světla odrážejícího se od vzorku zlata. Laser o vlnové délce $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$$

Následně jsme pomocí fitu Fresnerových rovnic, které popisují intenzitu lomeného a odraženého světla, zjistili relativní permitivitu zlata $\varepsilon_{(\omega)}$. Tento model také bere v úvahu několikanásobné odrazy světla. Dostali jsem hodnotu $\varepsilon_{(\omega)} = -10,38$.

$$\varepsilon_{(\omega)} = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$$

K výpočtu koncentrace elektronů použijeme Newtonův silový zákon, rovnici posunu dipólu a sílu elektrického pole. Po dosazení všech rovnic dostaneme tuto diferenciální rovnici.

$$\ddot{x} + \frac{e^2 N}{\varepsilon_0 m_e} x = 0$$

Její vyřešením se dostaneme k tomuto vztahu.

$$\omega_p^2 = \frac{e^2 N}{\varepsilon_0 m_e}$$

Po dosazení do tohoto vztahu jsme se dostali k výsledku $N = 3,169 \times 10^{28} \text{ e}^-/\text{m}^3$

4 Shrnutí

Lesk zlata způsobuje vysoká koncentrace volných elektronů, která se dá nejsnáze zjistit pomocí metody ATR. Naše naměřená hodnota je nižší než tabulková hodnota, což může být způsobeno nedokonalostmi a tloušťkou zlaté vrstvy. Zanedbali jsme konstantu útlumu. Využití má například v senzorce.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali doc. Ing. Ladislavu Kalvodovi, CSc. za vedení, pomoc a předané znalosti. Děkujeme také organizačnímu týmu TV@J a především Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc.

Reference

- [1] Levinský, Petr. Interaction of NH₃/N₂ Mixtures with a PDMS-Based Chemo-Optic Transducer Layer. Praha, 2014. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [2] DVOŘÁK, J. Plazmonová rezonance s měřením fáze. [online]. [cit. 2023-06-20]. https://is.muni.cz/th/e3ygp/JD_Thesis_Final.pdf

Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1

K. Svacinová, Gymnázium Voděradská, kacenka.svacinova@gmail.com
D. Něnička, Gymnázium Rožnov pod Radhoštěm, david.nenicka@email.cz
J. Štaffa, Křesťanské gymnázium, jstaffa@janstaffa.cz

20. 6. 2023

Abstrakt

Jaderný reaktor je zařízení, které je dnes nejčastěji spojováno s výrobou elektrické energie. Provoz jaderných zařízení je nerozdělitelně spojen s prokázáním bezpečnosti těchto zařízení. Abychom mohli bezpečně používat reaktor, musíme znát jeho výkon a zejména rozložení výkonu v aktivní zóně. V tomto experimentu jsme pomocí plynových detektorů stanovili rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1. Naše měření stanovilo axiální rozložení hustoty toku neutronů v palivu i mimo palivo. Axiální rozložení výkonu v palivu bylo stanoveno jak pro tepelné, tak také epitermální neutrony. Rozložení hustoty toku neutronů přímo odpovídá výkonu reaktoru.

1 Úvod

Větší hustota neutronů znamená více štěpných reakcí v palivu, tedy větší výkon.

Neutronové záření je proud neutronů, nás zajímají pro měření tzv. tepelné (pomalé) a epitermální (rychlé). Pro jaderné štěpení je zásadní přiměřené množství tepelných neutronů, které mají mnohem větší pravděpodobnost rozštěpit atom uranu.

Naším cílem bylo změřit závislost počtu neutronů na pozici a výšce v reaktoru. Naměřená data nám vytváří obrázek toho, jak bude v reaktoru rozloženo teplo, tedy kde hrozí riziko přehřátí.

2 Teorie

Rozložení hustoty neutronů v reaktoru závisí na několika hlavních faktorech:

V prázdných kanálech, naplněných moderátorem, bude obecně vyšší naměřená hustota neutronů, protože detektor je citlivější na tepelné elektrony, kterých je zde díky vyššímu množství moderátoru více.

Z opačného důvodu - nedostatku moderátoru - bude naměřená hustota neutronů uvnitř paliva obecně nižší.

Dále bude obecně nejvyšší hustota ve středu aktivní zóny, kde neutrony nemohou opustit reaktor, jako se děje na krajích.

Neutrony jsou částice bez elektrického náboje, což komplikuje jejich detekci. Proto využíváme vlastností různých prvků (U, He, B...), ve kterých po nárazu neutronu dochází k jaderné reakci, při které může vzniknout elektricky detekovatelná částice. Pro měření jsme použili borový detektor, kde při zachytu neutronu vzniká lithium a α záření, které má pozitivní náboj, tedy již detekovat lze.



Detektor neutronů se skládá z elektrod nabitých vysokým napětím, mezi nimiž je inertní plyn. Pro naše měření jsme použili detektor SNM13, ten používá vrstvu boru, na níž díky neutronům vznikají nabitě částice, které jsou přitaženy k elektrodám, kde následně dochází k detekovatelné změně napětí, ta je následně zpracována počítačem.

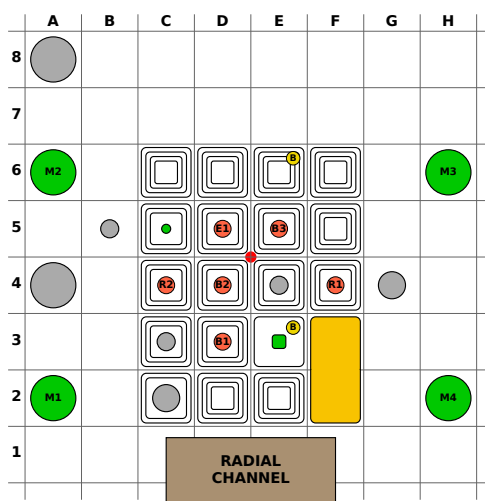
Některé materiály lépe absorbují pomalé neutrony, jiné zase rychlé. Tohoto jevu můžeme využít, když je potřeba zachytávat pouze jeden druh. Jedním z takových materiálů je kadmium, které efektivně odfiltruje pomalé neutrony. Detektor obalený v kadmiu tedy zachytí pouze neutrony rychlé.

3 Měření

K měření toku neutronů byl použit borový detektor SNM13.

Byla provedena celkem tři měření v různých místech reaktoru (viz Obrázek 1):

- Vně aktivní zóny mimo palivo (pozice G4)
- Uvnitř aktivní zóny v palivu (pozice C3)
- Uvnitř aktivní zóny v palivu, s kadmiovým obalem detektoru (pozice C3)



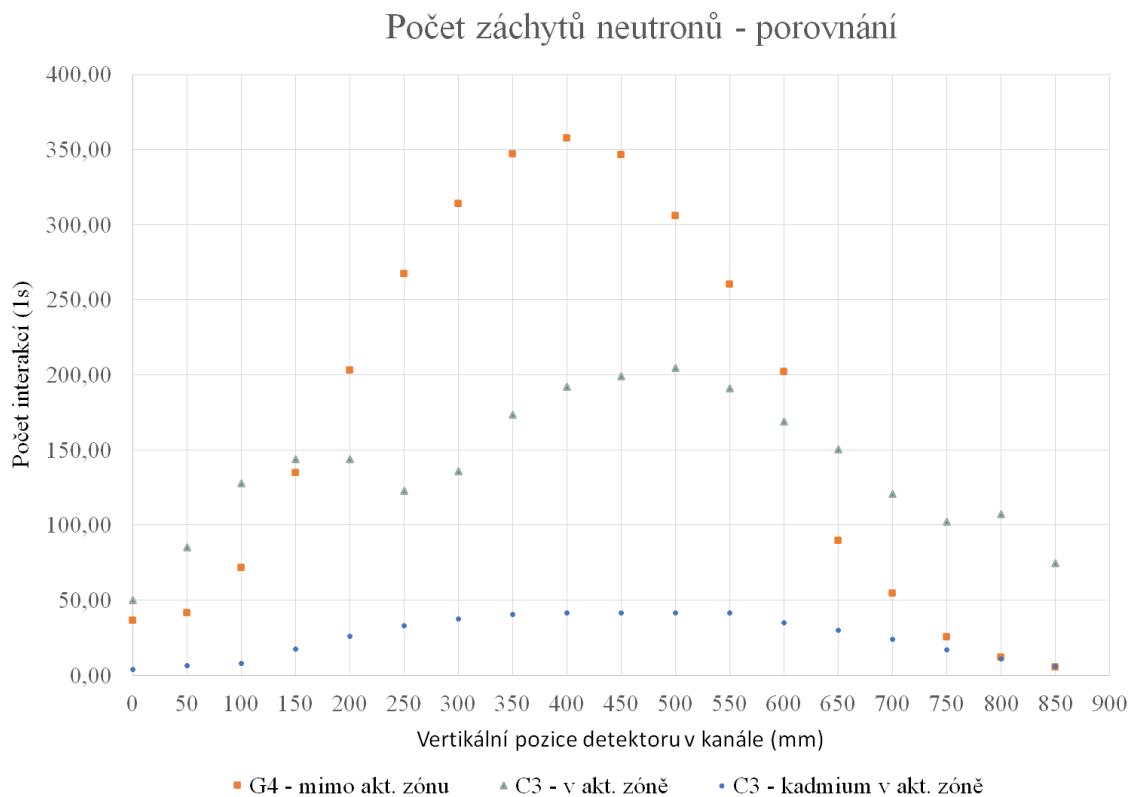
Obrázek 1: Schéma reaktoru včetně aktivní zóny v době měření

Na začátku měření jsme umístili detektor na dno kanálu reaktoru a následně ho zvedali po pětcentimetrových krocích skrz aktivní zónu do výšky 85 centimetrů. Při každém kroku jsme v intervalu 30 sekund změřili počet interakcí neutronů s detektorem v dané výšce, který odpovídá přibližnému množství tepelných neutronů.

4 Výsledky

V následujícím grafu jsou zakresleny naměřené hodnoty v závislosti na výšce detektoru nad dnem kanálu pro každé ze tří měření.

Výsledky měření dopadly přibližně podle očekávání - nejvyšší množství neutronů bylo naměřeno ve středu kanálu, kde se je nejmenší šance na únik neutronu z reaktoru. Celkem překvapivé bylo, že uvnitř palivového článku byly maximální naměřené hodnoty paradoxně nižší, než mimo aktivní zónu, což způsobuje zvýšené množství moderátoru, který zpomaluje neutrony více a detektor je tedy více zachytává, také je zde samotné palivo, které neutrony absorbuje. Další zajímavostí byla lokální maxima na měření v aktivní zóně bez kadmiového obalu, která byla způsobena odražením neutronů od konců palivového článku, kde je opět více moderátoru. V případě s kadmiovým obalem tato maxima nevznikla, tedy se dá odvodit, že jsou způsobena pouze pomalými neutrony.



5 Závěr a diskuze

Stanovené rozložení hustoty toku neutronů v aktivní zóně odpovídá teoretickým poznatkům získaných během experimentu. Zjištěné výsledky potvrzují vliv zvoleného detektoru, vliv pokrytí detektoru i lokalizaci v aktivní zóně.

Obecně lze říci, že získané výsledky potvrzují, že detektor citlivý na tepelné neutrony detekuje větší hustoty toku neutronů v místech s větší koncentrací moderátoru, tedy lehké vody.

Detektor umístěný v palivovém souboru, který je provozovaný v podmoderované oblasti - oblasti, ve které nedochází k efektivnímu zpomalování neutronů na tepelné - detekuje menší hustotu toku neutronů, než detektor umístěný mimo aktivní zónu.

Detektor obalený v Cd pokrytí, který je poté schopen detekovat pouze rychlé neutrony detekuje mnohem menší absolutní hodnoty hustoty toku neutronů, než detektor holý. Tento poznatek je opět v souladu s očekávaným chováním získaným v průběhu experimentu.

Rozložení hustoty toku neutronů v palivu (detekované holým detektorem) má oproti jiným měřením odlišný průběh. Jsou zde totiž zaznamenány reflektorové píky, které jsou způsobeny termalizací rychlých neutronů v axiálních reflektorech aktivní zóny a jejich návratu do místa paliva jako tepelných. V těchto částech pak tepelný neutron může způsobit štěpení a zvýšit tak neutronovou populaci v tomto místě.

Na závěr je třeba podotknout, že i když je hustota toku neutronů spojena s generovaným výkonem, neodpovídá hustota toku neutronů přímo výkonu v části aktivní zóny.

Poděkování

Především děkujeme našemu garantovi panu Ing. Ondřeji Novákovi za teoretický podklad a panu Ing. Pavlu Sukovi za pomoc při měření. Dále děkujeme veškerému personálu reaktoru za ochotu a výborné pracovní podmínky.

Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu

L. Gavlová*, J. Kožnar**, V. Zukalová***

*PORG Ostrava, **Střední průmyslová škola Třebíč, ***Gymnázium
dr. A. Hrdličky v Humpolci

*gavlovalucie@porg.cz, **koznarj.04@spst.eu,
***vzukalova1@gmail.com

Abstrakt:

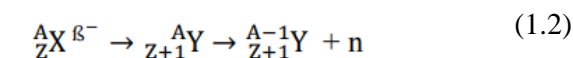
Provoz stávajících jaderných elektráren je neoddtělitně spojen s obohacovacím procesem, jelikož stávající bloky vyžadují obohacení paliva alespoň 2,5 %, ale Uran vyskytující se v přírodě má zastoupení štěpného prvku pouze 0,7 %. Vzhledem k nutnosti transportu a skladování těchto materiálů bylo historicky potřeba vyvinout nedestruktivní metody stanovení koncentrace a hmotnosti štěpného prvku v neznámém vzorku. K tomuto stanovení neznámého vzorku je možné využít zpožděné neutrony. Zpožděné neutrony se uvolní při rozpadu jader vzniklých štěpením. Měření proběhlo na školním reaktoru VR-1. Výsledek měření neznámého obsahu uranu byl zpřesněn výpočtem na 3,02 %.

1. Vznik a význam zpožděných neutronů

Štěpení spočívá v rozdělení jádra. V prvním stádiu štěpné reakce dochází k pohlcení neutronu, přičemž vznikne jádro ve vzbuzeném stavu (1.1) (složené jádro). Takové jádro emituje gama záření a může přejít do základního stavu nebo dojít k jeho rozštěpení.



Produkty štěpení jsou díky velkému nepoměru protonů a neutronů nestabilní, proto jsou radioaktivní a dochází k β^- rozpadu s doprovodným zářením gama. Pokud β^- rozpad vede na jádro ve vzbuzeném stavu a je-li energie vzbuzeného jádra vyšší, než vazbová energie neutronu v jádře dojde k emisi neutronu a vzniká tak stabilní jádro. Takto emitovaný neutron nazýváme zpožděným neutronem (1.2).



A_ZX – předchůdce mateřského jádra

β^- – záření beta minus

${}^A_{Z+1}Y$ – mateřské jádro

${}^{A-1}_{Z+1}Y$ – výsledné jádro

Zpožděné neutrony a jejich efekt na chování jaderného reaktoru nejvíce prostudoval G. R. Keepin v 50. a 60. letech. Rozdělil zpožděné neutrony do šesti skupin, podle poločasu rozpadu $\tau_i = \frac{1}{\lambda}$ a počtu zpožděných neutronů na jeden neutron vyvolávající štěpení $\beta i = \frac{v_d^i}{v_d + v_p}$. Důležitou charakteristikou je energie. Energie zpožděných neutronů se pohybuje v rozmezí 200 keV – 700 keV, střední energie okamžitých neutronů, dosahuje 2,2 MeV. Musí tedy v rámci zpomalovacího procesu projít menším rozsahem energií.

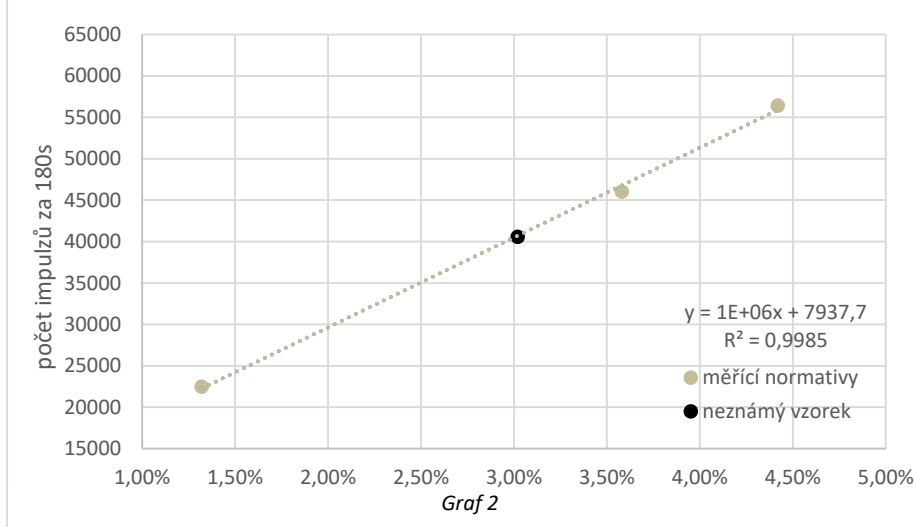
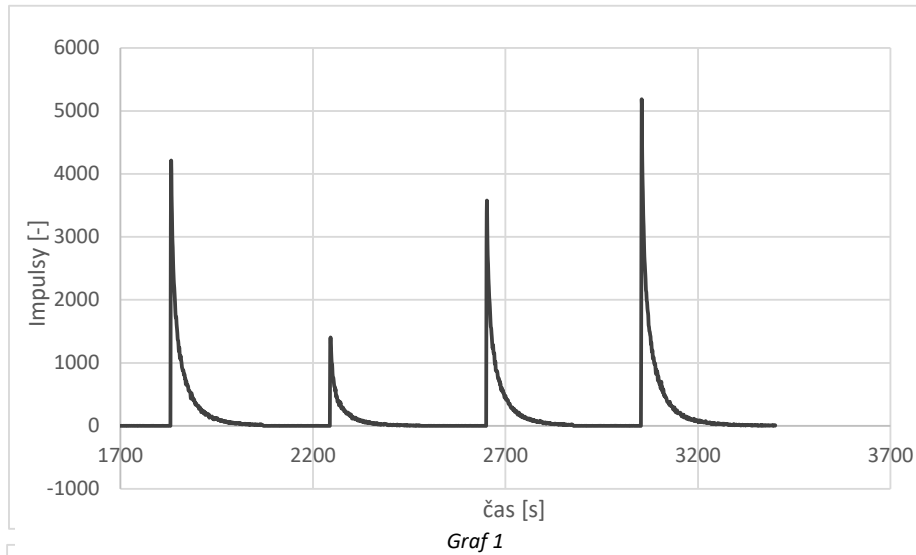
2. Praktická část

Pro naměření procentního obsahu uranu jsme nejprve uvedli školní reaktor VR-1 do kritického stavu na výkon 2E6. Následně byl operátorem zvolen režim automatického provozu. Po uvedení reaktoru do požadovaného režimu byl první vzorek transportován potrubní poštou do centra aktivní zóny, kde byl ozařován po dobu pěti minut neutrony z probíhající štěpné řetězové reakce. Poté byl první vzorek ES-03 o hmotnosti 1,5 g a o obohacení 1,32 % ${}^{235}\text{U}$ transportován do polyetylového boxu, kde byla měřena emise zpožděných neutronů a následovně byl na analyzátorech EMK-310 pozorován časový průběh četnosti emise zpožděných neutronů ze vzorku. Stejný postup byl zopakován u vzorku ES-04 – neznámého vzorku, ES-05 a ES-06. Výsledky měření byly zaznamenány do Tabulky č. 1.

Vzorek	Hmotnost vzorku [g]	Obsah ${}^{238}\text{U}$
ES - 03	1,5	1,32 %
ES - 04	1,5	neznámý
ES - 05	1,5	3,58 %
ES - 06	1,5	4,42 %

Tabulka č. 1

Pomocí metody detekce zpožděných neutronů bylo díky vztahu (viz Graf č. 2) z hodnot Grafu č. 1 určeno množství ^{235}U obsažené ve vzorku ES-04 na 3,02 %.



3. Závěr

Byl změřen časový průběh emise zpožděných neutronů ze štěpného materiálu ozářeného ve školním reaktoru VR-1. Díky získaným parametrům z analýzy bylo vypočítáno obohacení neznámého vzorku. Byla využita metoda detekce zpožděných neutronů k určení obohacení štěpného materiálu vzorku ES-04.

Reference

BAŠTÁŘOVÁ, B. a F. SOLAŘ. *Využití zpožděných neutronů ke stanovení množství štěpného materiálu* [online]. Praha, 2019 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z:

<https://tydenvedy.fjfi.cvut.cz/2019/output/sbornik/proceeds.pdf>

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat panu Ing. Ondřejovi Novákovi za vedení projektu a jeho cenné rady. Dále bychom chtěli poděkovat panu Ing. Tomášovi Bílému, Ph.D., který nás provázel měřením, Ing. Pavlu Sukovi a Katedře jaderných reaktorů Českého vysokého učení technického v Praze za možnost zrealizovat tento projekt v rámci projektu Týden vědy na Jaderce 2023.

^{99m}Tc značené léčivé přípravky pro diagnostiku v nukleární medicíně

A. Horák¹, B. Kačmářová², M. Malá³

¹Gymnázium Hranice, Zborovská 293

²Gymnázium Ostrava-Hrabůvka, p. o., Františka Hajdy 34

³První soukromé jazykové gymnázium Hradec Králové, Brandlova 875

BAM.Tc@tiscali.cz

Abstrakt:

Miniprojekt je zaměřen na přípravu radiofarmak na bázi ^{99m}Tc , které se používají pro diagnostiku poruch a onemocnění ledvin nebo plic. Cílem bylo připravit radiofarmaka, která se standardně používají v nemocnicích (Fakultní nemocnice v Motole) a provést zkoušku radiochemické čistoty přípravku pro vhodné podání pacientovi.

1 Úvod

Radiofarmaka jsou přípravky obsahující alespoň jeden atom radionuklidu. Používají se k vyšetření v oblasti nukleární medicíny, kdy se využívá schopnosti ionizujícího záření pronikat tkáněmi. Podle charakteru vyzařovaného záření se využívají metody PET a SPECT. Určitá radiofarmaka (např. ^{99m}Tc - MAG3, ^{99m}Tc - Nanocoll, ^{99m}Tc - DTPA, aj.) je nutno připravovat přímo v nemocnicích, protože podávané radionuklidy mají krátké poločasy rozpadu a při dlouhém transportu a uskladňování by ztratily část své aktivity [1, 2, 3]. Cíl naší práce byl připravit radiofarmaka a zkontrolovat jejich radiochemickou čistotu pro bezpečné podání preparátu pacientovi.

2 Experimentální část

2.1 Materiál

Použité chemikálie

kity pro přípravu radiofarmak: MAG3, Nanocoll, DTPA

fyzilogický roztok, methylethylketon, acetonitril, ultra čistá voda

iTLC SG destičky, chromatografický papír Whatman č. 1

generátor Ultra Technetow $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$

Použité přístroje

termoblok, TLC skener, studňový detektor pro měření aktivity nádobky na odstínění záření

2.2 Postup práce

Generátor Ultra Technetow $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ byl eluován 4 ml fyziologického roztoku, aktivita eluátu byla změřena ve studňovém detektoru ($A = 1,423 \text{ GBq}$). Celkem jsme připravili 3 různá radiofarmaka za použití 3 různých kitů. Výsledné radiofarmakum mělo mít aktivitu okolo 300 MBq, a proto jsme pro každou přípravu odebrali cca 0,8-0,9 ml koncentrovaného eluátu. Při veškeré manipulaci s radiofarmaky bylo použito stínění a ochranné pomůcky.

2.2.1 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MAG3

0,8-0,9 ml koncentrovaného eluátu bylo naředěno fyziologickým roztokem na objem 7 ml, tento roztok byl injekční stříkačkou převeden do nachystaného kitu, který se následně vložil do termobloku nahřátého na 120°C na 10 min. Obsah kitu byl protřepán. Před vytáhnutím injekční stříkačky bylo nutné odebrat stejný objem vzduchu, jaký objem roztoku jsme přidali do kitu, abychom zabránili nechtěnému vystříknutí radioaktivního roztoku. Po nahřátí bylo radiofarmakum ochlazeno ve vodě na pokojovou teplotu.

2.2.2 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – Nanocoll

0,8-0,9 ml koncentrovaného eluátu bylo naředěno fyziologickým roztokem na objem 2 ml. Zbytek postupu je shodný s předchozím radiofarmakem, ale bez zahřívání a roztok se nechává inkubovat při pokojové teplotě.

2.2.3 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – DTPA

0,8-0,9 ml koncentrovaného eluátu bylo naředěno fyziologickým roztokem na objem 4 ml. Zbytek postupu je shodný s předchozím radiofarmakem, ale bez zahřívání a roztok se nechává inkubovat při pokojové teplotě.

2.3 Radiochemická analýza

Pro zjištění radiochemické čistoty připraveného preparátu byla použita metoda TLC (chromatografie na tenké vrstvě). Jako chromatogram byla použita iTLC SG destička. Chromatogramy byly změřeny pomocí TPC skeneru, který měří aktivitu v daném místě.

2.3.1 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MAG3

1 chromatogram, mobilní fáze: acetonitril s vodou v objemovém poměru 70:30

2.3.2 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – Nanocoll

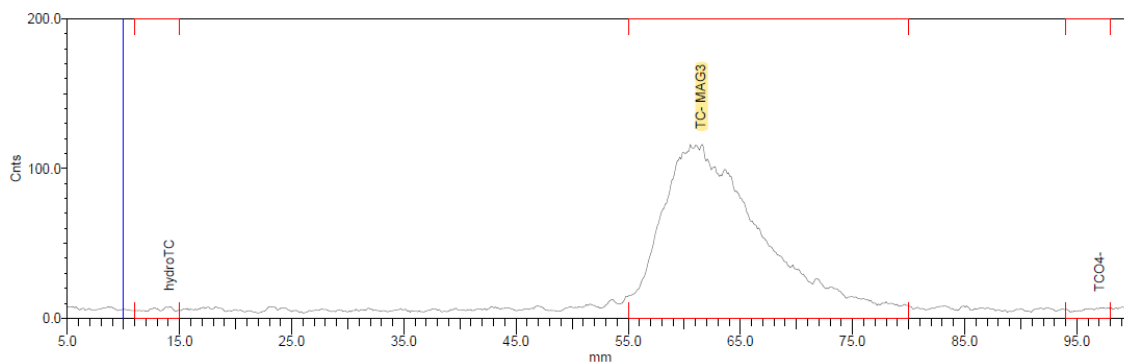
1 chromatogram, mobilní fáze: methylethylketon

2.3.3 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – DTPA

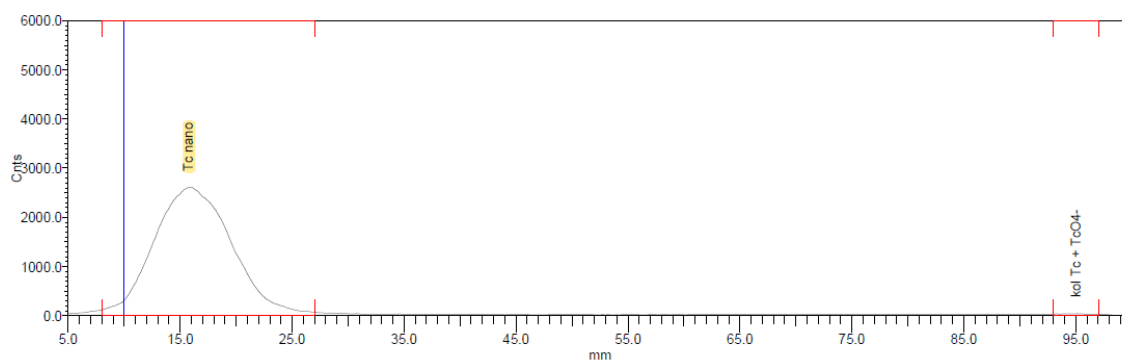
2 chromatogramy, mobilní fáze: 1) fyziologický roztok, 2) methylethylketon. Nečistoty se neoddelí obě najednou od radiofarmaka, proto byly použity dvě různé mobilní fáze.

2.4 Výsledky

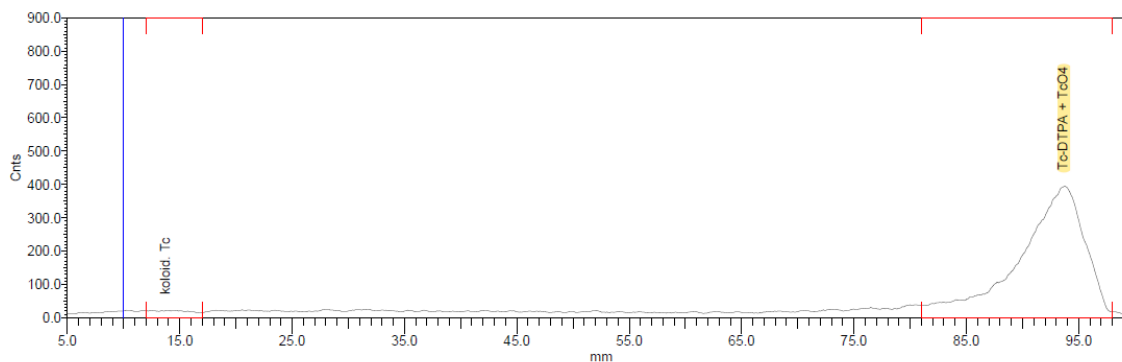
Všechny tři připravená radiofarmaka mají dostatečnou čistotu ($\geq 95\%$) a jsou tudíž vhodné pro podání pacientovi. Nečistoty jsou technecistanový ion TcO_4^- a hydrolyzované technecium.



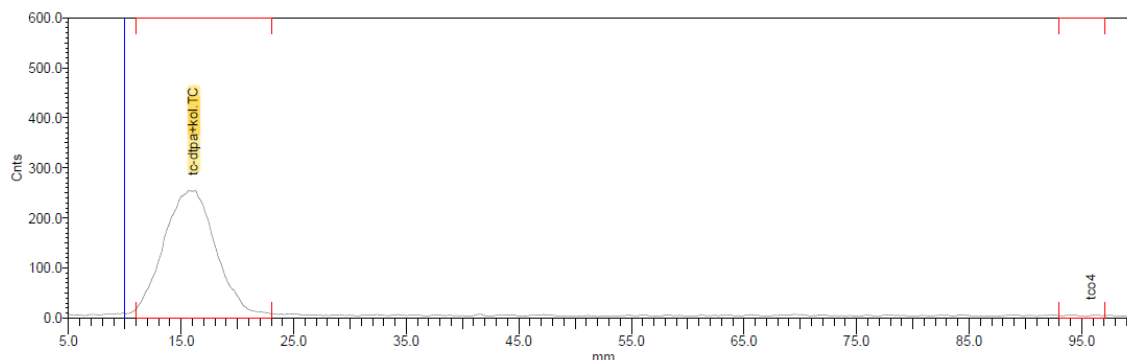
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MAG3, mobilní fáze acetonitril s vodou, $A = 332,1 \text{ MBq}$, 96.38%
 R_f kompl. Tc $\doteq 0,55\text{-}0,75$; $R_f \text{ TcO}_4^- \doteq 0,96$; $R_f \text{ hydr. Tc} \doteq 0,10$



$^{99\text{m}}\text{Tc}$ – Nanocoll, mobilní fáze methylethylketon, $A = 269,6 \text{ MBq}$, 99.33%
 R_f kompl. Tc $\doteq 0,07\text{-}0,25$; $R_f \text{ TcO}_4^- + \text{hydr. Tc} \doteq 0,95$



$^{99\text{m}}\text{Tc}$ – DTPA, mobilní fáze fyziologický roztok, $A = 319,6 \text{ MBq}$
 R_f kompl. Tc + $\text{TcO}_4^- \doteq 0,8\text{-}0,97$; $R_f \text{ hydr. Tc} \doteq 0,10$



[^{99m}Tc] – DTPA, mobilní fáze methylethylketon, $A = 319,6 \text{ MBq}$, celk. čist. 95.02%
 $R_f \text{ kompl. Tc} + \text{hydr. Tc} \doteq 0,1-0,23$; $R_f \text{ TcO}_4^- \doteq 0,96$

3 Shrnutí

V tomto miniprojektu jsme připravili 3 různá radiofarmaka za bázi ^{99m}Tc , otestovali jejich radiochemickou čistotu a zjistili jsme, že všechny jsou vhodné pro podání pacientovi. Všechny stanovené cíle byly splněny.

Poděkování

Hlavní poděkování patří Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze, která organizuje akci TV@J, za poskytnutí materiálů a prostoru. Jmenovitě bychom rádi poděkovali Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc., hlavnímu organizátorovi této akce a Ing. Tereze Janské, která nám poskytla cenné rady a provedla nás celou problematikou tohoto projektu.

Reference

- [1] SPC TechneScan MAG3. [cit. 2023-06-20]. dostupné z: <https://prehledy.sukl.cz/prehledy/v1/dokumenty/15498>
- [2] SPC TechneScan Nanocoll. [cit. 2023-06-20]. dostupné z: <https://prehledy.sukl.cz/prehledy/v1/dokumenty/13767>
- [3] SPC TechneScan DTPA. [cit. 2023-06-20]. dostupné z: <https://prehledy.sukl.cz/prehledy/v1/dokumenty/13720>

Radioimunoanalýza

A. Felcmanová*, T. Chuchmová**, T. Pravda***

*Gymnázium Na Zatlance, anicka.felcmanova@gmail.com

**Gymnázium V. Beneše Třebízského, terezachuchmova@seznam.cz

***Gymnázium, Ostrava-Hrabůvka, p.o., tomas.pravda@volny.cz

Abstrakt:

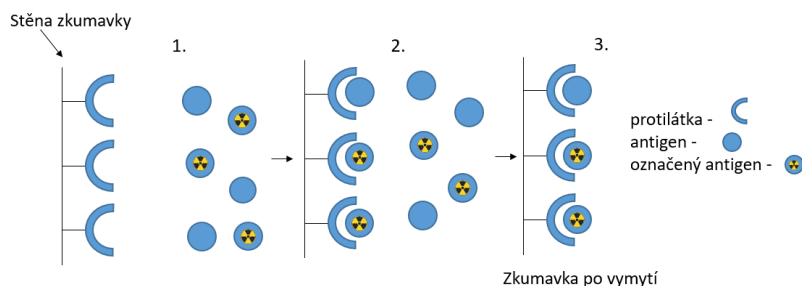
Radioimunoanalýza zahrnuje metody, které jsou využívány ke stanovení koncentrací různých biologicky významných molekul, proti kterým je organismus schopen tvořit protilátky.

Použili jsme metodu imunoradiometrického stanovení (IRMA) ke stanovení obsahu lidského choriogonadotropinu (hCG). Ve vzorku C1 byla stanovena koncentrace 33,7 IU/l a ve vzorku C2 byla stanovena koncentrace 187 IU/l.

1 Úvod

Radioimunoanalytické metody (angl. radioimmunoassay) byly vyvinuty během 50. let 20. století v USA jadernou fyzičkou R. S. Yalowovou a lékařem S. Bersonem za účelem stanovení koncentrace peptidového hormonu inzulinu [1]. Využívány jsou například izotopy ^{57}Co (stanovení vit. B12 – kobalaminu), ^{125}I (označení albuminu, stanovení objemu krve) a ^{51}Cr (označení erytrocytů, stanovení objemu krve a životnosti erytrocytů). [2]

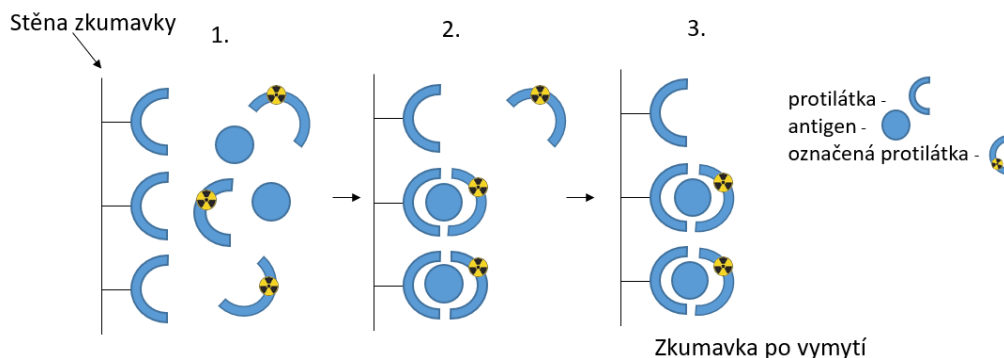
Je využíváno vazby protilátky (Ab – angl. antibody) a antigenu (Ag – angl. antigen), přičemž jedna z této dvojice je radioaktivně označena. Výhodou těchto metod je vysoká citlivost a specifita vazby Ab-Ag. Využívány jsou metody RIA (angl. radioimmunoassay) a IRMA (angl. immunoradiometric assay), přičemž v obou případech je radioaktivně neoznačená protilátka Ab navázána na stěně zkumavky dodané výrobcem.



Obrázek 1 RIA

· RIA – je použita jedna protilátka Ab a dva antigeny Ag a Ag*, z nichž Ag* je radioaktivně označen. Ag a Ag* spolu soutěží o vazebná místa na protilátce, kdy vztah mezi naměřenou

četností impulzů a koncentrací zjišťovaného antigenu Ag je nepřímo úměrný. Tato metoda se označuje jako kompetitivní.



Obrázek 2 IRMA

· IRMA – jsou použity 2 protilátky Ab a Ab*, z nichž je Ab* radioaktivně označena, a jeden antigen Ag, který se váže na protilátku Ab přítomnou na stěně zkumavky. Následně se na jiné místo Ag v rámci již vzniklého komplexu Ag-Ab naváže radioaktivně označená protilátka Ag*, čímž vzniká komplex Ab-Ag-Ab*. Tato metoda se označuje jako sendvičová.

V naší práci byla zjišťována koncentrace lidského choriového gonadotropinu (hCG), což je glykoprotein produkovaný zejména v těhotenství placentou. Stanovení jeho koncentrace v krvi nebo moči je podstatou některých těhotenských testů. hCG stimuluje tvorbu žlutého tělíska, zvýšená koncentrace v krvi matky v průběhu těhotenství může indikovat Downův syndrom plodu. Zvýšené hodnoty hCG v organismu jsou využívány jako marker některých typů nádorů. [3]

Během naší práce byla stanovena koncentrace hCG pomocí metody IRMA. Bylo využito izotopu ^{125}I , který se přeměňuje zachytem elektronu za emise fotonového záření. Má poločas rozpadu 59,4 dne.

2 Materiály

hCG IRMA KIT (Backman Coulter, Inc.), Automatická pipeta, Stojan na zkumavky, Pasteurova pipeta, Orbitální třepačka, Vortex, Parafilm, Scintilační studnový detektor NaI:Tl.

3 Metodika

Do zkumavek, potažených protilátkou proti hCG bylo odměřeno 50 μl kalibrátoru, nebo vzorku. K nim bylo přidáno 200 μl radioindikátoru. Do dvou zkumavek byl přidán pouze radioindikátor a byly použity pro zjištění celkové aktivity. Následně byly zkumavky uzavřeny pomocí parafilmu a promíchány za použití vortexu. Po promíchání byly zkumavky na hodinu umístěny do orbitální třepačky při laboratorní teplotě. Poté byl obsah zkumavek odsán pomocí pasturovy pipety, s výjimkou zkumavek pro zjištění celkové aktivity, kde byl radioindikátor ponechán. Následně byly všechny zkumavky promyty 2 ml promývacího roztoku. Poté byla 3x 60 sekund změřena četnost impulzů jednotlivých zkumavek za použití scintilačního

studnového detektoru NaI:Tl. Na závěr se získaná data zavedla do grafu, ze kterého bylo možno vypočítat koncentraci měřených vzorků.

4 Výsledky

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulka 1. Druhý až čtvrtý sloupec odpovídá třem naměřeným hodnotám četnosti impulzů. Z těchto tří hodnot byl vypočten průměr, který je uveden v pátém sloupci. Kvůli hodnotě pozadí a nespecifické vazbě byla od každé průměrné hodnoty četnosti impulzů odečtena průměrná hodnota vzorku s nulovou koncentrací. Hodnoty koncentrací a četnosti impulzů byli zlogaritmovány a vyneseny do grafu (viz Obrázek 3) a proloženy přímkou, čímž byla získána rovnice:

$$\log (I_{\text{kal}} - I_0) = 0,99486 \cdot \log c - 0,851$$

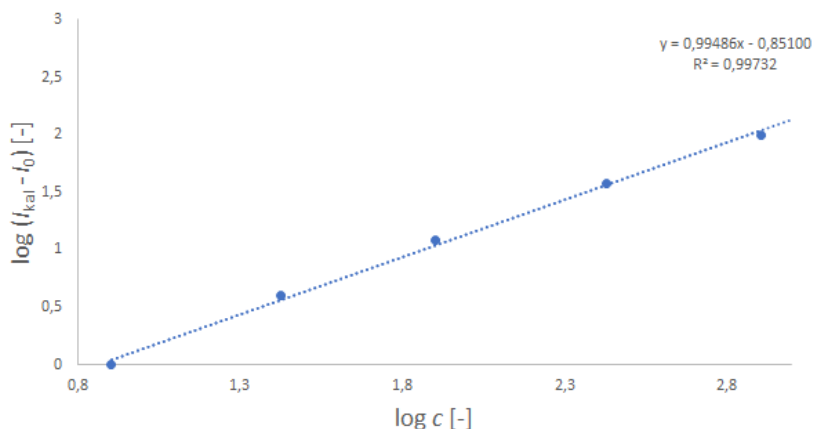
Následně byly dopočítány logaritmy koncentrací neznámých vzorků (C1 a C2) a odlogaritmováním byly získány koncentrace C1 a C2. Koncentrace prvního neznámého vzorku hGC (C1) byla stanovena na 33,7 IU/l a koncentrace druhého neznámého vzorku hGC (C2) byla stanovena na 187 IU/l.

Tabulka 1 Naměřené hodnoty

Vzorek hCG	1. měření I [cps]	2. měření I [cps]	3. měření I [cps]	Průměrná hodnota I [cps]	$I - I_0$ [cps]	c [IU/l]	$\log (I_{\text{kal}} - I_0)$	$\log c$
0	3	2	3	2,7	0,0	0	-	-
1	3	4	4	3,7	1,0	8	0	0,90309
2	7	6	7	6,7	4,0	26,7	0,60206	1,426511
3	14	15	15	14,7	12,0	80	1,079181	1,90309
4	41	40	41	40,7	38,0	267	1,579784	2,426511
5	103	102	101	102,0	99,3	800	1,997095	2,90309
C1	8	7	7	7,3	4,7	?	0,669007	?
C2	28	29	28	28,3	25,7	?	1,409369	?
T1	388	384	390	387,3	384,7	0	2,585085	-
T2	385	383	385	384,3	381,7	0	2,581684	-

5 Diskuze

Pro vzorek C1 byla stanovena koncentrace 33,7 IU/l, přičemž výrobce uvádí koncentraci v rozmezí 24,7–41,1 IU/l, což je blízko střední hodnoty. Pro vzorek C2 byla stanovena koncentrace 187 IU/l, zatímco výrobce uvádí koncentraci v rozmezí 109–183 IU/l. Nepřesnost mohla vzniknout z několika důvodů například nepřesnou prací s pipetami, či neodsátí všeho roztoku ze zkumavek.



Obrázek 3 Kalibrační přímka

6 Shrnutí

Seznámili jsme se s metodou IRMA, pomocí níž jsme stanovovali koncentraci hCG ve dvou neznámých vzorcích. Změřili jsme množství impulzů emitovaných našimi vzorky. Hodnoty vzorků o známé koncentraci jsme vhodně upravili a vytvořili kalibrační křivku, díky které jsme postupnou úpravou získali hodnoty koncentrace neznámých vzorků. Ve vzorku C1 jsme naměřili koncentraci v rozmezí udávaném výrobcem, ve vzorku C2 jsme naměřili koncentraci mírně mimo rozmezí udávaného výrobcem.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI ČVUT a zejména našemu vedoucímu Bc. Matěji Štíbrovi za odborné vedení, cenné připomínky, kamarádský přístup, příjemnou pracovní atmosféru a chutné muffiny a čaj.

Reference:

- [1] O. Lapčík. *50 let radioimunoanalýzy*. Chemické Listy. 2009, 103, 847-869.
- [2] G. B. Saha. *Fundamentals of Nuclear Pharmacy*. Sixth Edition. New York, USA: Springer, 2010. ISBN 978 1 4419 5859.
- [3] *Prenatal screening: Clinical aspects* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: https://immunotech.cz/Media/Default/Page/Prenatal_screening_Clinical_aspects.pdf

Rozpoznávání gest pomocí NVIDIA Jetson Nano

D. Pojhan¹, D. Majrich², and M. Sojka³

¹Gymnázium, Plzeň, Mikulášské nám. 23, danpojhan@gmail.com

²SPŠSE Dukelská 13, České Budějovice, denis.majrich@gmail.com

³SPŠSE Dukelská 13, České Budějovice, miroslav.sojka@spssecb.cz

Abstrakt

Rozpoznávání gest, které přímo souvisí s odhadem pózy a gest, je dnes hodně důležitý obor v hlubokém učení a umělé inteligenci. Cílem našeho projektu bylo seznámit se s vývojovým prostředím NVIDIA Jetson Nano a algoritmy odhadu pózy jako je ResNet18 a DenseNet121. Výstup naší práce není jen pochopení pomůcek pro vývoj rozpoznávání gest, ale vytvořili jsme i program, který s vámi dokáže hrát kámen, nůžky, papír. Výsledky naší práce se nachází na:

<https://github.com/HelloWorld7894/GestureDetection>

1 Úvod

Odhad pózy a gest, který vytváří skelet objektu, je stále jeden z nejtěžších oborů počítačového vidění. Teprve nedávno (NeurIPS 2022) byl předveden nový state-of-art model ViTPose, který dosahoval pouze 81 AP * na datasetu COCO. Při našem testování jsme používali algoritmy ResNet18 a DenseNet121.

* (Average Precision → metrika, používající se pro měření přesnosti modelů hlubokého učení)

2 NVIDIA Jetson Nano

Zařízení, na kterém jsme celý projekt testovali, byl malý jednodeskový počítač s GPU. Právě díky tomu je náš projekt přenosný a díky GPU s akcelerací výpočtů AI i dostatečně rychlý, NVIDIA zároveň nabízí SDK (software development kit) pro deep learning.

specifikace:

GPU	128-core Maxwell GPU
CPU	Quad-core ARM Cortex-A57
paměť	4 GB LPDDR4 1600MHz
CUDA	10.2.
kommunikace	GPIO, I2C, SPI, UART, USART
OS	Ubuntu 18.04 LTS

GPU - **G**raphical **P**rocessing **U**nit

CPU - **C**entral **P**rocessing **U**nit

CUDA - **C**ompute **U**nified **D**evice **A**rchitecture (nástroj pro akceleraci trénování a inference neuronové sítě)

GPIO - **G**eneral **P**urpose **I**nterface **O**utput (elektrický kontakt přes který prochází komunikace v integrovaném obvodu či jednodeskovém počítači)

I2C - **I**nter-**I**ntegrated **C**ircuit *

SPI - **S**erial **P**eripheral **I**nterface *

UART - **U**niversal **A**synchronous **R**eceiver/**T**ransmitter *

USART - **U**niversal **S**ynchronous/**A**synchronous **R**eceiver/**T**ransmitter *

* (Komunikační protokol mezi čipy a dalšími elektronickými součástkami na plošných spojích)

3 Neuronové sítě

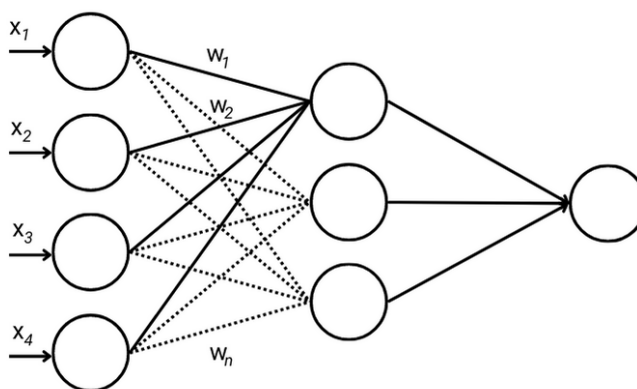
S rozšiřováním dostupných informací na internetu a komplexitou všech dat se kterými člověk musí pracovat, se také zvětšila časová náročnost různých úloh, které standardní algoritmy nezvládají. Díky těmhle problémům vznikly neuronové sítě.

Architektura těchto algoritmů je inspirovaná fungováním lidského mozku, a právě díky tomu se dokážou velmi dobře učit neurčitá data. Jejich nejběžnější aplikace jsou v klasifikaci a regresi, odkud se pak odvíjí více oborů jako např. sémantická segmentace, odhad pózy, klasifikace objektu, detekce objektu, atd.

Struktura

Stavební bloky neuronové sítě jsou tzv. neurony, které spolu vytváří vazby s různými váhami. Takže pokud bychom např. chtěli vypočítat hodnotu neuronu do kterého vedou váhy w_1, w_2, \dots, w_n , rovnice bude vypadat:

$$y_1 = f_a((w_1 * x_1 + b_1) + (w_2 * x_2 + b_2) + \dots + (w_n * x_n + b_n)) = \sum_{i=1}^n w_i * x_i + b_i \quad (1)$$



kde význam symbolů je následující:

$y_1 \leftarrow$ výstup neuronu

$f_a \leftarrow$ aktivační funkce neuronu, zavádí "nelinearity" do neuronové sítě

$b_i \leftarrow$ bias neuronu *

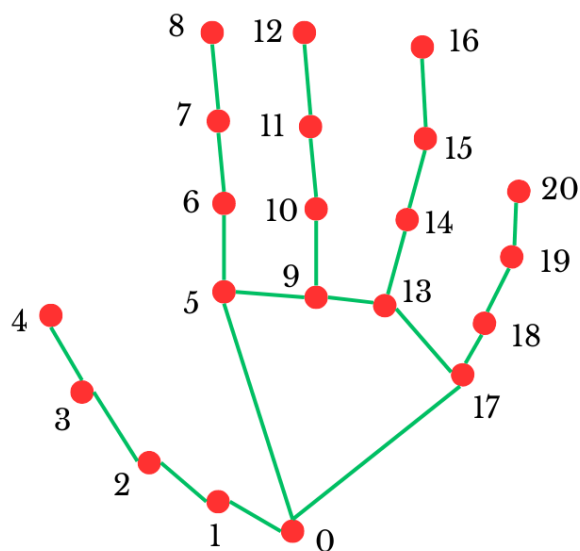
$w_i \leftarrow$ váha vazby *

$x_i \leftarrow$ vstup

* (nastavovatelné parametry neuronové sítě, které se trénováním mění)

Všechny parametry, které jsou značeny *, se pak následně mění pomocí algoritmu sestupu gradientu.

4 Odhad pózy ruky



Náš přístup pro odhad pózy ruky používá pouze předdefinované matematické rovnice z výstupu neuronové sítě u některých bodů ruky. Tohle řešení má své meze, protože používá pouze přesně dané hodnoty, avšak výstup se může podle prostředí měnit. Tenhle problém by šel eliminovat natrénováním další neuronové sítě, která by brala výstup z té dosavadní a fungovala by jako nadstavba. K tomuhle řešení jsme však nestihli dojít, protože jsme neměli dostatek času na natrénování dané sítě.

Náš kód se dá zapsat následovně:

$$d_{ref} = \sqrt{|l_{5x} - l_{6x}|^2 + |l_{5y} - l_{6y}|^2} \leftarrow \text{referenční hodnota pro vzdálenost dvou kloubů}$$

$$d_{ti} = \sqrt{|l_{4x} - l_{8x}|^2 + |l_{4y} - l_{8y}|^2} \leftarrow \text{vzdálenost palce a ukazováčku}$$

$$d_{li} = \text{---}(s \text{ indexy } 20 \text{ a } 8)$$

$$d_{li} = \text{---}(s \text{ indexy } 20 \text{ a } 4)$$

$l_{ix} \leftarrow$ kloub (landmark), kde i je index kloubu z celé ruky (od 0 do 20) a x je horizontální a y je vertikální souřadnice

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } d_{li} < 3 * d_{ref} \\ 2 & \text{if } d_{ti} > 2 * d_{ref} \wedge d_{li} > 3 * d_{ref} \wedge d_{lt} > 3 * d_{ref} \\ 3 & \text{if } d_{ti} > 2 * d_{ref} \wedge d_{li} > 3 * d_{ref} \wedge d_{lt} < 3 * d_{ref} \end{cases}$$

$$H_f = \{1, 2, 3\} \text{ (1} \leftarrow \text{kámen, 2} \leftarrow \text{nůžky, 3} \leftarrow \text{papír)}$$

5 Shrnutí

Na tomto projektu jsme se seznámili s jednodeskovým počítačem NVIDIA Jetson Nano a algoritmy pro odhad pózy a gest z obrazu. Měli jsme možnost pracovat s výstupy neuronové sítě ResNet18 a výsledkem naší práce je hra kámen, nůžky, papír s počítačem, kde se detekují gesta pomocí kamery. Naše řešení není zdaleka optimální, a je zde mnoho možností jak ho vylepšit, jako např. použití další neuronové sítě která by detekovala gesta pomocí numerických výstupů z první sítě. Bohužel jsme ale na další vylepšení neměli v ohledu 2 dnů dostatek času.

6 Poděkování

Děkujeme organizátorům Týdne Vědy na Jaderce a hlavně pak také Ing. Jakubovi Klinkovskému, který byl skvělým vedoucím našeho projektu.

Reference

- [1] NVIDIA *technical specifications of Nvidia Jetson Nano*.
<https://www.developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano>. 2019.
- [2] Dustin Franklin *Hello AI World guide to deploying deep-learning inference networks and deep vision primitives with TensorRT and NVIDIA Jetson*.
<https://github.com/dusty-nv/jetson-inference/tree/master/docs>. 2019.
- [3] Ren Jie Tan *Breaking Down Mean Average Precision (mAP)*.
<https://towardsdatascience.com/breaking-down-mean-average-precision-map-ae462f623a52>. 2019.
- [4] Yufei Xu, Jing Zhang, Qiming Zhang and Dacheng Tao *ViTPose: Simple Vision Transformer Baselines for Human Pose Estimation*.
<https://arxiv.org/pdf/2204.12484.pdf>. 2022.

Sledování pohybu očí pilota dopravního letadla

T. Těhan, K. Dvořáková, J. Kíni, T. Chalas
Ústav letecké dopravy ČVUT, Horská 2040/3
kinikuba@gmail.com

Abstrakt

Rozložení pozornosti pilota při řízení letadla je jedním z klíčových atributů bezpečného provedení letu ve všech jeho fázích. Zrak je nejdůležitějším smyslem a na základě zrakového vnímání situace vně letadla, indikovaných hodnot přístrojů a situace uvnitř kokpitu, společně s dalšími smysly dovolují pilotovi kontinuálně vytvářet model letu. Na základě smyslově zrekonstruovaného modelu letu pilot řídí letoun v aktuální situaci a předvídá následný vývoj letu. Let může probíhat dle pravidel za vidu země, případně dle pravidel pro let podle přístrojů, reálně jde často z hlediska zrakového vnímání o kombinovaný přístup, zejména u lehčích letadel. Vyhodnocení pohybu očí pilota umožňuje definovat východiska pro uspořádání a technické řešení zobrazovacích a ovládacích prvků řízení letadla, definování letových postupů a předpokladů fyzické i psychické únavy pilota.

1 Úvod

Nedílnou součástí udržování situačního povědomí pilotů v letectví je vizuální situační povědomí a způsoby skenování palubních přístrojů. Vizuální situační povědomí označuje schopnost pilota shromažďovat a interpretovat vizuální informace z vnějšího prostředí. Zahrnuje vizuální vyhodnocení polohy letadla, ostatního provozu, terénu, povětrnostních podmínek a případných nebezpečí.

Piloti používají vzorce skenování k systematickému a efektivnímu skenování svého zorného pole, čímž zajišťují, že zachytí důležité informace a zároveň minimalizují riziko přehlédnutí důležitých informací.

Udržování efektivního vizuálního situačního povědomí a používání správných vzorců skenování je pro piloty zásadní, aby mohli včas odhalit kritické signály a reagovat na ně. Rozvíjením těchto dovedností piloti zvyšují svou schopnost přijímat informovaná rozhodnutí.

Sledování pohybu očí pilotů dopravních letadel je klíčovým prvkem výzkumu zaměřeného na zlepšení letecké bezpečnosti a efektivity. Porozumění tomu, jak piloti vnímají a reagují na vizuální informace během letu, má zásadní význam pro identifikaci oblastí, které lze vylepšit s cílem minimalizovat rizika a zvýšit výkonnost plotů.

Cílem naší práce je porovnání pohybů očí zkušeného pilota s lidmi, kteří nemají žádné předchozí zkušenosti s pilotováním dopravních letadel. Tímto srovnáním se snažíme odhalit rozdíly ve způsobu, jakým tyto dvě skupiny zpracovávají vizuální informace a jak se jejich pohledy liší v průběhu letu.

2 Metodika experimentu

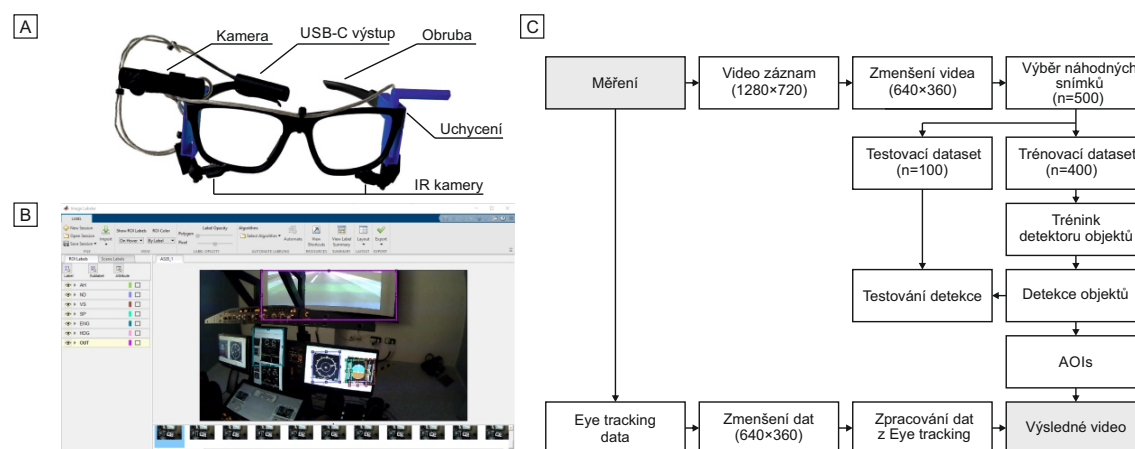
2.1 Participanti

Naše skupina participantů zahrnovala zkušeného kapitána letadel pracujícího pro společnost Qatar Airways. Vedle něho se nacházeli čtyři začátečníci, kteří se poprvé chopili řízení dopravního letadla.

2.2 Sběr dat

Pro sběr dat o pohybu očí jsme využili speciální brýle s 3D vytisknutými obručami, které byly vybaveny kamerami z brýlí Pupil Core od společnosti Pupil Labs. Tyto brýle společně s programem umožňují přesné sledování pohybu očí a zaznamenávání dat v reálném čase, viz obrázek 1-A.

Před každým letem jsme provedli důležitou kalibraci brýlí pro sledování pohybů očí. Pomocí kalibračního programu v Pupil Core Software se na obrazovce počítače zobrazili body, které jsme postupně zaměřovali svým pohledem. Tímto způsobem jsme umožnili brýlím propojit naše oční pohyby s okolním prostředím a zajistili přesnost a spolehlivost zaznamenaných dat.



Obrázek 1: A) hardware pro sledování pohybu očí. B) Značení referenčních oblastí zájmu. C) Schéma zpracování dat.

Po úspěšné kalibraci jsme spustili nahrávání okolí a současně zaznamenávali pohyb očí pilota. Sbíraná data byla pro Eye tracking ve formátu CSV, který obsahoval data ve formátu: *snímekVideo;poziceX;poziceY;poziceZ*;

Během simulace dopravního letadla Airbus A320 jsme provedli několik fází letu, zahrnujících: Vzlet z Letiště Václava Havla Praha; Stoupání do nadmořské výšky 5000 ft; Pravotočivá 180° zatáčka; Krátký horizontální let; Levotočivá 360° zatáčka; Klesání na volnoběh při rychlosti 250 kt do nadmořské výšky 3500 ft; Pravotočivá zatáčka při rychlosti 220 kt; Přiblížení k letišti a Přistání na letišti.

2.3 Zpracování dat

Objektový detektor bylo potřebné vytvořit pro přímou adresaci zaznamenané polohy očí ve scéně vzhledem k oblastem zájmu. Oblasti zájmu jsou v případě řešení této proble-

matiky letové přístroje, v jejichž rámci je hodnocení pohledu na ně klíčové vzhledem k hodnocení rozdělení pozornosti.

Pro tvorbu objektového detektoru bylo využito prostředí Matlab 2021a. V rámci tvorby detektoru byl využit přístup založený na R-CNN (z angl. Region Based Convolutional Neural Networks), konkrétně pak Faster RCNN. Pro učení samotného detektoru byla použita architektura Alexnet [1], která se skládá z pěti konvolučních a tří plně propojených vrstev.

Dataset pro učení detektoru se skládal ze snímků s označenými oblastmi zájmu, které byly definovány částmi přístrojové desky letadla typu A320. Tyto obrázky byly pořízeny náhodným výběrem z celkového počtu snímků zaznamenaných videí. Takovým způsobem bylo pořízeno 500 snímků, ve kterých byly označeny oblasti zájmu. Rozlišení snímků vstupního datasetu bylo $1280 \times 720 \times 3$, a tedy, jednalo se o RGB snímky.

V každém snímku byly označeny oblasti zájmu s využitím aplikace Image Labeler, která je součástí Computer Vision toolboxu v prostředí Matlab 2021a. Tyto oblasti byly charakterizovány konkrétními letovými, navigačními a motorovými přístroji, případně označovaly charakteristickou oblast kokpitu zahrnující několik přístrojů. Těmito oblastmi byly umělý horizont (AH), ružice gyrokompasu, respektive indikátor kurzu spolu s indikátorem trati (HDG), oblast sdružující indikátory výšky, vertikální rychlosti a sestupové roviny (AT), rychloměr (SP), navigační display (ND), združený panel motorových ukazatelů (ENG) a oblast výhledu z kokpiu (OUT). Způsob označování oblastí zájmu prostřednictvím výše uvedené aplikace spolu s vyznačením jednotlivých oblastí základní přístrojové desky A320 je zobrazen na obrázku 1-B.

Tento dataset byl dále rozdělen na trénovací (400 snímků) a testovací (100 snímků). Proto, aby bylo dosaženo rychlejší detekce objektů v obraze, byl popisovaný dataset zmenšen na rozlišení $640 \times 360 \times 3$.

Pro trénování samotného detektoru byl použit optimalizační algoritmus SGDM (z angl. Stochastic Gradient Descent with Momentum) využívaný pro trénování algoritmu strojového učení, zejména umělých neuronových sítí používaných v hlubkovém učení [2]. Výsledné nastavení s ohledem na přeučení (tzv. overfitting), případně podučení (tzv. underfitting), bylo zjištěno empiricky. Konkrétně byl využit „mini-batch gradient descent“ algoritmus učení, a tedy s postupným dávkováním vzorků, a to vzhledem k využití paměti. Hyperparametr „minibatchSize“ (*mbs*) byl v těchto konkrétních případech nastaven na hodnotu 2 a definoval počet trénovacích vzorků, které je třeba zpracovat před aktualizací parametrů interního modelu. Celkový počet iterací *i*, potřebných pro zpracování trénovacího datasetu při definovaných nastaveních trénovacího algoritmu, byl:

$$i = \frac{n \cdot Ep}{mbs}, \quad (1)$$

kde *n* je celkový počet vzorků trénovací množiny (*n* = 400), *Ep* je počet epoch (*Ep* = 100) pro *mbs* = 2. Celkový počet iterací pro natrénování modelu byl 20 000. Pro akceleraci trénovacího procesu byl tento vykonávaný na GPU, konkrétně na NVIDIA GeForce RTX 3070 s podporou CUDA. Pro schématické znázornění procesu zpracování dat a trénování detektoru viz obrázek 1-C.

Ukázka detekovaných objektů na snímku z videa spolu se znázorněním očního fokusu je zobrazena na obrázku 2.



Obrázek 2: Ukázka detekovaných objektů

3 Výsledky a diskuse

Z výsledků naší práce jsme zjistili, že profesionální piloti se více soustředí na specifické navigační prvky, přistávací dráhy a vzletové body, zatímco začátečníci mají tendenci se zaměřovat na širší okolí a vizuálně výrazné objekty. Tento rozdíl v zaměření může mít vliv na strategie a rozhodování během letu. Diskutuje se o možnosti vzdělávat a trénovat začátečníky tak, aby se naučili efektivněji zaměřovat na klíčové aspekty letu a minimalizovali rizika. Tento poznatek je důležitý při vývoji výcvikových programů a zlepšování dovedností pilotů v oblasti letectví.

V rámci našeho výzkumu jsme zaznamenali další zajímavý aspekt rozdílu mezi profesionálním pilotem a začátečníkem. Profesionální piloti projevovali důkladnější kontrolu a sledování přístrojů a sekvenčních postupů. Měli přesně stanovené priority a sledovali specifické informace na palubní desce. Naopak začátečníci spíše přistupovali k sledování objektů náhodně a reaktivně, zaměřovali se na to, co se jim zdálo momentálně důležité. Tento rozdíl naznačuje, že profesionální piloti vykazují vyšší schopnost organizovat a řídit svou pozornost na základě priorit, zatímco začátečníci se spoléhají na okamžitou reakci na aktuální podněty. Tento poznatek může vést ke zdokonalení výukových metod pro začátečníky a posílení jejich schopnosti systematicky sledovat důležité informace v kokpitu.

Výše popsané vyhodnocení výsledků bylo provedeno subjektivně, z vytvořených videozáznamů, které mají zvýrazněné oblasti na palubní desce (i mimo kokpit) podle vizuálního fokusu. I při tomto přístupu však bylo možné rozeznat rozdíly ve vzorcích chování zúčastněných subjektů. Převážná část práce je tedy založena na vizualizaci zájmové oblasti, přičemž související data lze následně využít pro robustní analýzy zahrnující statistické vyhodnocení.

4 Závěr

Provedli jsme podrobné srovnání letů mezi profesionálním pilotem a námi, jako začátečníky, v kontextu sledování přístrojů v kokpitu během letu. V rámci naší práce jsme se zaměřili na identifikaci hlavních faktorů, na které se piloti nejvíce soustředí, jako jsou přistávací dráhy, vzletové body, navigační prvky a ostatní letadla.

Během našeho výzkumu jsme identifikovali několik oblastí, ve kterých bychom mohli provést zlepšení a rozšířit naše poznání. Jednou z těchto iniciativ je provedení více letů, což by nám umožnilo získat větší množství dat a rozšířit náš soubor informací. Dále bychom mohli zvýšit objem obrázků použitých pro trénování neuronových sítí, což by přispělo k jejich lepšímu výkonu a přesnosti. Další možností je rozšíření detekce sledovaných objektů, abychom získali podrobnější informace o tom, na co se piloti zaměřují během letu. Toto by nám umožnilo lépe porozumět jejich vizuálním preferencím a rozhodovacím procesům.

Prínosy této práce jsou však značné. Nejenže jsme získali hlubší pochopení leteckého průmyslu a jeho specifik, ale také jsme identifikovali klíčové rozdíly mezi zkušenými piloty a úplnými začátečníky. To nám umožnilo provést důkladné porovnání jejich přístupu k letectví, způsobu rozhodování a strategií při létání. Díky tomu jsme si uvědomili význam praktické zkušenosti a jaký vliv má na kvalitu a efektivitu letu.

Představujeme si, že tento výzkum by mohl být aplikován na jakéhokoliv řidiče v různých dopravních prostředcích, nejenom ve vzdušném prostoru. Tímto způsobem bychom mohli získat cenné poznatky o tom, na co se řidiči při řízení zaměřují nejvíce, a identifikovat klíčové oblasti soustředění pozornosti. Například, zjistit, zda je lepší řídit bez předešlého spánku v noci nebo zda je vhodnější řídit v noci s lehkým odpočinkem. Taková data by mohla sloužit jako podklad pro formulaci bezpečnostních opatření a směrnic v oblasti silniční dopravy.

Poděkování

Naše hlavní poděkování si zaslouží Vladimír Socha, Viktor Valenta, Martin Novotný a Lenka Hanáková za odbornou pomoc při naší práci na Ústavu letecké dopravy ČVUT.

Reference

- [1] Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, and Geoffrey E Hinton. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 25:1097–1105, 2012.
- [2] Ning Qian. On the momentum term in gradient descent learning algorithms. *Neural Networks*, 12(1):145–151, 1999.

Narušování symetrie v laserovém rezonátoru

O. Skála

Gymnázium Ostrava – Zábřeh

18_skala_o@gyvolgova.cz

A. Šebek

SPŠ Chemická Brno

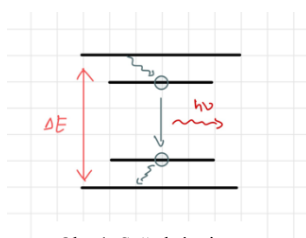
adamsebek.chem@gmail.com

Abstrakt

Práce představuje chování při narušení symetrie laserového rezonátoru. Cílem práce bylo seznámení s Nd:YAG laserem a sestavení vlastního laseru. Měřili jsme změnu příčného profilu intenzity laserového svazku v závislosti na natočení kulového zrcadla v rezonátoru.

1. Úvod

Laser, z anglického **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, je optický zdroj elektromagnetického záření. Je tvořen aktivním prostředím, rezonátorem a zdrojem energie. Aktivní prostředí může být pevnolátkové, plynné či kapalné. Při dodání energie aktivnímu prostředí dojde k excitaci elektronů, které “vyskočí” do vyšší energetické hladiny.



Obr. 1: Světelná mise

Elektrony pak přechází zpátky, za pomoci stimulované emise, do nižších energetických hladin, a během toho vyzařují energii ve formě fotonu. Vlnová délka vyzářeného fotonu potom bude nepřímo úměrná energetickému rozdílu kvantových hladin.

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Zdrojem energie pro vybuzení elektronů v aktivním prostředí může být elektrický proud, chemická reakce či optické záření. Zde záleží na typu aktivního prostředí laseru.

2. Rezonátor

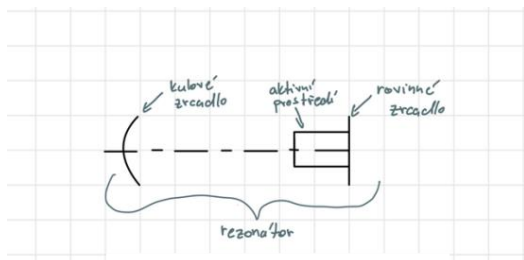
Rezonátor je nezbytnou součástí k zesílení záření, které vychází z aktivního prostředí. Jedná se o optickou dutinu vymezenou zrcadly, z nichž jedno je plně odrazné a druhé je polopropustné.

Zrcadla mohou být z pravidla kulová i rovinná a na jejich křivosti, spolu s délkou rezonátoru, závisí i stabilita rezonátoru. Pro její popis zavádíme dva bezrozměrné parametry $g(1)$ a $g(2)$.

$$g(1,2) = 1 - \frac{L}{r(1,2)},$$

kde r značíme poloměry křivosti zrcadel a L vzájemnou délku zrcadel. Pro stabilní rezonátor platí, že:

$$0 < g(1) \cdot g(2) < 1$$

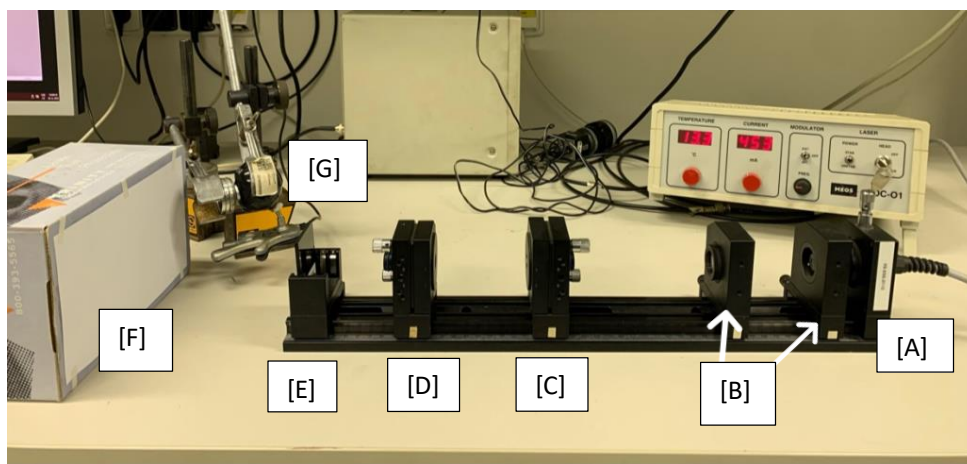


Obr. 2: Schéma optického rezonátoru

3. Měření

Aparatura pro naše měření se skládá z:

- A. laser, který září v IR oblasti (813nm)
- B. 2 spojné čočky
- C. optický upravitelný rezonátor s jedním kulovým a druhým rovinným zrcadlem
- D. krystal Nd:YAG - aktivní prostředí
- E. filtr RG – 1000
- F. stínítko
- G. kamera s CCD čipem pro záznam obrazu na stínítku.



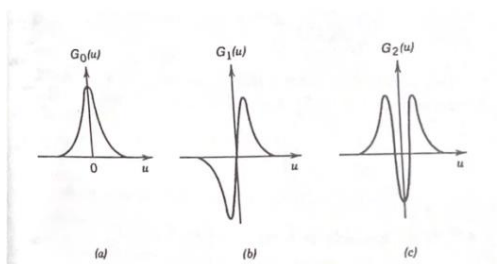
Obr. 3: Aparatura

Celá aparatura se skládá ze dvou laserů. Jeden laser je čerpacím laserem - pouze dodává energii do aktivního prostředí v rezonátoru. Druhý laser je výstup záření z rezonátoru.

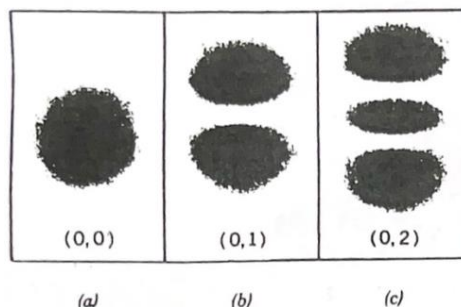
Zrcadla rezonátoru v čerpacím laseru nijak nemůžeme měnit, ale v hlavním rezonátoru je můžeme naklánět. U čerpacího laseru regulujeme teplotu a elektrický proud. Teplotu máme

nastavenou, aby odpovídala maximální absorpci krystalu. Elektrickým proudem měníme intenzitu záření.

Pomocí dvou spojek můžeme ohnisko laseru přesně namířit do aktivního prostředí. Na krystalu v rezonátoru je napařena tenká vrstva rovinného zrcadla. Rovinné zrcadlo nám propustí záření pouze z čerpacího laseru. Záření, které se v rezonátoru odráží (vlnová délka 1064 nm – Nd:YAG krystal) skrz toto zrcadlo neprojde. Záření může opustit rezonátor přes kulové zrcadlo, které má poloměr křivosti 100 mm a propustnost $0,02\%$. Když budeme naklánět se zrcadlem, narušíme symetrii k optické ose, můžeme tak dosáhnout různých modů rezonátoru. Mody se dají popsat Hermiteovo-Gaussovou funkcí^[1], které nám v absolutní hodnotě reprezentují měření.



Obr. 4: Hermiteova-Gaussova funkce

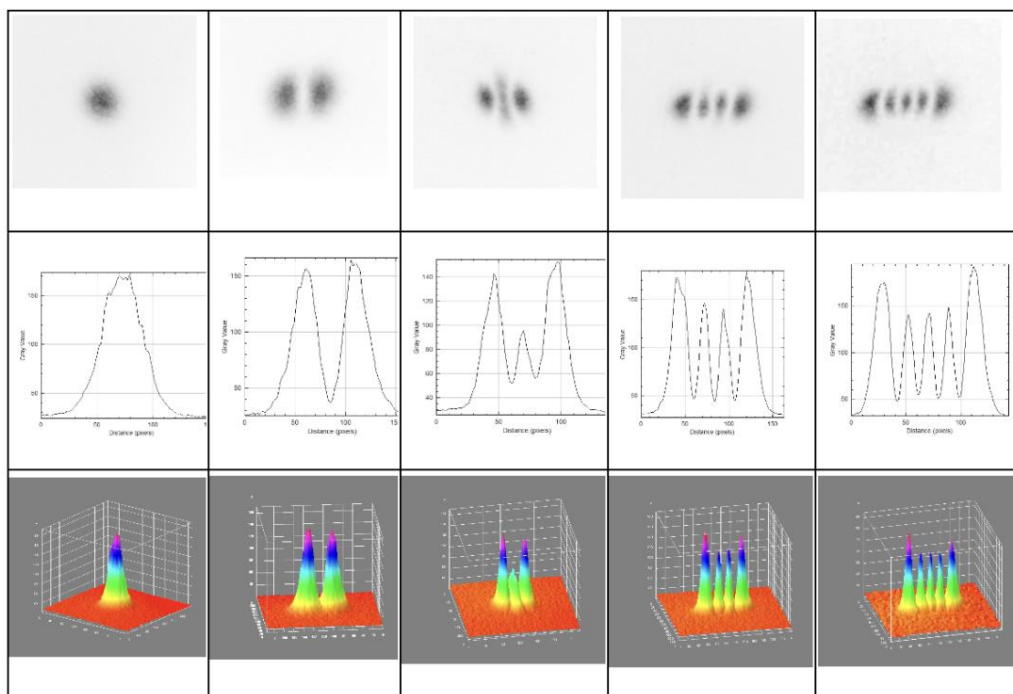


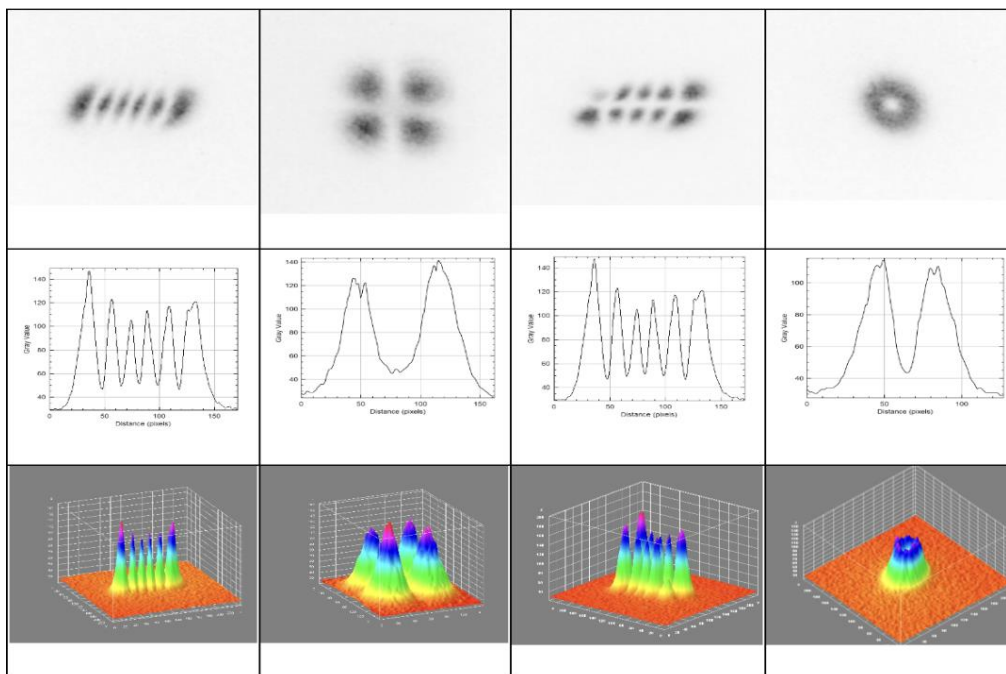
Obr. 5: Rozložení intenzity měřeného světla na stínítku

Pro měření jsme používali kameru s CCD čipem. Svazek z rezonátoru jsme nejdříve nechali projít přes filtr RG1000, který propustí světlo pouze s vlnovou délkou $> 1000\text{ nm}$, takže nám skrz něj neprojdou zbytky z čerpacího laseru. Zároveň před samotnou kamerou máme neutrální filtr, přes který projde jen světlo s vyšší intenzitou.

4. Vyhodnocení

Po provedení měření jsme ověřili teoretické rozložení intenzity měřeného světla. Zde jsou naměřená data:





Obr. 6: Naměřená data

Na naměřených datech můžeme vidět různé módy rezonátoru. Fotky v prvním řádku jsou snímky z kamery, na které jsme invertovali barvy pro lepší zobrazení. Fotky v druhém řádku jsou příčné řezy grafů intenzity^[2] (3 řádek). Můžeme si všimnout, že grafy s určitým šumem odpovídají Hermitovým-Gausovým funkcím. Prvních 6 obrázků jsou funkce na jedné ose, ostatní jsou komplexnější. Nejzvláštnější je poslední snímek – *koblížek*. Tento tvar se skládá z funkcí, které se projevují kolem celého otočení kolem osy procházejícím středem *koblížku*.

5. Závěr a diskuze

V naší teoretické části jsme se zaměřili na popsání laseru a samotného rezonátoru. Díky Hermiteovým-Gausovým funkcím jsme schopni předpovědět tvar pozorovaného tvaru na stínítku. V experimentální části jsme díky aparatury s optickým rezonátorem a CCD kamery pozorovali různé tvary na stínítku.

Porovnat teorii s experimentem nelze úplně snadno. Sice jsme schopni vidět předpovězené tvary, ale nemáme rovnici, která nám přesně řekne, jak bude útvar na stínítku vypadat pro určité naklonění zrcadla. Sfěrické zrcadlo otáčíme pomocí dvou šroubů, takže se jeho naklonění mění ve třech dimenzích. Kvůli jeho tvaru a 3D otočení v prostoru je tento stav složité kvantitativně popsat, ale jedno otočení šroubu řádově odpovídá úhlové vzdálenosti mezi peaky grafu intenzity (miliradiány).

6. Poděkování

Chceme zde poděkovat především vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Josefu Blažejovi PhD. za veškerou spolupráci a odborný přístup. Dále děkujeme menze ČVUT za exotické obědy a Vojtěchu Svobodovi za pořádání TV@J.

7. Reference

- [1] SALEH, Bahaa E. A. a Malvin Carl TEICH. Základy fotoniky: Fundamentals of photonics. Praha: Matfyzpress, 1996. ISBN 80-85863-01-4.
- [2] Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2023.

Praktický úvod do umělé inteligence

V. Brabcová; Střední průmyslová škola Ostrov; *brabcova.vladenska@gmail.com*

V. Mikula; Arcibiskupské gymnázium v Praze; *vojtech.mikula@email.cz*

E. Valentová; Gymnázium Jiřího Wolkeru Prostějov; *eliska@valentovi.com*

Abstrakt

Cílem této práce bylo seznámení se s umělou inteligencí, pochopení její základní struktury a následné zpracování a programování vlastní neuronové sítě schopné rozpoznávat ručně psané číslice. Sledovali jsme trénovací a testovací přesnost, na základě které jsme upravovali parametry neuronové sítě pro dosažení co nejlepších výsledků, a to až 90% přesnost při klasifikaci ručně psaných číslic.

1 Úvod

Umělá inteligence (AI, artificial intelligence) je obor informatiky, který řeší komplexní úlohy za pomoci matematiky a logiky počítačových systémů schopných učení a rozhodování se. Neuronová síť je systém inspirovaný biologickými strukturami schopný řešit problémy. Umělá inteligence se začala vyvíjet přibližně před 80 lety[1], a v posledních letech jsme svědky jejího významného rozmachu, stává se tak běžnou součástí života podstatné části populace. Jen během minulých měsíců došlo k mnoha pokrokům a bylo zveřejněno hned několik nových technologií a modelů.

2 Základy umělé inteligence

Architektur strojového učení existuje více, tato práce se zaměřuje na tvorbu neuronové sítě typu perceptron s jednou skrytou vrstvou.

2.1 Struktura neuronové sítě

Neuronová síť je hierarchicky strukturovaná. Skládá se z neuronů, které tvoří vrstvy. Tyto vrstvy se dělí na vstupní, skryté a výstupní, přičemž skrytých může být více. Vstupní vrstva (input layer) slouží k přijímání vstupních dat, které jsou předávány dál do neuronů ve skrytých vrstvách. Skryté vrstvy (hidden layers) se nachází mezi vstupní a výstupní vrstvou a transformují vstupní data pomocí vah (důležitosti) a funkcí na výstupní data. Výstupní vrstva (output layer) na základě zpracovaných dat predikuje výsledky. Spojení neuronů v síti se nazývají synapse a mají přidělené váhy, které ovlivňují přenos signálu mezi dalšími neurony. Hodnota vah se mění pomocí algoritmu zpětného šíření chyby (backpropagation) v průběhu učení, čehož se využívá k trénování sítě. Schéma sítě je na obrázku 1.

2.2 Princip – forward pass

Neuronová síť pracuje s číselnými daty. Mezi jednotlivými vrstvami dochází k převádění a modifikaci těchto dat pomocí funkcí.

Jestliže jdou data ze vstupního neuronu x_i do skrytého neuronu h_j s posunem b_j po dráze s váhou w_{ij} , změní se podle vztahu

$$h_j = f \left(\sum_i w_{ij} x_i + b_j \right),$$

kde f je nelineární funkce. Pokud bychom použili lineární, dostali bychom na výstupu opět lineární funkci, protože kombinace lineárních funkcí je opět lineární, a nebylo by možné modelovat komplexní závislosti. V našem případě používáme funkci sigmoid, která je definovaná jako

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}.$$

Obdobně pak mezi skrytým neuronem h_j a výstupním neuronem y_k s posunem b_k po dráze s váhou w_{jk} platí

$$y_k = a \left(\sum_j w_{jk} h_j + b_k \right),$$

kde a je takzvaná aktivační funkce, která slouží ke konverzi výstupních dat do požadovaného formátu. Například pokud chceme na výstupu reálná čísla, používá se identita. Pro třídění do kategorií se používá funkce softmax, kterou jsme použili i zde, což je vektorová funkce, jejíž k -tá složka je definovaná jako

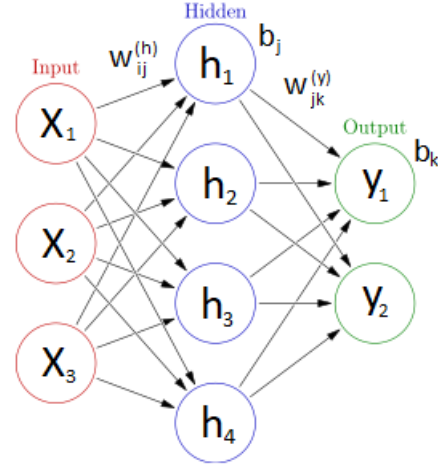
$$\text{softmax}(\vec{x})_k = \frac{e^{x_k}}{\sum_j e^{x_j}}.$$

Forward pass je celkový proces výpočtu výstupních dat y ze vstupních dat x . Při správném nastavení vah a posunutí a dostatečném množství skrytých neuronů se dokáže síť podle věty o univerzální aproximaci libovolně přesně přiblížit k jakékoliv funkci, což je zajištěno nelinearitou na skryté vrstvě.

2.3 Trénování – backward pass

K vyhodnocování, jak se výsledek sítě liší od reálného, se používá tzv. „loss“ funkce. V případě naší sítě byla použita střední kvadratická chyba definovaná jako

$$L(y_k, \hat{y}_k) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)^2.$$



Obrázek 1: Schéma neuronové sítě

Cílem tedy je co nejvíce minimalizovat funkci L , respektive najít takové parametry sítě, aby bylo L co nejmenší. Toho docílíme změnou všech parametrů Θ , tedy vah a posunutí, podle vztahu

$$\vec{\Theta}' = \vec{\Theta} - \alpha \nabla_{\Theta} L,$$

kde ∇_{Θ} je vektor parciálních derivací vůči parametrům Θ . Jelikož L závisí na Θ složitým vztahem $L = L(y_k, \hat{y}_k) = L(y_k(x; \Theta), \hat{y}_k) = L(y_k(h_j(x_i; w_{ij}^{(h)}, b_j^{(h)}); w_{jk}^{(y)}, b_k^{(y)}), \hat{y}_k)$, je pro výpočet nutné použít mnohokrát řetězkové pravidlo.

3 Struktura kódu

Naprogramovali jsme neuronovou síť s jednou skrytou vrstvou. V programu jsme použili knihovny numpy, matplotlib.pyplot a sklearn.datasets. Ovšem krom funkce „numpy.einsum“, která vyhodnocuje Einsteinovu sumační konvenci, jsme nepoužili žádné pokročilejší funkce, a tak je naše neuronová síť naprogramovaná od základu – pouze pomocí operací na maticích.

Hlavní částí kódu je třída NeuralNetwork, která má v attributech uloženy své parametry. Mezi její metody patří logicky „forward_pass“ a „backward_pass“, ale přidali jsme i metodu „accuracy“, která umí změřit percentuelní úspěšnost neuronové sítě na daném testovacím datasetu nebo „export“, díky níž můžeme momentální nastavení neuronové sítě uložit pomocí knihovny pickle. Druhou podstatnou složkou je hlavní soubor, ve kterém lze upravovat trénovací hyperparametry jako třeba počet epoch či velikost datasetu.

Ukázka kódu je na obrázku 2. Celý kód lze nalézt na Githubu.¹

```
def backward_pass(self, x, y_hat) -> None:
    """ Udatuje svoje parametry (weights a biases) na základě trénovacích dat"""
    h = self.compute_h(x)
    y = self.compute_y(h)
    dL_by = (2/K_LAYER)*(y - y_hat)*y*(1-y)
    dL_wy = np.einsum("k,j -> jk", dL_by, h)
    dL_bh = np.einsum("m,jm,j,j -> j", dL_by, self.y_weights, h, 1-h)
    dL_wh = np.einsum("j,i -> ij", dL_bh, x)

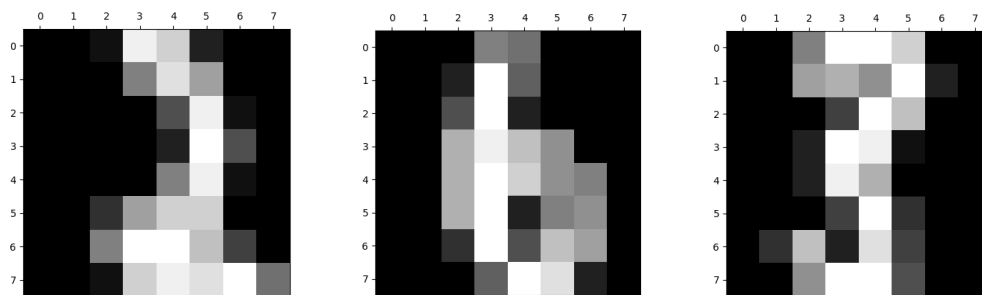
    self.y_biases -= ALPHA*dL_by
    self.h_biases -= ALPHA*dL_bh
    self.y_weights -= ALPHA*dL_wy
    self.h_weights -= ALPHA*dL_wh
```

Obrázek 2: Ukázka kódu.

4 Výsledky

Vyzkoušeli jsme několik modelů s různou volbou hyperparametrů (velikost sítě, velikost trénovacího datasetu, počet trénovacích epoch, počet modelů použitých pro predikci). Výsledkem práce je funkční model schopný predikovat s úspěšností až 90 %. Na obrázku 3 jsou ukázky vstupů a identifikovaných výstupů modelu.

¹<https://github.com/ikny/digits-classification>



Obrázek 3: Ukázky vstupních dat. Na obrázcích jsou číslice 2, 6 a 3. První dvě model identifikoval správně, poslední identifikoval jako číslici 8.

5 Diskuze

Narazili jsme na několik problémů, se kterými se vývoj umělé inteligence běžně potýká.

Zprv, model se může při trénování zaseknout v lokálním minimu funkce L , a tudíž zůstane málo natrénovaný. Tomu se dá předejít vícero způsoby, například opakovaným trénováním nových modelů s různě inicializovanými parametry. Při vyzkoušení tohoto postupu jsme zjistili, že i mezi modely s totožnými hyperparametry mohou vzniknout razantní rozdíly v úspěšnosti.

Zadruhé, pokud je pro model jednodušší zapamatovat si trénovací data než souvislosti mezi nimi (například proto, že trénovací dataset je moc malý), dochází k "overfitování", kdy má model velkou přesnost na trénovacích datech, ale malou na testovacích (při trénování neznámých) datech. Abychom tomu předešli, experimentovali jsme s velikostí datasetu a měřili jsme úspěšnost v celém průběhu trénování.

6 Shrnutí

V rámci projektu jsme porozuměli základům fungování neuronových sítí a jejich trénování. Setkali jsme se s pro nás novými matematickými koncepty, díky nimž jsme dokázali od základu naprogramovat svou vlastní neuronovou síť na klasifikaci a poté ji použili na rozpoznání ručně psaných číslic. V rámci projektu jsme se setkali s problémy, které jsou při trénování neuronové sítě běžné, a pomocí experimentace s nastavením hyperparametrů jsme je řešili.

Poděkování

Děkujeme Martinu Vaňkovi za pomoc a vedení projektu. Dále děkujeme MFF UK za poskytnutí prostor pro realizaci projektu.

Reference

- [1] Historie neuronových počítačů a sítí. Cit. 20. 6. 2023. Online. Dostupné z: <https://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2000/xneudert.html>
- [2] Materiály k předmětu Úvod do strojového učení v Pythonu. Cit. 20. 6. 2023. Online. Dostupné z: <https://ufal.mff.cuni.cz/courses/npfl129/2223-winter>
- [3] Schéma neuronové sítě. Cit. 20. 6. 2023. Online. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network

Počítačové algebraické systémy a jejich aplikace (nejen) ve fyzice

D. Novák¹, K. Prchal², A. Musilová³, A. Košťál⁴

Gymnázium Veľká okružná Žilina¹, Biskupské gymnázium Brno²,
Arcibiskupské gymnázium Praha³, Gymnázium Tišnov⁴

donnberg5@protonmail.ch¹, prchal.syn@gmail.com²,
musilova@arcig.cz³, sascha.kostal@gmail.com⁴

Abstrakt

Cieľom nášho miniprojektu bolo naučiť sa, ako fungujú počítačové algebraické systémy. Počítačový algebraický systém (skratka PAS, z anglického Computer algebra system, CAS) [1] je systém, ktorý dokáže efektívne a relatívne rýchlo riešiť algebraické problémy a príklady. Snažili sme sa pochopiť, ako pracovať s programom Wolfram Mathematica, aké má rôzne využitia a výhody oproti iným programom.

1 Úvod

S postupom času a vývojom vedy a techniky sa problémy, ktorým čelíme vo vede a matematike stávajú čoraz zložitejšími, preto je nutné vyvíjať programy, ktoré by nám s tou kopou matematiky pomohli. Takéto programy alebo počítačové algebraické systémy sa začali vyvíjať ihneď po nástupe počítačov. Tieto programy využívajú rýchlosť spracovania dát a schopnosť tieto dáta efektívne použiť pri riešení daného problému.

Programov tohoto druhu existuje celá rada. My sme využívali pri práci program Wolfram Mathematica [2]. Tento program využíva k riešeniu zadaní programovací jazyk Wolfram. Wolfram je jediný programovací jazyk, ktorý využíva zátvorky typu „[]“ pre písanie argumentu funkcie (pr. Sin[x], Cos[x], ...).

2 Riešenie problémov

Základné matematické problémy, funkcie a rovnice

Začať môžeme s jednoduchými matematickými funkciami a rovnicami, ako sú napríklad mocninové funkcie (viz. Obr. 3), lineárne rovnice, kvadratické rovnice (viz. Obr. 1), grafy funkcií, úprava výrazov, základné matematické vzorce (viz. Obr. 2) a pod.

Solve[$a x^2 + b x + c == 0$, x]

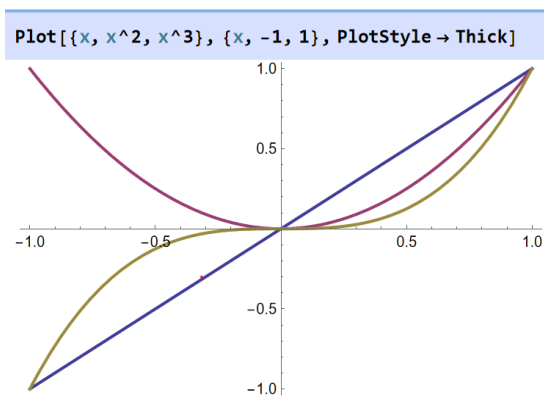
$$\left\{ \left\{ x \rightarrow \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right\}, \left\{ x \rightarrow \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right\} \right\}$$

Obrázek 1 Kvadratická rovnica

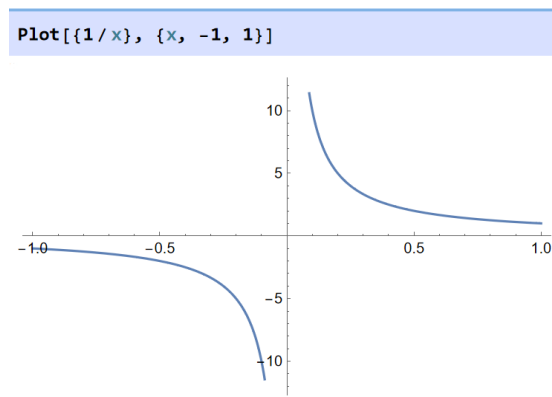
Expand[$(a + b)^2$]

$$a^2 + 2ab + b^2$$

Obrázek 2



Obrázek 3 Základné mocninové funkcie

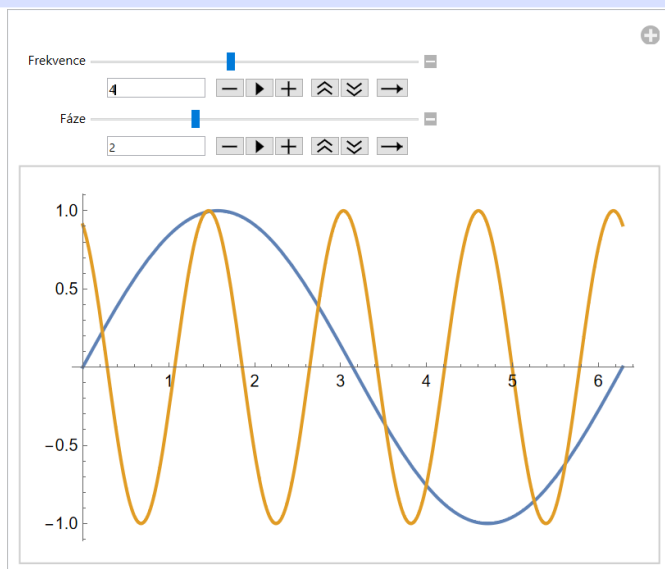


Obrázek 4 Nepriama úmernosť

Wolfram Mathematica sa dá využiť aj na zobrazovanie matematických funkcií z rôznych oblastí matematiky, ako napríklad goniometrické funkcie.

Základné goniometrické funkcie, ako sú sínus, kosínus, tangens, kotangens, ... sa dajú veľmi ľahko vyobraziť graficky aj s meniteľnými parametrami (viz. Obr. 5). Na obrázku 5 vidíme, že parametre a a b nám menia frekvenciu a fázu grafu.

```
Manipulate[Plot[{Sin[x], Sin[a x + b]}, {x, 0, 2 π}, PlotStyle -> Thick], {{a, 1, "Frekvence"}, 1, 8}, {{b, 0, "Fáze"}, 0, 2 π}]
```



Obrázek 5 Funkcia sínus

Derivácie a integrácie

Mathematica nám umožňuje riešiť tiež derivácie a integrácie rôznorodých funkcií, ktoré vypadajú hrozivo a bývajú častokrát náročné a zdĺhavé.

D[a x^n + b x^(n - 1) + c, {x, 3}]

$$b (-3 + n) (-2 + n) (-1 + n) x^{-4+n} + a (-2 + n) (-1 + n) n x^{-3+n}$$

Integrate[1 / (1 - x^3), x]

$$\frac{\text{ArcTan}\left[\frac{1+2x}{\sqrt{3}}\right]}{\sqrt{3}} - \frac{1}{3} \text{Log}[1-x] + \frac{1}{6} \text{Log}[1+x+x^2]$$

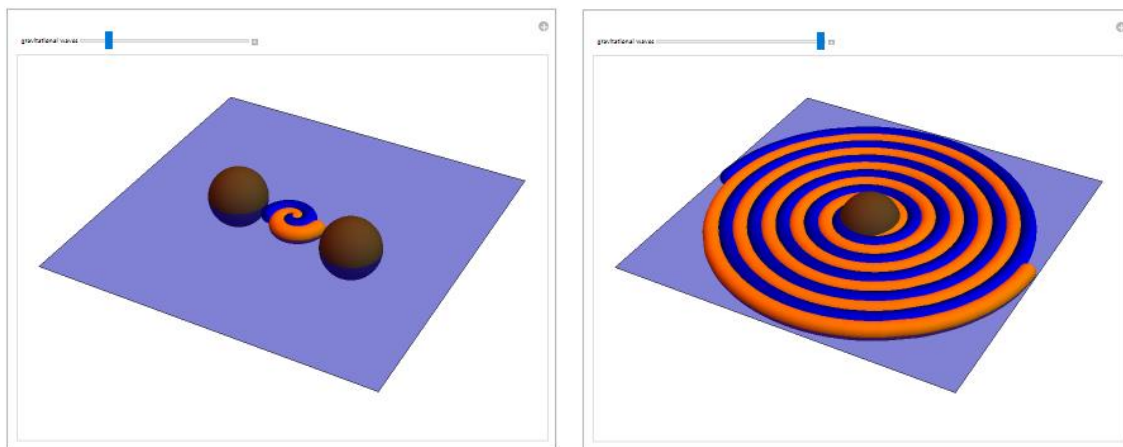
Obrázek 6 Derivácia a integrácia

3 Využitia PAS

Mathematica a iné programy neriešia len matematické rovnice, ale takisto majú praktické uplatnenie aj v ostatných vedách. Dokážeme pomocou nich vyobraziť vedecké modely a jednoducho znázorniť náročné vedecké príklady a simulácie.

Fyzika

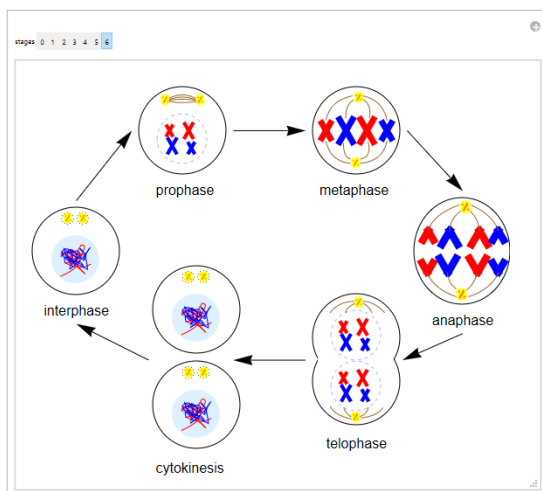
Zobrazovanie simulácií od jednoduchej mechaniky až po kvantovú fyziku a kozmológiu.



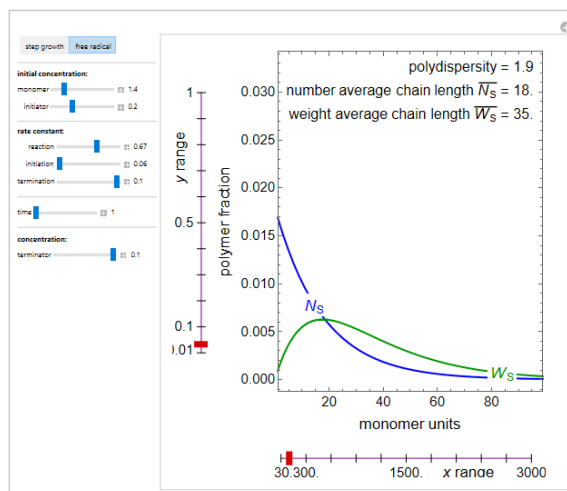
Obrázek 7 Gravitačné vlny emitované pri zrážke dvoch čiernych dier

Chémia

Od anorganickej a organickej chémie, zobrazovania rôznych prvkov a zlúčenín až po Marcusove teórie a termodynamické simulácie.



Obrázek 8 Bunkový cyklus



Obrázek 9 Polymerizácia vo vsádzkovom reaktore

Biológia

Evolúcia živočíchov, vývoj rastlín, simulácia rozpadov, bunkový cyklus... toto všetko dokážeme naprogramovať a simulovať vo Wolframe.

4 Shrnutí

Počítačové algebraické systémy sú naozaj veľkým uľahčením pri riešení matematických problémov. To, čo by nám ľuďom trvalo vypočítať celé hodiny, dni, týždne, mesiace... majú počítačové algebraické systémy vyrátané za pár chvíľ. S postupným pokrokom vo vede a technike vyriešime viac a viac problémov, ale takisto nám aj viac a viac problémov pribudne, ale s vylepšovaním programov a nástrojov na riešenie takýchto problémov ich dokážeme riešiť lepšie a efektívnejšie.

Poděkování

Naša vďaka patrí Dr. Ing. Milanovi Šinorovi, ktorý nás zasvätil do základov v pracovaní s programom Wolfram Mathematica a pri pomoci s miniprojektom, a tiež všetkým organizátorom Týždňa vedy na Jaderce.

Reference

- [1] Wikipedia. *Počítačový algebraický systém*. https://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8Dta%C3%ADta%C4%8Dov%C3%BD_algebraick%C3%BD_syst%C3%A9m. 2021.
- [2] Wikipedia. *Wolfram Mathematica*. https://en.wikipedia.org/wiki/Wolfram_Mathematica. 2023.

Filtrování signálů s vysokým šumem

M. Kopeček, M. Helma, V. Tureček

Ústav fyziky plazmatu AV ČR

matej.kopecek@gmail.com, michal.helma.188b@mgplzen.cz,

vladimir.turecek.188b@mgplzen.cz

Abstrakt

Naším cílem bylo seznámit se s filtrováním signálů. Nejprve jsme probrali obecnou teorii a vzorce potřebné k výpočtům. Seznámili jsme se sestavením horní a dolní propusti v nepájivém poli a naučili se ovládat osciloskop a zjišťovat z něho užitečné informace.

1. Úvod

K filtrování signálů využíváme různé druhy filtrů. Rozdělujeme je podle realizace na analogové a digitální. První skupinu dále dělíme na pasivní a aktivní filtry. Aktivní se skládá z části pasivního filtru a zesilovače (tranzistor, operační zesilovač). Pasivní filtr je takový, který se skládá z pasivních součástek, tedy kondenzátorů (C), rezistorů (R) a cívek (L). Můžeme získat až tři základní typy podle použitých součástek: RC, LC a RLC. První se využívá při nižších kmitočtech do jednoho megaherze, naopak druhý, který je efektivnější a dražší, při frekvencích nad 1 MHz. Třetí typ je kombinací předchozích dvou, využitím je pásmová propust nebo pásmová zádrž.

2. Postup a výsledky

Výpočty:

Návrh kondenzátoru pro danou mezní frekvenci.

$$\tau = R \cdot C$$

$$f_m = 1/\tau$$

$$f_m = 1/(2\pi \cdot R \cdot C)$$

$$2\pi \cdot f_m \cdot R \cdot C = 1$$

$$C = 1/(2\pi \cdot f_m \cdot R)$$

Výpočet pro porovnání stupně modulace vůči grafu.

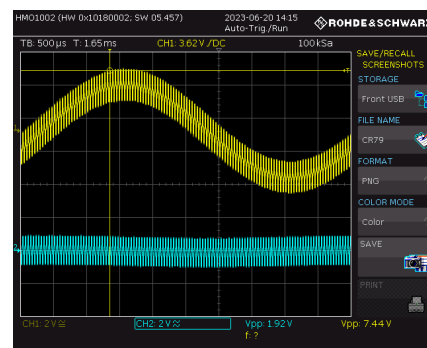
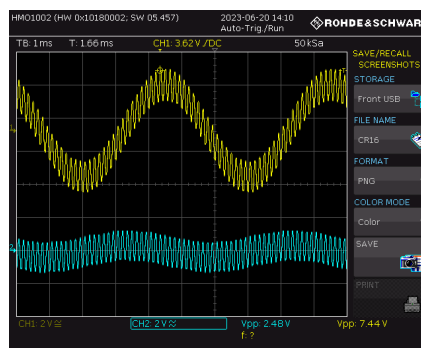
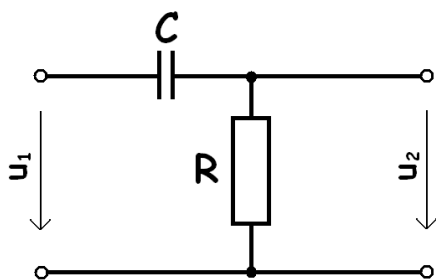
$$L_{dB} = 20 \cdot \log(U/U_0)$$

$$L_{dB}/20 = \log(U/U_0)$$

$$10^{(L_{dB}/20)} = U/U_0$$

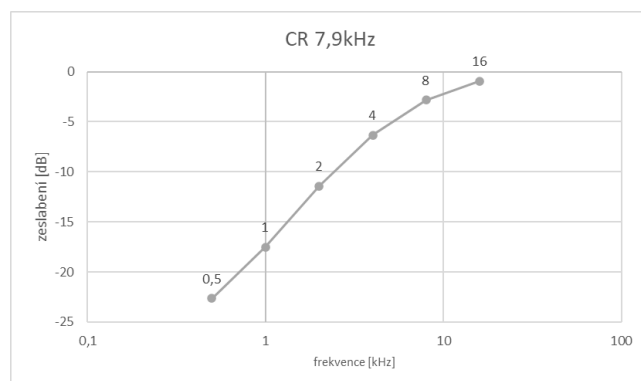
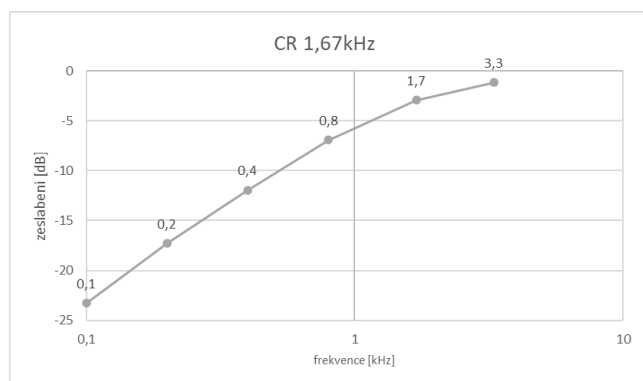
$$U = U_0 \cdot 10^{(L_{dB}/20)}$$

Horní propust CR

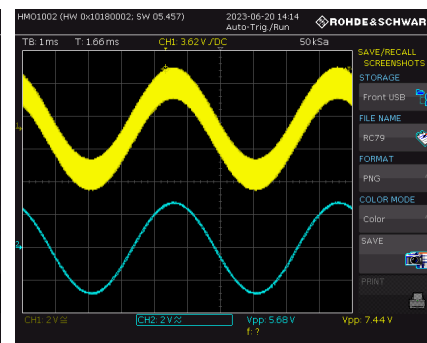
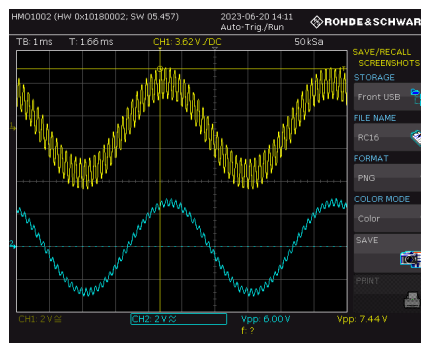
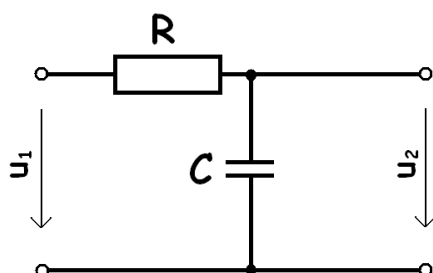


- odfiltrování složky nízkofrekvenčního signálu

- Naměřená charakteristika při různých mezních frekvencích

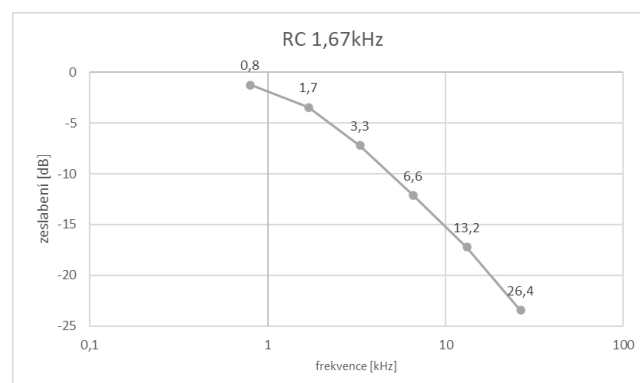
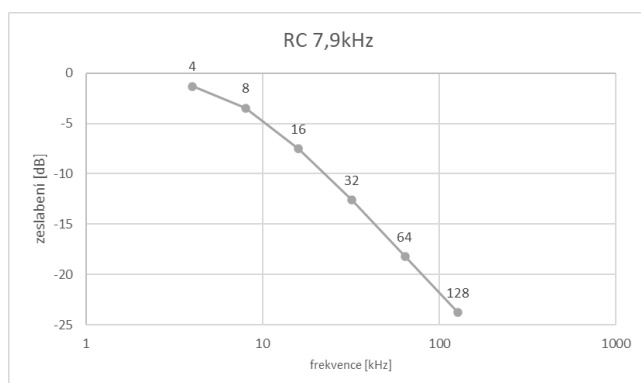


Dolní propust RC

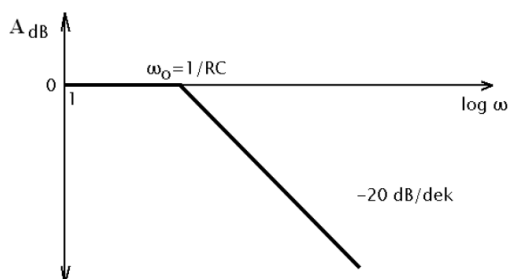


- odfiltrování složky vysokofrekvenčního signálu

- Naměřené charakteristiky při různých mezních frekvencích



Ideální charakteristika



3. Shrnutí

V našem projektu jsme se zaměřili na RC filtry. V nepájivém poli jsme sestavili dolní propust, která filtruje všechny signály s vyšší frekvencí a horní propust, která naopak filtruje signály o nižší frekvenci než je frekvence mezní. Na osciloskopu jsme pak pozorovali provedené změny.

Poděkování

Děkujeme všem organizátorům týdne vědy na jaderce a ústavu fyziky plazmatu za poskytnutí prostorů. Speciální díky patří Jiřímu Golasowskimu, vedoucímu našeho miniprojektu, bez kterého bychom to nezvládli.

Reference

- [1] https://cs.wikipedia.org/wiki/Dolní_propust
- [2] https://cs.wikipedia.org/wiki/Horní_propust
- [3] <http://www.bernkopf.cz/skola/predmety/elektronika/materialy/texty/elektronika.pdf>
- [4] https://cs.wikipedia.org/wiki/Pásmová_propust
- [5] https://cs.wikipedia.org/wiki/Pásmová_zádrž
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Filter_\(signal_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Filter_(signal_processing))

Můžeme vytvořit antihmotu pomocí laseru?

A. Lénertová¹, J. Mynář², M. Stránský³

¹Gymnázium Botičská, Botičská 1, 128 01 Praha 2,
Alena.Lenertova@gybot.cz

²Gymnázium Boskovice, Palackého náměstí 1, 680 01 Boskovice,
zakopo185@gmail.com

³Akademické gymnázium a Jazyková škola s právem státní jazykové
zkoušky, školy hlavního města Prahy, Štěpánská 22, 110 00 Praha 1,
datejl@seznam.cz

Abstrakt

Pomocí simulace střetu vysokointenzivního laseru s urychleným svazkem elektronů můžeme studovat průběh vzniku elektron-pozitronových párů. Vznikající pozitrony jsou antičásticemi k elektronům a jsou proto jedněmi ze základních stavebních jednotek antihmoty. Pozitrony se uvolňují ve formě elektron-pozitronových párů. Výpočty byly provedeny na superpočítači Karolina v centru IT4Innovations pomocí kódu Smilei, který využívá metodu particle-in-cell. Simulacemi zjišťujeme jak souvisí náboj vytvořených pozitronů s původní energií elektronového svazku.

1 Úvod

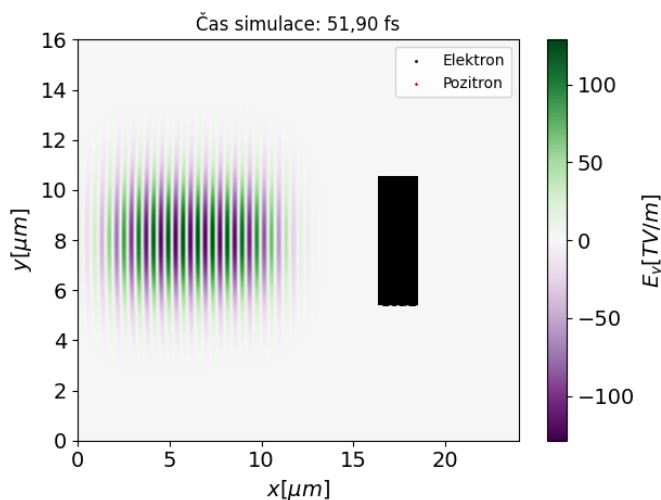
Existence antihmoty byla předpovězena už roku 1928 Paulem Diracem [1], který se zabýval kvantovou fyzikou. O čtyři roky později existenci pozitronů dokázal Carl Anderson, ale pouze ve velmi malém množství. V posledních letech se rozšiřuje výzkumy s vysokointenzivními lasery, pomocí kterých můžeme tvořit a zkoumat antičástice. Při těchto výzkumech pracujeme s extrémními podmínkami, které se mohou podobat podmínkám ve vesmíru. Díky tomu bychom si mohli ověřit spoustu teorií, jenž zatím nejsou prokázané. To zahrnuje například bližší výzkum magnetosféry pulsarů, testování asymetrie množství částic a antičástic ve vesmíru a podobně. Laser s zatím nejvyšší intenzitou byl sestaven Jižní Koreji a to s intenzitou výstřelu $10^{23} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ [2]. Pro samovolné vytvoření elektron-pozitronových párů ve vakuu je potřeba intenzity tzv. Schwingerova limitu s hodnotou $10^{29} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$. Dnes lze vytvořit elektron-pozitronové páry i s nižší intenzitou laseru pomocí nelineárního Breit-Wheelerova procesu [3]. V tomto procesu dochází ke srážce gama-fotonu s fotony z laseru za vzniku elektron-pozitronových párů. Zatím jediný experiment srážky laseru s urychleným svazkem elektronů s cílem vytvořit elektron-pozitronové páry úspěšně proběhl roku 1997 ve Stanfordu [4]. V rámci tohoto projektu budeme zkoumat tvorbu elektron-pozitronových párů pomocí simulace a metody particle-in-cell. A budeme sledovat změnu náboje a počtu vytvořených pozitronů na základě změny energie elektronových svazků.

2 Simulační metody

V námi vytvořené simulaci počítáme pomocí metody particle-in-cell (PIC), která počítá s částicemi v pomyslné mřížce. Dalším usnadněním jsou výpočty elektrického a magnetického pole v bodech mřížky a počty s makročásticemi. Dále pracujeme s kódem Smilei [5], který je volně dostupný. Pro zrychlení výpočtů jsme se dálkově připojili na superpočítač Karolina, kde jsme na 128 jádrech spustili 10 simulací s různými energiemi svazků elektronů. K simulaci jsme použili laser o intenzitě $5,281 \cdot 10^{21} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ s trváním impulsu 30 fs. Energii svazku jsme v rámci simulací měnili. Svazek elektronů ve tvaru válce měl délku $2 \mu\text{m}$ a poloměr $2,5 \mu\text{m}$. Získaná data jsme dále zpracovávali pomocí Pythonu.

3 Výsledky a diskuse

Na obrázku 1 vidíme že laser postupuje v kladném směru osy x a je lineárně polarizován ve směru osy y. Proti laseru postupuje svazek elektronů v záporném směru osy x. Obrázek 2 znázorňuje střet laseru a svazku elektronů. Dochází ke vzniku elektron-pozitronových párů, v místech kde má laser nejvyšší intenzitu. Na posledním obrázku 3 vidíme výsledek srážky a postupně se oddělující elektrony. Na základě dat ze simulací jsme vytvořili graf znázorňující závislost náboje pozitronů na počáteční energii elektronů. Při počáteční energii elektronů 1 nebo 2 GeV je počet i náboj vzniklých pozitronů zanedbatelný. Při vyšších hodnotách pozorujeme nárůst náboje vzniklých pozitronů.



Obrázek 1: Simulace před střetem.

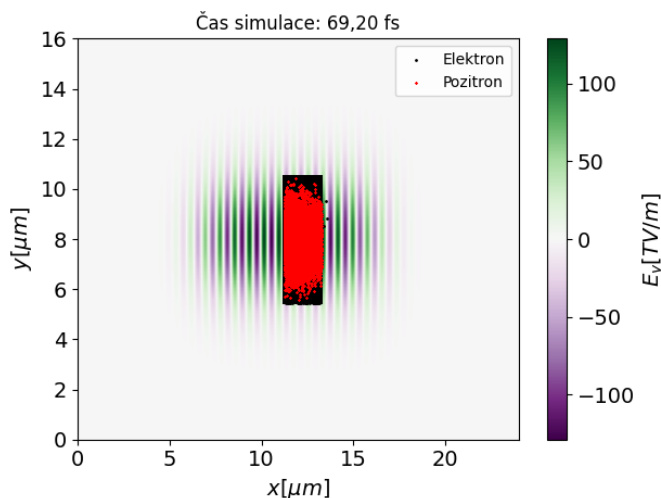
4 Závěr

Z výše uvedených výsledků předpokládáme, že s rostoucí počáteční energií elektronů vznikne více pozitronů s vyšším nábojem. Využití jednoho laserového systému pro urychlení elektronů a generaci elektron-pozitronových párů by značně zjednodušilo experiment. Prozatím nejvyšší urychlení elektronů laserem dosáhlo 8 GeV s použitím laseru BELLA

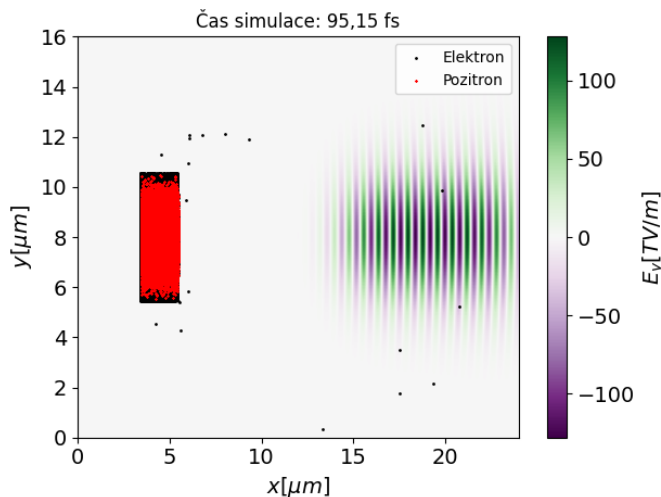
v Berkeley [6], co by podle našich simulací odpovídalo generaci 0,816 pC pozitronů. Při zvýšení této energie v blízké době by mohlo dojít ke produkci většího množství elektron-pozitronových párů při stejných parametrech laseru.

Poděkování

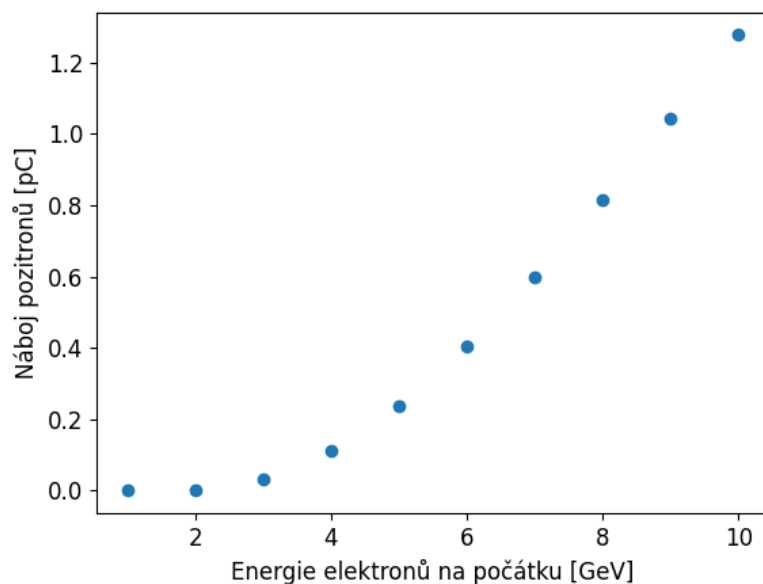
Děkujeme FJFI ČVUT v Praze a ÚFP AV ČR za možnost zpracovat tento miniprojekt v rámci Týdne vědy na Jaderce. Zvláště děkujeme Ing. Dominice Mašlárové za pomoc a vedení na tomto projektu. Tato práce byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky prostřednictvím e-INFRA CZ (ID:90254).



Obrázek 2: Simulace při střetu laseru a elektronového svazku.



Obrázek 3: Simulace po střetu a vytvoření elektron-pozitronových párů.



Obrázek 4: Závislost náboje pozitronů na počáteční energii elektronů

Reference

- [1] DIRAC, Paul Adrien Maurice. The quantum theory of the electron. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, 1928, 117.778: 610-624.
- [2] YOON, Jin Woo, et al. Realization of laser intensity over 10^{23} W/cm². Optica, 2021, 8.5: 630-635.
- [3] BREIT, Gregory; WHEELER, John A. Collision of two light quanta. Physical Review, 1934, 46.12: 1087.
- [4] BURKE, D. L., et al. Positron production in multiphoton light-by-light scattering. Physical Review Letters, 1997, 79.9: 1626.
- [5] DEROUILLAT, Julien, et al. Smilei: A collaborative, open-source, multi-purpose particle-in-cell code for plasma simulation. Computer Physics Communications, 2018, 222: 351-373.
- [6] TURNER, M., et al. Strong-field QED experiments using the BELLA PW laser dual beamlines. The European Physical Journal D, 2022, 76.11: 1-14.

Soustavy logických rovnic

V. Menšíková, M. Holeček, P. Hájek, M. Gašová

Arcibiskupské gymnázium, mensikov@arcig.cz

Masarykovo gymnázium Plzeň, miroslav.holecek.188b@mgplzen.cz

SPŠ Třebíč, malykravec@gmail.com

Gymnázium Budějovická, gasova.maky@gmail.com

Abstrakt

Náš projekt spočíval v pochopení, a především řešení jednoduchých logických rovnic. Základem bylo naučit se pracovat s Booleovou algebrou a převádět úlohy ze slovního zadání do logických rovnic. Vyřešili jsme několik logických úloh a poté je řešili i pomocí programování.

1 Úvod

Cílem našeho miniprojektu bylo seznámení se se základy Booleovy algebry a její použití při řešení logických úloh. Chtěli jsme se naučit nejen řešit logické úlohy pomocí soustav lineárních nerovnic, ale také je počítat pomocí počítače.

Booleova algebra je algebraická struktura nad množinou $\{0, 1\}$. Používá logické proměnné, které mohou nabývat pouze hodnot 0 (nepravda) a 1 (pravda). Užívá dvě binární a jednu unární operaci. Konkrétně se jedná o logický součin, součet a negaci.

Booleova algebra	elektronika	ostatní	slovem
$A \wedge B$	AB	$\min(A, B)$	a zároveň
$A \vee B$	$A + B$	$\max(A, B)$	nebo
$\neg A$	\overline{A}	$1 - A$	negace

V tomto příspěvku budeme používat elektronikářské značení.

Převod dalších logických spojek do Booleovy algebry:

$$\begin{aligned} A \Rightarrow B & \quad \overline{A} + B \\ A \Leftrightarrow B & \quad AB + \overline{A}\overline{B} \end{aligned}$$

2 Zákoný v Booleově algebře

Obě binární operace jsou komutativní a asociativní. Dle distributivního zákona platí $(a + b) \cdot c = ac + bc$ a také $b + c = (a + c)(b + c)$.

Pro negaci složeného výroku se používají De Morganovy zákony: $\overline{a \cdot b} = \overline{a} + \overline{b}$ a $\overline{a + b} = \overline{a} \cdot \overline{b}$. Dále pokud je nějaký součinný výraz pokrytý jiným, můžeme tento výraz vynechat. Tedy platí: $a + ab = a$

O dvou součinných výrazech A a B řekneme, že jsou kompatibilní, pokud v A existuje

právě jedna proměnná, jejíž negace je v B . Pokud jsou A a B kompatibilní, můžeme k výrazu přidat další člen, který vytvoříme tak, že z A i B odstraníme společnou proměnnou (a její negaci) a poté spolu upravené A a B vynásobíme. Tedy platí: $ax + b\bar{x} = ax + b\bar{x} + ab$

3 DNF a CNF

DNF značí součet základních součinů proměnných a poskytuje nám tedy seznam řešení. Tento seznam se také nazývá seznam prostých implikantů, který se dále dá využít i ve fuzzy logice. Oproti tomu CNF značí součin základních součtů proměnných a dává nám co nejmenší seznam pravidel.

Pro zjištění řešení se nám tedy nejvíce hodí tvar DNF. Jednoduchým trikem můžeme převést CNF na DNF jako: $\overline{\mathbf{CNF}} = \overline{a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n} = \overline{a_1} + \overline{a_2} + \dots + \overline{a_n} = \mathbf{DNF}$

4 Hornův tvar

Hornův tvar je výraz ve tvaru $a \Rightarrow c$. Příčiny jsou znázorněny pomocí proměnné a (antecedent) a následky jsou znázorněny proměnnou c (consequent). Příčiny mohou být složeny pomocí konjunkce a následky pomocí disjunkce. Tedy $a = a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_p$ a $c = c_1 + c_2 + \dots + c_q$ a a_i i c_i jsou proměnné bez negací.

Abychom získali z výrazu Hornův tvar, upravíme jej prvně na DNF, a poté negace převedeme na druhou stranu, čímž se jich zbavíme.

Hornův tvar je vhodný k vytvoření matic z daného problému, které se pak dají používat především v programování.

Z problému o n proměnných a m pravidlech vytvoříme matici $m \times n$. Pokud se proměnná v daném pravidle nenachází zapíšeme do příslušného políčka 0, pokud se jedná o příčinu zapíšeme 1 a jde-li o následek zapíšeme -1.

5 Česká přísloví

Mezi známá česká přísloví patří tyto dvě:

1. Kdo lže, ten krade.
2. Kdo nekrade, okrádá svou rodinu.

Zároveň, je zřejmé, že okrádání rodiny je také krádež. Když lhaní označíme jako L , okrádání jako K a okrádání rodiny jako R , dostáváme postupně tyto tři logické rovnice:

1. $L \Rightarrow K$
2. $\overline{K} \Rightarrow R$
3. $R \Rightarrow K$

5.1 Řešení pomocí soustavy rovnic

Rovnice upravujeme:

1. $\bar{L} + K$
2. $K + R$
3. $\bar{R} + K$

Soustavu dále řešíme:

$$(\bar{L} + K)(K + R)(\bar{R} + K) = (\bar{L} + K)(K\bar{R} + R\bar{R} + K + KR)$$

Člen K ve druhé závorce pokrývá členy $K\bar{R}$ a KR a zároveň $R\bar{R} = 0$ (protože nikdy nemůže platit výrok a zároveň jeho negace), dostáváme tedy:

$$(\bar{L} + K)K = \bar{L}K + K = K$$

Aby tedy byly pravdivé všechna tři předchzí tvrzení, musí $K = 1$.

5.2 Hornův tvar

První i třetí rovnice jsou již v Hornově tvaru a stačí tedy převést pouze druhou logickou rovnici. Tu můžeme upravit na tvar $1 \Rightarrow K + R$. Pomocí těchto pravidel již můžeme vytvořit matici.

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

Tuto matici můžeme použít jako vstup a program nám úlohu vyřeší.

6 Lodníci - řešení pomocí počítače (hrubou silou)

Na ostrově žijí pouze lodníci, kteří mluví vždy pravdu, a piráti, kteří vždy lžou.

Cizinec: „Kolik je mezi vámi lodníků?“

Odpověď A není slyšet.

Cizinec: „Co říkal A?“

B: „A říkal, že mezi námi je jediný lodník.“

C: „Nevěřte B, ten lže!“

Co jsou B a C?

Lidé A, B a C jsou vždy buď pravdomluvní, nebo vždy lžou. Dohromady máme pouze 8 možností. Náš program každou možnost zkontroluje jestli splňuje zadání úlohy. Pokud ano, kombinaci vytiskne.

```
def f(vyrok, pravdivost_vyroku, r):  
    return min(vyrok == pravdivost_vyroku, r)
```

```
def lodnici(v): #v[0]: A          v[1]: B          v[2] : C
```

```

r = 1
r = f((v[0]+v[1]+v[2]==1)==v[0], v[1], r)
r = f(not(v[1]), v[2], r)
if r:
    print(v)

def hruba_sila(func, lenght):
    for i in range(2**lenght):
        func([int(bin(i)[::-1][j]) if 2**j <= i else 0 for j
              in range(lenght)])

hruba_sila(lodnici, 3)

Vystup:
A B C
[0, 0, 1]
[1, 0, 1]

```

Náš program našel všechna řešení. Člověk B tedy musí být jediné pirát, C je nutně lodník a A může být lodník i pirát.

7 Shrnutí

Naučili jsme se slovní zadání převést na logické rovnice. Povedlo se nám vyřešit několik logických úloh různými metodami - úvahou, soustavou logických rovnic, lineárními nerovnicemi a pomocí počítače. Počítač zvládne v rozumném čase projít mnohonásobně více možností, než bychom zvládli pouze s tužkou a papírem, ale musí se mu to umět správně zadat. Pomocí různých metod jsme si tak potvrdili svůj úsudek.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu garantovi doc. Ing. Jaromíru Kukalovi, Ph.D., který nás seznámil se základy Booleovy algebry a řešením logických rovnic.

Reference

- [1] SMULLYAN, Raymond M. Jak se jmenuje tahle knížka?. Přeložil Hanuš KARLACH, přeložil Antonín VRBA, ilustroval Karel AUBRECHT. Praha: Mladá fronta, 1986.
- [2] RYBIČKA, Jiří. LATEX pro začátečníky. 3. vyd. Brno: Konvoj, 2003. ISBN 80-7302-049-1.
- [3] BIRKHOFF, Garrett a Thomas BARTEE. Aplikovaná algebra. Bratislava: Alfa, 1981. Edícia matematicko-fyzikálnej literatúry.

How to find the crystal structure of a material?

J. Kraft, L. Pavelková, L. Kubof

Fyzikální ústav Akademie věd České republiky

kraft.jarda@gmail.com, vetrnarybka@gmail.com,

lugyd1xdone@gmail.com

Abstrakt:















Krystaly, nádherné nerosty, které si většina kupuje a nosí na těle. Ale co vlastně jsou? Jsou to látky, které se jen tak objevili v podzemí, nebo struktury které můžeme vytvořit i doma? A z čeho vlastně jsou, proč je každý jiný? Proč jsou umělá sladidla sladká a zároveň nekalorická? Těmito otázkami a mnohým dalším se zabývá tato vědecká práce. Dozvíte se zde různé typy krystalizace materiálů a jak zjistit jejich atomové složení a strukturu pomocí difrakce radiace.

1 Úvod

Je známo, že i malá změna v krystalové struktuře nebo jeho složení může způsobit zásadní změnu vlastností. Tohoto je využíváno například při výzkumu a výrobě materiálů v jaderných reaktorech, kdy je potřeba materiál s velmi specifickými vlastnostmi. Zároveň krystalografie má významné využití ve farmacii, jelikož mnoho léčiv působí na receptory lidského těla a tyto receptory reagují pouze na látky se specifickou strukturou. Také se používá k určování prostorové struktury bílkovin i dalších biologických makromolekul.

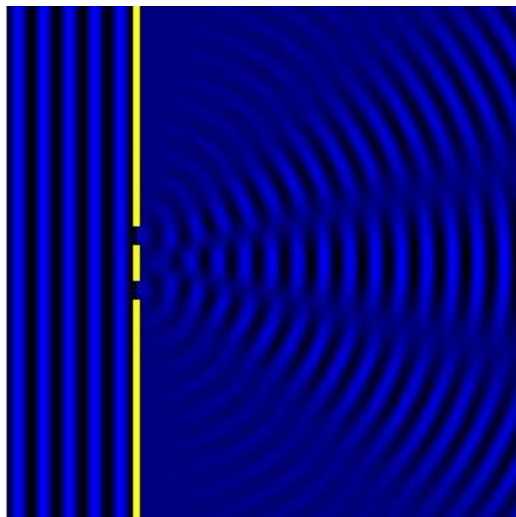
2 Krystal

Látku považujeme za krystalickou, pokud je složena z periodicky se opakující jednotky, v opačném případě se jedná o amorfni látku (např. sklo). Jelikož krystalická mřížka je symetrická, stačí zjistit strukturu základní buňky, což velmi zjednodušuje měření. Krystaly rozdělujeme podle druhu mřížky v závislosti na rozměrech a úhlech mezi osami základní jednotky (viz tabulka). Dále je rozdělujeme podle polohy dalších částic v základní jednotce (také viz tabulka).

Bravais lattice	Parameters	Simple (P)	Volume centered (I)	Base centered (C)	Face centered (F)
Triclinic	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} \neq \alpha_{23} \neq \alpha_{31}$				
Monoclinic	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{23} = \alpha_{31} = 90^\circ$ $\alpha_{12} \neq 90^\circ$				
Orthorhombic	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90^\circ$				
Tetragonal	$a_1 = a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90^\circ$				
Trigonal	$a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} < 120^\circ$				
Cubic	$a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90^\circ$				
Hexagonal	$a_1 = a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = 120^\circ$ $\alpha_{23} = \alpha_{31} = 90^\circ$				

3 Vlnění a difrakce

Při interferenci se vlny vzájemně ovlivňují. Jelikož používané rentgenové vlny pocházejí ze stejného zdroje, mají i stejnou vlnovou délku, ale díky difrakci mohou mít fázový posun. Pokud mají stejnou fázi, jedná se o konstruktivní interferenci, amplituda se sčítá, a proto pozorujeme interferenční maximum, interferenční minimum pozorujeme v případě posunu o $T/2$, takzvané destruktivní interference, a amplituda je rovna nule. Na tomto principu funguje rentgenová krystalografie, kdy každý atom, který je rozkmitán přicházející rentgenovou vlnou, produkuje difraktované vlny v závislosti na jeho elektronové hustotě. Tyto vlny interferují a dále se difraktují až vytvoří finální difraktovaný obrazec.



4 Krystalografie

Krystalografie se zabývá určováním složení a prostorového uspořádání látek. Existuje několik metod difrakce, například neutronová, elektronová nebo rentgenová. V této práci byla využita metoda rentgenové difrakce. Jelikož paprsky rentgenového záření mají vlnovou délku srovnatelnou s meziatomovými vzdálenostmi, dobře procházejí jeho strukturou. Difraktometr obsahuje zdroj rentgenového záření, goniometrickou hlavu, která natáčí materiál a detektor. Vhodný krystal (nejlépe monokrystal), který jsme si předem vybrali pod mikroskopem, připevníme na hlavu pomocí skleněné jehly s malým množstvím silikonového maziva. Ze zdroje vychází rentgenové paprsky a procházejí krystalem až k detektoru, kde zachytíme finální difraktovaný obrazec. Poté je materiál lehce otočen a opět zachytíme obrazec. Z tohoto obrazce vyčteme jak intenzitu, tak úhel, jelikož známe pozici obrazu a vzdálenost od vzorku.

5 Zpracovávání naměřených dat

Získaná data se následně musí data analyzovat. Podle matematických rovnic strukturního faktoru se počítá poloha atomu z intenzity difraktované radiace a o jaký atom se jedná. Potom je potřeba tento výpočetní odhad porovnat s naměřenou intenzitou a podle rozdílu se snažit optimalizovat krystalový model v programu. Je možné pro optimalizaci vyměňovat atomy. Jejich pozice, ADP¹, strukturní parametry a mnoho dalšího.

6 Využití

Využití krystalografie je dnes velmi rozsáhlé, a to od výzkumu nových slitin a jejich vlastností pro medicínské náhrady kostí a kloubů, ale také do stěn jaderných reaktorů až po nové léky a jejich vedlejších efektů. Krystalografie se dá zařadit do jednoho z používanějších oborů vědy, zkoumá také umělá sladidla. Která jsou výjimečná tím, že na jazyku jsou stále sladká, ale jsou

¹ ADP – Atomic displacement parameters, posun atomu díky kmitu a atomovým vazbám

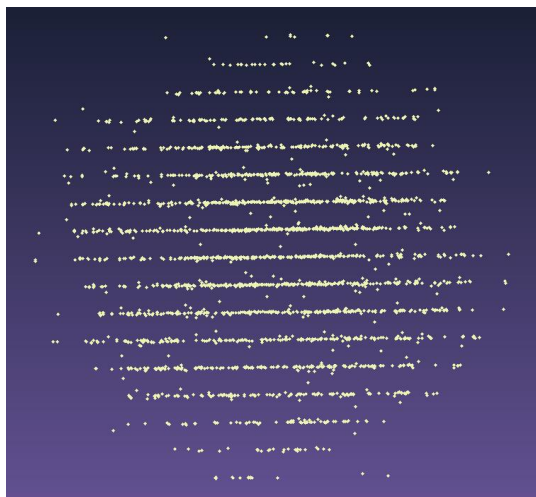
nestravitelná. Je to způsobeno tím, že umělá sladidla nemají stejné receptory jako sacharóza a tělo je neumí zpracovat na energii. Sladká jsou, protože mají na chuťových buňkách stejnou chemickou reakci a buňky poté posílají signál do mozku, že tělo přijme energii v podobě něčeho sladkého. Stála za lepším pochopením chemických vazeb a nekovalentních interakcí.

7 Ostatní druhy krystalografie

Když vzorek není dost veliký nebo nelze najít dobrý krystal pro monokrystalickou rentgenovou krystalografii, je možné použít jiné druhy krystalografie, jako například: práškovou RTG krystalografii, elektronovou krystalografii a neutronovou krystalografii. Ale ty zabírají mnohem více času než monokrystalická.

8 Experiment

Při našem bádání jsme dostali za úkol zjistit složení a krystalovou strukturu bílého krystalického vzorku, který nám předem nebyl ukázán, ani nebyl poskytnut jeho atomový obsah. Každý jsme si vybrali určitý monokrystal, který jsme následně silikonovým mazivem nalepili na předem připravenou skleněnou jehlu. Tyto krystaly jsme dále podle instrukcí vsadili do difraktometru a provedli pre-experiment. Tento pre-experiment trval okolo 15 minut a následně jsme vybrali nejlepší krystal podle indexu čitelnosti difrakce. Poté jsme náš vybraný krystal vložili do difraktometru ještě jednou a začali experiment. Tento experiment trval do 2 hodin a my jsme poté měli obrázky s difrakcí. Následně jsme vložili tyto fotky do softwaru **Jana2020**, který používá spousta krystalografů po celém světě. Jana2020 nám po vypočtení rovnic strukturního faktoru vrátila přibližný obraz krystalografické jednotky s molekulou. Krystalografická mřížka byla jednoklonná a molekula byla jedna pro celou mřížku. Byla to sacharóza. Výsledek nám vyšel, že daný vzorek je krystalický cukr.



9 Shrnutí

Krystaly se tedy skládají z opakovaných jednotek, které jsou vzájemně symetrické. Jakýkoliv objekt, který splňuje tuto podmínku je krystal a takový krystal může být ze všeho. Ať už je to protein, molekula, nebo atom. Každý krystal má unikátní vlastnosti a platí, že i malá změna tvoří velký rozdíl. Prvky a vzdálenosti atomu, uspořádání jednotek krystalu jsou nezanedbatelné faktory pro vlastnosti krystalu. Tímto se zabývá krystalografie.

Poděkování

Jaroslav Kraft: Já bych chtěl poděkovat naší vedoucí miniprojektu Corree a celému ústavu FZÚ AV ČR za uskutečnění tohoto projektu, ochotu nám vše vysvětlit a za exkurzi v místních laboratořích i s experimentem.

Lída Pavelková: Děkuji garantce tohoto miniprojektu, kterou byla Mgr. Cinthia Antunes Correa, PhD., za realizaci, Fyzikálnímu ústavu AV ČR, který nám poskytl prostory a v neposlední řadě celému organizačnímu týmu TV@J za možnost být součástí nějakého projektu.

Lukáš Kubof: Chcem sa poďakovať vedúcej miniprojektu, ktorá bola vždy ochotná pomôcť a vysvetliť, príjemnému personálu FZÚ AV ČR, a TV@J za poskytnutie tejto príležitosti na rozvoj. Vidieť to z prvej ruky a aspoň trochu sa priblížiť k "hranici poznania" je iné než tisíc slov.

Reference

- [1] <https://www.fzu.cz/~knizek/prednaska/Diffraction.pdf> [online]
- [2] Development and Commissioning of a Prototype Neutron Backscattering Spectrometer with an Energy Resolution Enhanced by an Order of Magnitude using GaAs Single Crystals – Scientific Figure on ResearchGate. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-an-X-ray-diffractometer_fig9_323722534 [citováno 20. 06. 2023]
- [3] COMPARISON OF CPFEM AND SPECTRAL SOLUTION METHODS IN PREDICTION OF STRAINS NEAR GRAIN BOUNDARIES IN A UNIAXIALLY LOADED OLIGOCRYSTALLINE TENSILE SPECIMEN COMPARISON OF CPFEM AND SPECTRAL SOLUTION METHODS IN PREDICTION OF STRAINS NEAR GRAIN BOUNDARIES IN A UNIAXIALLY LOADED OLIGOCRYSTALLINE TENSILE SPECIMEN – Scientific Figure on ResearchGate. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/The-fourteen-Bravais-lattices-in-three-dimensions-Source-DVAnghel-Bravais-lattice_fig1_349185906 [citováno 20. 06. 2023]
- [4] Základy chemické a fyzikální krystalografie, Józef Chojnacki, 1979, str.140
- [5] Wikipedia, The Free Encyclopedia: Diffraction [Online]. c2023 [citováno 20. 06. 2023]. Dostupný z WWW: <<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diffraction&oldid=1160941284>>
- [6] Materials Structure in Chemistry, Biology, Physics and Technology, Bulletin of the Czech and Slovak Crystallographic Association, vol. 29, no. 2, 2023, str. 100-102

Rentgenfluorescenční analýza, pomocník nejen při studiu památek

N. Šímová, Gymnázium Na Zatlance, Praha
nikola.simova@student.zatlanka.cz

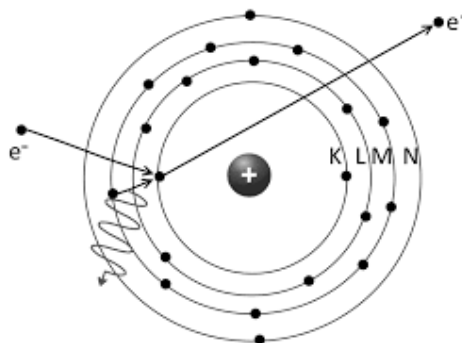
K. Nabiová, Gymnázium Jateční, Ústí nad Labem
nabiova.klara@gmail.com

Abstrakt:

Cílem naší práce bylo stanovení složení dvacetikoruny na základě rentgenfluorescenční analýzy.

1 Úvod

Rentgenfluorescenční analýza využívá ionizujícího záření, které v látce vybuzuje charakteristické záření. Na základě charakteristického záření se stanovuje složení daného vzorku (nejčastěji kovů) a koncentrace prvků obsažených ve vzorku. Při interakci fotonu s elektronem v elektronovém obalu atomu může nastat několik situací. V naší práci jsme se zaměřovaly pouze na fotoelektrický jev. Foton (v našem případě rentgenové záření) předá veškerou energii elektronu, který leží na slupce nejbližší k jádru. Čím větší energii dopadající foton má, tím větší kinetickou energii bude mít vyražený elektron. Atom je bez elektronu na K slupce nestabilní, a proto na jeho původní místo přeskakuje elektron z vyšší hladiny. Při přeskoku z vyšší hladiny na nižší hladinu uvolní emitující elektron energii. Tvoří se tak charakteristické záření, které je pro každý prvek jiné. S rostoucím protonovým číslem prvků roste uvolněná energie.



obr. 1 fotoelektrický jev (viz Reference)

2 Aparatura

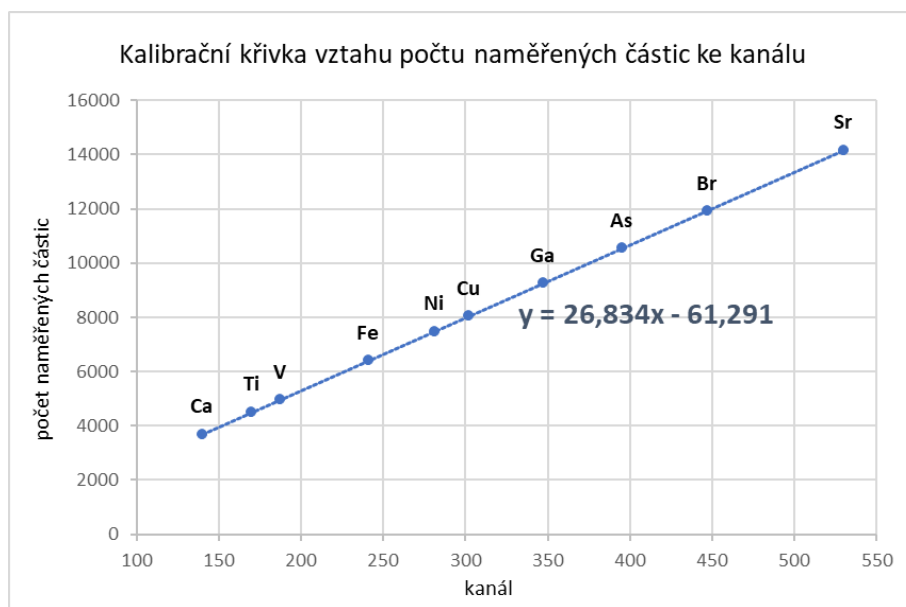
Aparatura byla složena z rentgenky (od firmy AMPTEK), z křemíkového detektoru, který byl pod úhlem 45° od dopadajícího rentgenového záření pro odstínění nežádoucích částic. Tímto způsobem jsme se snažily dosáhnout přesnosti výsledků. Rentgenka ozařovala plochu o obsahu $150 \mu\text{m}^2$. Zároveň jsme využily zdroje vysokého napětí - napětí bylo nastaveno na 50 kV a proud na 50 mA.

3 Peak - co to je?

Peak (z angličtiny nejvyšší vrchol, maximum) je nejvyšší četnost částic dosahujících určité energie. Peaky se označují různě: index α označuje stav, kdy na volné místo po vyraženém elektronu přeskočí elektron ze slupky L (viz obrázek 1), index β označuje naopak stav, kdy na volné místo přeskočí elektron ze slupky M (viz obrázek 1). Elektrony ze slupky M přeskakují na volné místo sedmkrát méně než elektrony ze slupky L. V grafu poté vidíme dva peaky pro jeden prvek. Hrubou zkouškou přesnosti našeho měření pak může být šířka peaku. Platí totiž, že čím užší je peak, tím přesněji bylo měření provedeno (viz Diskuze).

4 Kvalitativní analýza

Kvalitativní analýzu jsme si vyzkoušely na kalibraci využitého programu s tabulkovými hodnotami. Využily jsme čisté vzorky prvků, které jsme po dobu třiceti sekund ozařovaly rentgenovým zářením. Prvky začaly vyzařovat charakteristické záření. Využitý program nám připravil graf, ve kterém jsme zjistily nejvyšší hodnotu peaku, a k hodnotě jsme přiřadily číslo kanálu z intervalu $\langle 1; 1024 \rangle$. V tabulce energií jsme našly hodnotu pro právě studovaný prvek a tuto hodnotu jsme přiřadily k číslu kanálu. Měření jsme provedly pro deset různých chemických prvků. Z připravených hodnot jsme vytvořily graf, který jsme proložily křivkou.



graf 1

5 Kvantitativní analýza

V kvantitativní analýze jsme se věnovaly koncentraci jednotlivých prvků zastoupených ve zkoumaném předmětu. Naším zkoumaným předmětem byla dvacetikoruna vyrobená v roce 2003.

Matricový efekt

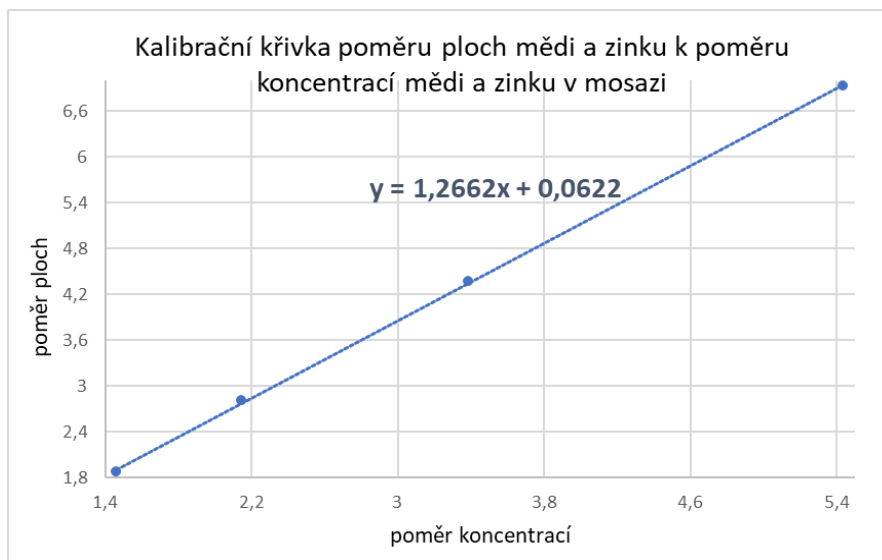
Problém kvantitativní analýzy spočívá v existenci Matricového efektu. Záření emitované ze vzorku je totiž ovlivněno koncentrací složek zastoupených ve zkoumaném předmětu.

S hloubkou počet částic vybuzených zářením exponenciálně klesá. U předmětů potažených lehkou vrstvou, např. kovů nebo jejich oxidů, může detektor vyhodnotit, že koncentrace kovu ve vrchní vrstvě je větší než koncentrace zbylé látky ve zkoumaném předmětu.

Provedení

K realizaci našeho cíle bylo zapotřebí sestavit kalibrační křivku poměru koncentrace mědi a zinku k poměru ploch mědi a zinku. K dispozici jsme měly mosazné standardy ve tvaru válečků, které jsme ozařovaly rentgenovým paprskem po dobu pěti minut. Koncentrace mědi a zinku byla v každém válečku jiná, nám byly jednotlivé koncentrace známy. Počítačový program nám změřil obsahy jednotlivých peaků, které jsme zapsaly do tabulky. Následně jsme z nich vypočítaly poměry ploch a poměry koncentrací.

Výsledné poměry koncentrací a ploch jsme vložily do grafu, který jsme proložily křivkou.



graf 2

Dvacetikoruna

Dvacetikoruna byla ozařována po dobu pěti minut podobně jako mosazné standardy. Díky ozáření jsme zjistily plochy Cu a Zn, které byly nutné k následnému dopočítání koncentrace Cu a Zn ve dvacetikoruně. Poměr koncentrace Cu a koncentrace Zn jsme vypočítaly dosazením do vzorce $y = 1,2662x + 0,0622$ (viz graf 2), kde y je poměr ploch Cu a Zn a x je poměr koncentrací Cu a Zn (viz tabulka 1). Koncentrace Cu naší dvacetikoruny tedy po zaokrouhlení vyšla 82,65 % a koncentrace Zn 17,35 %.

vzorek	Cu koncentrace	Zn koncentrace	Cu plocha	Zn plocha	Cu/Zn koncentrace	Cu/Zn plocha
20 Kč	82,6501732 %	17,3498268 %	2707403	729146	4,7637463 %	3,7131151

tabulka 1

6 Diskuze

Náš výsledek koncentrace Cu a Zn ve dvacetikoruně (viz tabulka 1) jsme porovnali s technickými parametry od České národní banky (viz obrázek 2). Koncentrace Cu se lišila přibližně o 15 % a koncentrace Zn přibližně o 40 %. Myslíme si, že jeden z možných důvodů nepřesnosti výsledků, je znečištění povrchu, např. rezí, nečistotou. Dále také mohly být nepřesnosti způsobeny členitým reliéfem mince nebo chybou měření či výpočtu.

» **technické parametry** – materiál ocel plátovaná slitinou mědi a zinku v poměru 75:25 a galvanicky pokovená slitinou mědi a zinku v poměru 72:28, magnetická, třináctihran, hmotnost 8,43 g, průměr 26 mm, síla 2,55 mm, hrany zaoblené a hladké; tolerance ve složení slitin ± 1 %, v hmotnosti $\pm 0,25$ g, v průměru $\pm 0,1$ mm a v síle $\pm 0,05$ mm.

obr. 2 (viz Reference)

7 Shrnutí

Splnily jsme cíl, který jsme si stanovily. Poznaly jsme, jak se zjišťuje koncentrace prvků ve vzorcích pomocí rentgenfluorescenční analýzy a vyzkoušely jsme práci vědce na vlastní kůži.

Poděkování

Děkujeme organizátorům Týdne vědy na Jaderce za možnost seznámit se s prací vědce a ochotu věnovat nám svůj volný čas. Dále bychom chtěly poděkovat Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za poskytnutí prostor školy. Velké díky patří panu Jiřímu Martinčíkovi za zasvěcení do základu problému, pomoci při realizaci našeho miniprojektu a za ochotné zodpovídání našich zvědavých dotazů.

Reference

- [1] obr. 1 Pánková, I. O. Zobrazovací_systemy_-_RTG.pdf, 2020. Rengenové zobrazovací systémy.
https://is.muni.cz/el/med/jaro2021/BRPR0422p/Zobrazovací_systemy_-_RTG.pdf
(citováno červen 20. 2023).
- [2] obr. 2 20 Kč [online]. Praha: Česká národní banka, ©2023,[cit. 2023-06-20].
Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/bankovky-a-mince/mince/20-kc/>

PICKŮV VZOREC A JEHO APLIKACE

Barbora Janáčková, Michal Mládek, Kryštof Sedláček

Garant: Adam Blažek

20.6.2023

ABSTRAKT

V tomto článku se zabýváme problematikou Pickova vzorce a jeho aplikací do jiných odvětví matematiky. Konkrétně se budeme zabývat využitím Pickova vzorce v kombinatorice pro rozpočítání mincí různými způsoby.

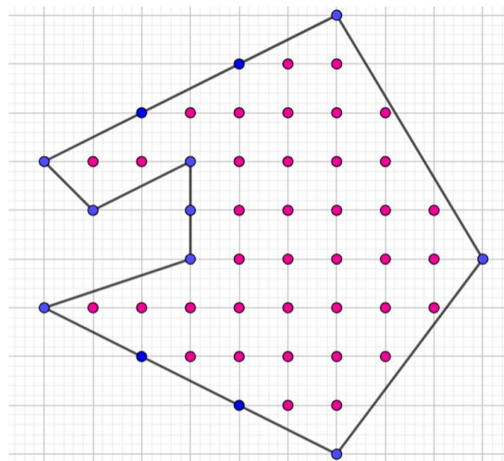
TEORETICKÁ ČÁST

Pickův vzorec se využívá pro výpočet mnohoúhelníku v mřížových bodech. Mřížové body jsou body v rovině, které mají v kartézské soustavě souřadnic celočíselné hodnoty. Pickova věta nám říká, že pokud máme libovolný mnohoúhelník, jehož strany se nekříží a nemá uvnitř žádnou díru, můžeme jeho obsah vypočítat pomocí jednoduchého vzorce $S = I + \frac{B}{2} - 1$, kde B jsou body nacházející se na stranách mnohoúhelníku, I je počet bodů ležících uvnitř mnohoúhelníku.

PŘÍKLAD VYUŽITÍ PICKOVA VZORCE:

Z obrázku 1 vyčteme, že B neboli počet modrých bodů na hranách je 13. I , počet růžových bodů uvnitř mnohoúhelníku, se rovná 38. Využijeme tedy Pickův vzorec

$$S = I + \frac{B}{2} - 1$$



Obrázek 1: mnohoúhelník s body

$$S = 38 + \frac{13}{2} - 1 = 43,5 j^2$$

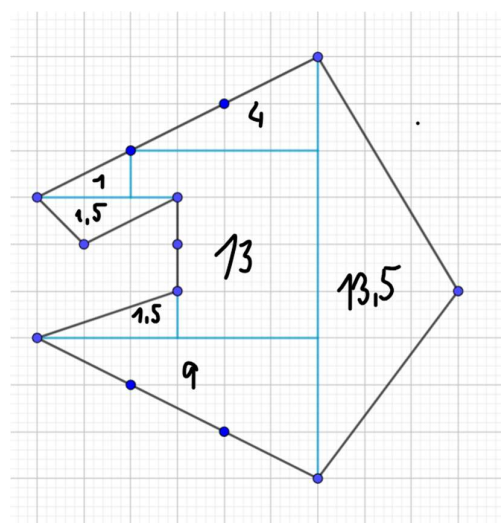
(obrázek 2) Pokud si mnohoúhelník rozdělíme na menší části, jako jsou trojúhelníky, čtverce nebo obdélníky, dokážeme pomocí základních vzorců vypočítat obsah. Výsledný obsah zjistíme sečtením všech částí.

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7$$

Obsahy jednotlivých částí jsou vyznačeny v obrázku.

$$S = 1,5 + 1 + 4 + 13 + 13,5 + 9 + 1,5 = 43,5 j^2$$

Porovnáním výsledků z obou částí zjistíme, že obsahy jsou stejné, ale je jednodušší a rychlejší využít Pickův vzorec.



Obrázek 2: rozdělený mnohoúhelník

PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část naší práce spočívala v aplikaci Pickova vzorce pro rozpočítání mincí. Mějme mince o hodnotách $n_1; n_2; n_3$ a celkovou částku c . Naším úkolem je zjistit, kolik existuje způsobů rozměnění mincí. Zároveň uvažujme, že jednotlivé mince dělí celkovou částku beze zbytku. Počet jednotlivých mincí lze zapsat rovnicí $x \cdot n_2 + y \cdot n_3 + z \cdot n_1 = c$. Graficky můžeme rovnici znázornit jako počet mincí x s hodnotou n_2 ; počet mincí y s hodnotou n_3 a počtem mincí z s hodnotou n_1 . Zápis můžeme přenést do soustavy souřadnic, kde vznikne pravoúhlý trojúhelník s odvěsnami $x; y$ a přeponou spojující body $[0; \frac{c}{n_3}]$ a $[\frac{c}{n_2}; 0]$, což jsou vrcholy trojúhelníku. Pod osou x a nalevo od osy y nemůže být zobrazena žádná hodnota, neboť neuvažujeme záporný počet mincí. Přepona trojúhelníku je hraniční, protože nám hranice (přepona) určuje maximální počet $x \cdot n_2 + y \cdot n_3$, kde $z = 0$. Na přeponě se objeví i „nemřížkové body“, které neuvažujeme, neboť chceme celé mince, nikoliv jejich části.

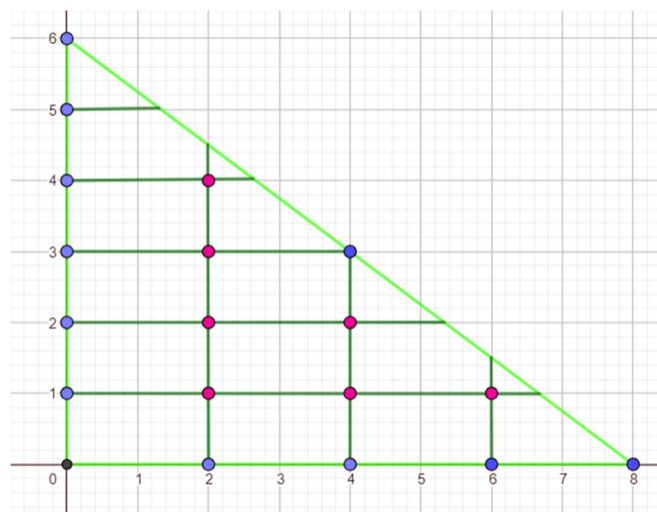
Body uvnitř trojúhelníku nedají po rozpočítání celou hodnotu c , nýbrž je třeba doplnit nejmenší hodnotu ($z \cdot n_1$) pro doplnění do c . Pokud zvolíme kombinaci $x; y$ tak, že na c pomocí $z \cdot n_1$ nelze doplnit, souřadnici neuvažujeme (viz. obrázek, ve kterém se z čtvercové mřížky stala obdélníková)

Příklad:

Pro tento konkrétní příklad (viz. obrázek) jsme využili hodnot:

$$n_1 = 4; n_2 = 6; n_3 = 8; c = 48$$

Z obrázku lze vyčíst počet bodů ($B + I = 19$), což určuje celkový počet možností, jak mince o těchto konkrétních hodnotách rozdělit. Pro vyšší hodnoty vstupních parametrů může být „ruční“ počítání bodů náročné, proto jsme experimentálně dospěli k vzorci:



$$B + I = \frac{c}{2 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3} (c \cdot nsd(n_1; n_2; n_3) + n_1 \cdot nsd(n_2; n_3) + n_2 \cdot nsd(n_1; n_3) + n_3 \cdot nsd(n_2; n_1)) + 1$$

$B, I \in \mathbb{Z}$; označme $B + I$ = počet všech možných kombinací čísel z, x, y , které splňují podmínku $zn_1 + xn_2 + yn_3 = C$, kde $n_3 > n_2 > n_1$ a $C \equiv 0 \pmod{n_1, n_2, n_3}$

Kvůli tomu, že $n_1 \mid C$, stačí najít počet všech x, y splňující podmínky $xn_2 + yn_3 \leq C \wedge xn_2 + yn_3 \equiv 0 \pmod{n_1}$, protože pro každé x, y bude právě jedno z takové, aby x, y, z splňovalo základní podmínku.

Mějme $\Delta \left(\begin{smallmatrix} C \\ n_3 \\ 0 \end{smallmatrix} \right); \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ C \\ n_2 \end{smallmatrix} \right); \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$, všechny body ležící vně nebo na stranách trojúhelníku splňují podmínku $xn_2 + yn_3 \leq C$. Pokud určíme počet všech bodů s celočíselnými souřadnicemi náležících tomuto trojúhelníku, které zároveň splňují podmínku $xn_2 + yn_3 \equiv 0 \pmod{n_1}$, budeme mít hodnotu, kterou jsme si označili $B + I$, B je počet těchto bodů splňující zmíněnou podmínku a zároveň ležící na stranách trojúhelníku, I je počet bodů, opět splňující zmíněnou podmínku a zároveň ležící uvnitř trojúhelníku.

1) $B = B_x + B_y + B_c$ B_x - počet bodů se souřadnicí $y = 0$ kromě vrcholu $\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ C \\ n_2 \end{smallmatrix} \right)$ B_y - počet bodů se souřadnicí $x = 0$ kromě vrcholu $\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$ B_c - počet bodů se souřadnicemi kde $xn_2 + yn_3 = C$ kromě vrcholu $\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ C \\ n_3 \end{smallmatrix} \right)$ Pro B_x platí že:

$$xn_2 \equiv 0 \pmod{n_1} \rightarrow x = k_x \frac{n_1}{nsd(n_1, n_2)} \text{ kde } k_x \in \mathbb{N}_0$$

$$yn_3 \geq 0 \wedge xn_2 + yn_3 \leq C \rightarrow k_x \frac{n_1}{nsd(n_1, n_2)} n_2 \leq C \rightarrow k_x \leq \frac{C nsd(n_1, n_2)}{n_1 n_2} \rightarrow k_x \in \left\langle 0; \frac{C nsd(n_1, n_2)}{n_1 n_2} \right\rangle \rightarrow B_x = \frac{C nsd(n_1, n_2)}{n_1 n_2}$$

Pro B_y obdobně platí, že $B_y = \frac{Cnsd(n_1, n_3)}{n_1 n_3}$.
 Pro B_c platí, že $xn_2 + yn_3 = C$. Použijeme Bézoutovu větu, z podmínek víme, že n_2 a n_3 dělí C , takže rovnice má řešení a to ve tvaru $x_0 - k_c \frac{n_3}{nsd(n_2, n_3)}, y_0 + k_c \frac{n_2}{nsd(n_2, n_3)}$. Jedním řešením je zjevně $x_0 = 0, y_0 = \frac{C}{n_3}$, neboli všechna řešení budou ve tvaru $-k_c \frac{n_3}{nsd(n_2, n_3)}, \frac{C}{n_3} + k_c \frac{n_2}{nsd(n_2, n_3)}$, zároveň oboje řešení musí být nezáporné a proto $k_c \leq 0 \wedge k_c \geq -\frac{Cnsd(n_2, n_3)}{n_2 n_3} \rightarrow k_c \in \left\langle -\frac{Cnsd(n_2, n_3)}{n_2 n_3}; 0 \right\rangle \rightarrow B_c = \frac{Cnsd(n_2, n_3)}{n_2 n_3}$.

Dostáváme tedy, že $B = \frac{Cnsd(n_1, n_2)}{n_1 n_2} + \frac{Cnsd(n_1, n_3)}{n_1 n_3} + \frac{Cnsd(n_2, n_3)}{n_2 n_3}$.
 2) Z nedostatku místa a času tu není zapsán důkaz, který říká že obsah trojúhelníku se rovná $\frac{n_1}{nsd(n_1, n_2, n_3)}(I + \frac{B}{2} - 1)$. Spočívá v vypočítání obsahu jedné mřížky pomocí vektorů a poté použití Pickova vzorce na mřížce zvětšené o $\frac{n_1}{nsd(n_1, n_2, n_3)}$.

3) Je zřejmé, že obsah trojúhelníku s vrcholami $\left(\frac{C}{n_3}; \left(\frac{0}{n_2}\right); \left(0\right)\right)$ bude $\frac{C^2}{2n_2 n_3}$. Z už zmíněných důkazů dostáváme rovnost $\frac{C^2}{2n_2 n_3} = \frac{n_1}{nsd(n_1, n_2, n_3)}(I + \frac{B}{2} - 1)$, která lze přepsat do tvaru $B + I = \frac{C^2 nsd(n_1, n_2, n_3)}{2n_1 n_2 n_3} + \frac{B}{2} + 1$. Dosazením za B do levé strany a nám vyjde finální rovnost, která určuje počet všech možných kombinací čísel z, x, y .

$$B + I = \frac{C^2 nsd(n_1, n_2, n_3)}{2n_1 n_2 n_3} + \frac{Cnsd(n_1, n_2)}{2n_1 n_2} + \frac{Cnsd(n_1, n_3)}{2n_1 n_3} + \frac{Cnsd(n_2, n_3)}{2n_2 n_3} + 1$$

ZÁVĚR

V článku jsme se zabývali využitím Pickova vzorce v kombinatorice pro rozpočítání mincí. Experimentálně jsme došli k podobám vzorců, ze kterých po následných úpravách a ověřeních vzešel vzorec:

$$B + I = \frac{C}{2 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3} (C \cdot nsd(n_1; n_2; n_3) + n_1 \cdot nsd(n_2; n_3) + n_2 \cdot nsd(n_1; n_3) + n_3 \cdot nsd(n_2; n_1)) + 1$$

PODĚKOVÁNÍ

V rámci našeho článku bychom rádi poděkovali vedoucímu Adamu Blažkovi za pomoc se zpracováním tématu. Dále bychom rádi poděkovali FJFI za propůjčení prostorů k vypracování projektu a organizátorům Týdne vědy za možnost náhledu do vysokoškolského života.

CITACE

- 1) Holíková, Marie. „O Pickově vzorci a rozměňování peněz“. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, roč. 61, č. 4, 2016, s. 312–22. dml.cz, <https://dml.cz/handle/10338.dmlcz/145978>.
- 2) pick [Mgr. Ivana Stefanová]. <https://ivana.stdin.cz/pick>. Viděno 20. červen 2023.
- 3) „Bézoutova rovnost“. Wikipedie, 6. září 2019. Wikipedie, https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=B%C3%A9zoutova_rovnost&oldid=17624241.

Bayesův vzorec: jak nová data mění pravděpodobnost jevu

J. Valenta¹, D. Krátký², O. Říha³, M. Moravec⁴

¹Gymnázium Jateční, ²Gymnázium Tanvald,

³Gymnázium Velké Meziříčí, ⁴Církevní gymnázium Plzeň

¹Valenta.j@gymjat.cz, ²dany.kratky.dk@gmail.com,

³rihaond@gmail.com, ⁴moravecmatej@post.cz

Abstrakt:

Bayesův vzorec umožňuje výpočet aposteriorní pravděpodobnosti náhodných jevů pomocí předem známých informací (apriorních pravděpodobností), lze ho aplikovat v řadě různých odvětví. V případě našeho výzkumu jsme vypočítali pravděpodobnost deště na základě dalších vnější pozorování. Využívali jsme k tomu statistik meteorologických institucí a otevřených zdrojů z let 2011-2022. Tento výzkum si nečiní nárok na to, aby byl přesným a spolehlivým ve smyslu předpovědi počasí, ale je spíše ukázkou možné aplikace Bayesova vzorce k určení, jak použití nových dat může změnit odhad pravděpodobnosti některého jevu.

1 Teoretický úvod

Bayesův vzorec je rovnicí znázorňující vztah mezi podmíněnou pravděpodobností a opačnou podmíněnou pravděpodobností. Vzorec byl poprvé zveřejněn v roce 1763, 2 roky po autorově smrti, ale povědomí o něm stagnovalo až do dob 2. poloviny 20. století, kdy začal být široce využíván a dal vzniknout novému odvětví statistiky – bayesovské.

Teorie pravděpodobnosti, do které tento vzorec spadá, se zabývá popisováním vlastností náhodných jevů. Ty jevy, které se dají ovlivnit nějakými jinými nezávislými jevy, můžeme popisovat právě pomocí zmíněného vzorce.

Podmíněná pravděpodobnost je důležitou součástí tohoto vzorce:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

Popisuje pravděpodobnost jevu $P(A)$ za předpokladu, že mu jistě předcházela jev B . Pravděpodobnost samotného jevu $P(A)$ jsme schopni vypočítat, za předpokladu, že známe pravděpodobnosti úplného systému vzájemně neslučitelných jevů B_1, B_2, \dots, B_n a jejich vzájemné vztahy. Proto:

$$P(A) = \sum_i^n P(A|B_i) \cdot P(B_i)$$

Bayesův vzorec nám pomáhá s vyčíslením pravděpodobnosti jednoho prvku z daného systému vzájemně neslučitelných jevů, popsáným výše [1].

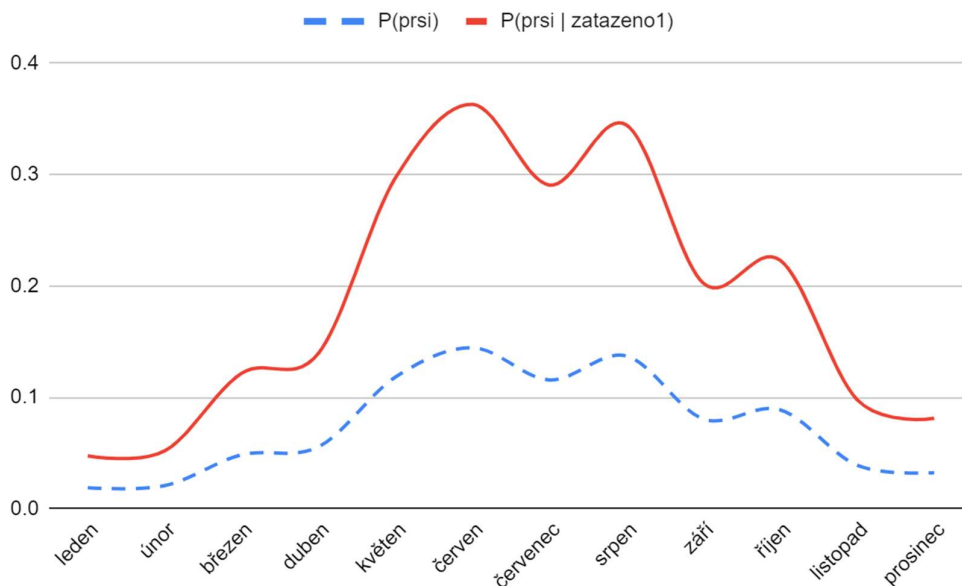
$$P(B_k|A) = \frac{P(A|B_k) \cdot P(B_k)}{P(A)}$$

Naším cílem bylo prokázat aplikovatelnost Bayesova vzorce do reality. Vzorec jsme aplikovali k výpočtu pravděpodobnosti výskytu srážek za různých okolností, naměřených Českým hydrometeorologickým ústavem v letech 2011-2022, které mohou tento náhodný jev ovlivňovat.

2 Zpracování dat

Předpokládáme, že A je náhodný jev, že v určitý den bude pršet. $P(A)$ značí pravděpodobnost tohoto jevu bez jakéhokoliv kontextu. Tato hodnota byla spočítána zprůměrováním hodnot z hydrometeorologického ústavu ČR z let 2011-2022, z hodnot naměřených konkrétně stanicí v Praze, Karlov [2]. Je B předpokládáme za náhodný jev, že bude zatažená obloha. Jeho pravděpodobnost byla spočítána zprůměrováním hodnot z meteorologické stanice Košíky z let 2011-2022 [3]. $P(A|B)$ jedná se o podmíněnou pravděpodobnost toho, že bude pršet, pokud je zataženo. Tuto hodnotu jsme získali z webu [4]. Vztah mezi zataženou oblohou v ranních hodinách a následným deštěm jsme vypočítali pomocí zprůměrovaných dat z meteorologické stanice Košíkov, naměřených ve stejných letech.

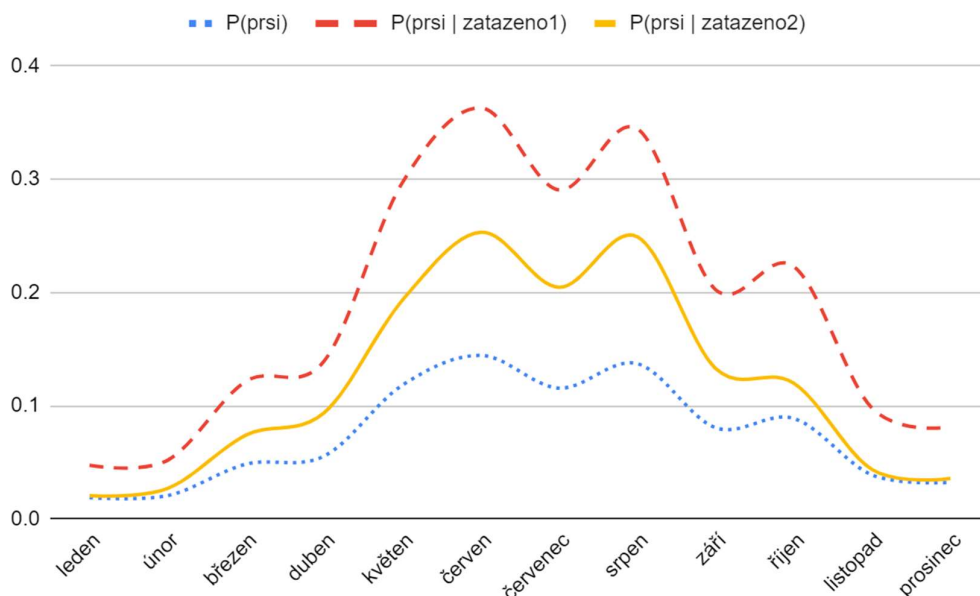
Z dosazených hodnot nám vyšly hodnoty pravděpodobnosti pro každý měsíc zvlášť. Pro lepší představu o těchto pravděpodobnostech jsme je vložili do tohoto grafu na obrázku 1. Šrafovaná čára značí pravděpodobnost, že bude pršet bez jakéhokoliv kontextu, pokud víme který je měsíc. Naproti tomu, plná čára značí pravděpodobnost deště, pokud víme, že je oblačno.



Obrázek 1. Graf pravděpodobnosti deště za podmínky, že je oblačno

Z grafu lze vyčíst, že s novými daty se pravděpodobnost značně mění, ovšem tyto výsledky nemusí reflektovat realitu, jelikož v zimě je zatažená obloha pořád. Což nás přivedlo k přehodnocení dat, která využíváme a zvolení lepší techniky.

Z ČHMÚ jsme si vzali data ze stanice Praha, Karlov o denním úhrnu doby trvání slunečního svitu v Praze. Tyto hodnoty jsme porovnali s průměrnou délkou dne v tyto roční doby a výsledky použili jako podklad pro regulaci důležitosti oblačnosti. Tento přístup nám umožnil mnohem přesnější zpracování pravděpodobnosti vzhledem k typickému charakteru temné zimní oblohy, což je zobrazeno na obrázku 2. Tečkovaná čára značí pravděpodobnost bez kontextu. Šrafovaná čára značí náš první výsledek. Plná čára v tomto grafu označuje nejpřesnější výsledek.



Obrázek 2. Graf pravděpodobnosti deště za podmínky, že je oblačno

Tento graf je přesnější v zobrazení reality, neboť zahrnuje více faktorů, což ho dělá přesnějším.

3 Shrnutí

Jak jsme prokázali, tak Bayesův vzorec lze aplikovat na meteorologické jevy a získat lepší výsledky, než bychom získali bez jeho použití. Avšak je třeba do vzorce doplňovat co nejpřesnější údaje a vzít v úvahu všechny kontext. Také jsme ukázali důležitost zahrnutí, co nejvíce dat.

Poděkování

Toto poděkování bychom chtěli věnovat Mgr. Maksymu Drevalovi za jeho snahu a trpělivost učit nás základy kombinatoriky a pomoc s tímto projektem. Dále děkujeme celému týmu pořadatelů Týdnu vědy na Jaderce za možnost zúčastnit se.

Reference

- [1] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Bayesova věta. Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bayesova_v%C4%9Bta
- [2] Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Denní data : Denní data dle z. 123/1998 Sb. Portál ČHMÚ [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2023 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>
- [3] Meteorologická stanice Košíky - Počasí Košíky. Meteorologická stanice Košíky [online]. Košíky [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <http://www.pocasi-kosiky.cz/>
- [4] Bayesova věta - Elements of AI. Elements of AI [online]. Helsinky, 2022 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://course.elementsofai.com/cs/3/2>

Zjišťování složení mince pomocí NAA

R. Petit*, K. Hermannová**

Gymnázium Prachatice*

Gymnázium Josefa Božka, Český Těšín**

hermannova.katerina@gmct.cz**

Abstrakt:

Rentgen-fluorescenční analýzou (XRF) jsme zjistili prvkové složení staré mince – Cu, Au. Metodou neutronové aktivační analýzy (NAA) jsme upřesnili izotop zlata nacházející se v minci využitím školního reaktoru VR-1 a následné analýze v polovodičovém detektoru HPGe.

1 Úvod

XRF je založena na interakci RTG fotonů s elektronovým obalem atomů ve zkoumaném vzorku a detekujeme charakteristické RTG záření chemických prvků v studovaném materiálu. NAA je založena na aktivaci stabilních jader atomů pomocí neutronů. Neutrony jsou absorbovány jádrem atomů ve zkoumaném vzorku a poté se uskuteční jaderná reakce. Typů jaderné reakce může být několik (např. (n,γ) , (n,α) , (n,p) atd.) a závisí na vlastnostech neutronového pole. Nově vzniklé jádro nemusí být stabilní a obvykle při rozpadu vyzařuje charakteristické γ záření, které detekujeme. Cílem je zjištění složení mince detekováním γ záření a metodou XRF.

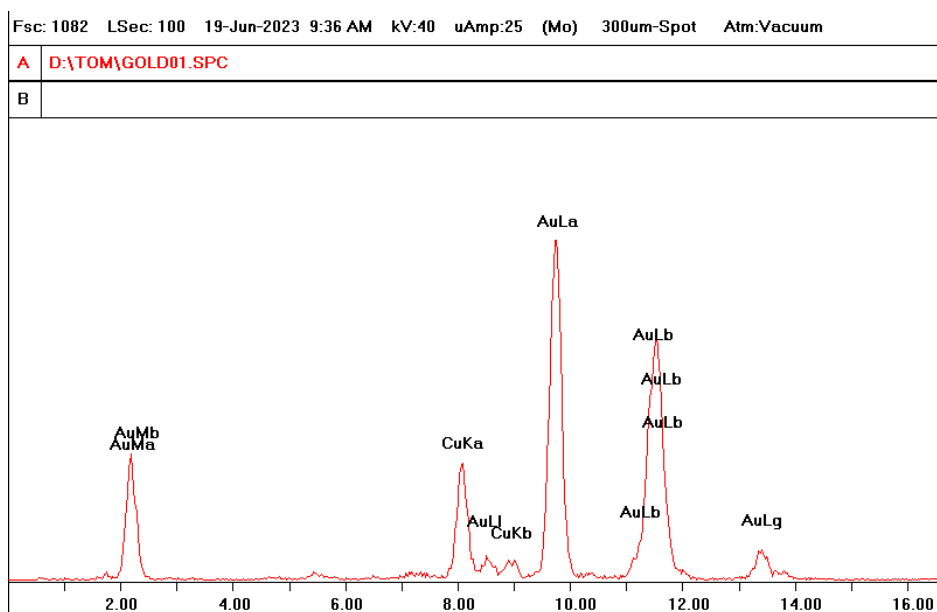
2 Vlastní měření

XRF

K měření jsme si vybrali starou tureckou minci „Kurush“ z roku 1923.



Nejprve jsme minci podrobili rentgenově-fluorescenční analýze na spektrometru EAGLE III μ -Probe, protože po metodě NAA by byla radioaktivní.

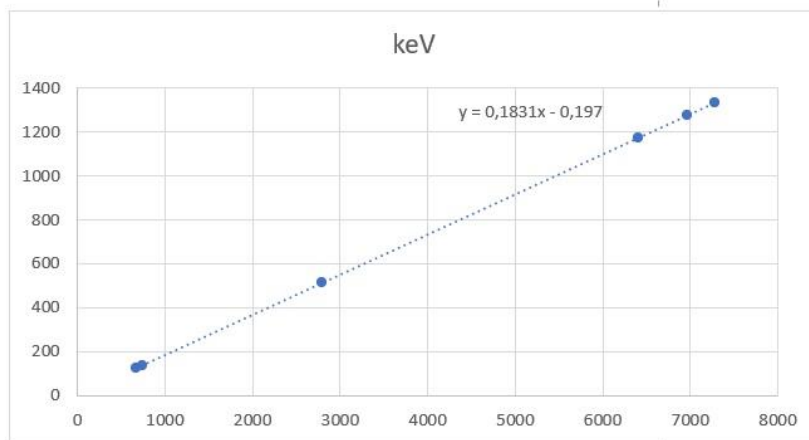


Graf ukazuje výskyt zlata a mědi v minci.

NAA

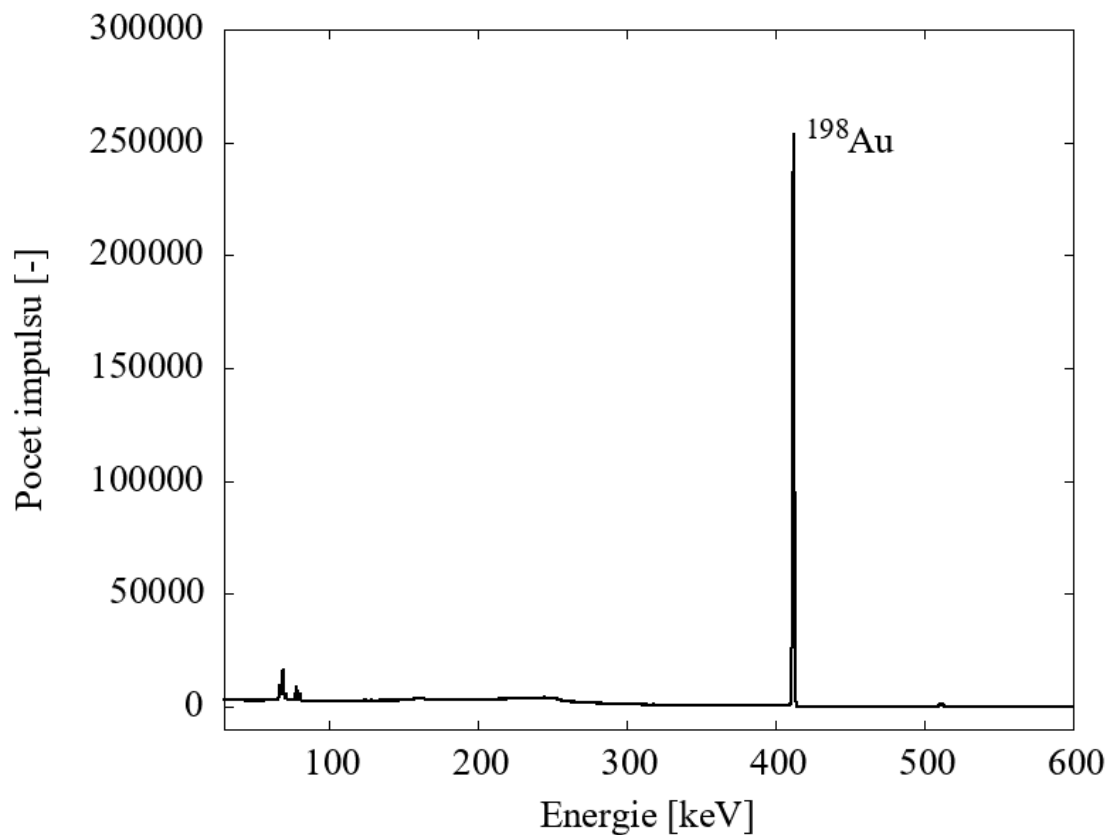
Nejdříve jsme provedli energetickou kalibraci HPGe detektoru pomocí izotopů ^{22}Na , ^{57}Co , ^{60}Co .

Channel	keV
668	122,06065
747	136,473
2790	511
6961	1274,537
6408	1173,228
7278	1332,492
4561	834,9221



S funkcí $y = 0,1831x - 0,197$ se vypočítá energie charakteristického γ záření tak, že za x dosadíme hodnotu kanálu analyzátoru prostředku peaku, který chceme identifikovat a dostaneme energii charakteristického γ záření. Výsledek využijeme k vyhledávání v databázi izotopů.

Minci jsme umístili do školního reaktoru VR-1 a ozařovali jsme ji na výkonu $1E7$ po dobu 20 minut. Po vyjmutí mince z reaktoru jsme měřili γ spektrum pomocí polovodičového HPGe detektoru.



V spektru uvedeném na obrázku, jsme viděli jeden výrazný peak s energií 412,03 keV. Energii jsme porovnali s databází izotopů a identifikovali jsme neznámý izotop, kterým byl ^{198}Au .

Během ozařování proběhla reakce $^{197}\text{Au} (n, \gamma) ^{198}\text{Au}$ a teda pozorujeme γ záření typické pro izotop ^{198}Au (polčas přeměny 2,6941 dní, $E_\gamma = 411.80205 \text{ keV}$).

3 Shrnutí

Stanovení složení historických mincí má význam z hlediska numizmatiky. Prvkové složení poskytuje informace o politických, sociálních a ekonomických kontextech v daných regionech v dané době. Pomocí XRF jsme zjistili, že mince obsahuje Cu a Au. Pomocí NAA jsme v spektru identifikovali jenom izotop ^{198}Au , který byl vytvořen jadernou reakcí

$^{197}\text{Au} (n, \gamma) ^{198}\text{Au}$. Gamma záření charakteristické pro izotopy Cu jsme v γ spektru nebyli schopní pozorovat.

Poděkování

Závěrem děkujeme vedoucímu miniprojektu Ing. Martinu Cesnekovi, PhD. za seznámení s NAA a navedení při plnění miniprojektu. Dále děkujeme Bc. Lindě Keltnerové za odborné představení reaktoru VR-1. Naše díky patří i všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce a ČVUT.

Reference

- [1] R. ŘEZNÍČEK, A. WODECKI *Neutronová aktivační analýza (sborník příspěvků 2005)* FJFI ČVUT, 2005 Str. 153-156
- [2] M. STEFANIK, L. SKLENKA, O. HUML, J. RATAJ *Activation analysis of tibetan coins and thermal neutron flux measurement at the VR-1 training reactor (magazín Elsevier)* ČVUT, 2018 Str. 1
- [3] M. O. Pereira, V. de S. Felix, P. de J. M. Aranha, P. C. S. Heringer, R. P. Freitas: Analysis of gold coins of the XIX century by portable XRF, 2017 *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2017*, 22-27

Jak nám heuristiky usnadňují řešení problémů?

Y. Herashchanka¹, J. Lezna², and M. Richter³

¹yherashchanka@gmail.com, Gymnázium Turnov

²josef.lezna@gymzn.cz, Gymnázium doktora Karla Polesného Znojmo

³2018-richter-matous@gymtan.cz, Gymnázium Tanvald

Abstrakt

V tomto článku budou představeny pojmy „stavový prostor“ a „inteligentní agent“. Následně bude čtenář seznámen s některými nejdůležitějšími vyhledávacími algoritmy pro stavový prostor. Bude definován pojem „heuristika“ a následně ukázáno, že algoritmy využívající heuristiky si povedou obecně nejlépe.

1 Teoretický základ

V rámci miniprojektu jsme se zabývali algoritmy pro řešení problémů ve stavovém prostoru.

Stavový prostor je formalizací určitého problému, nejčastěji realizovaný pomocí grafu; jeho vrcholy pak představují různé stavy, které v rámci řešení nebo časového vývoje problému mohou nastat; (orientované) hrany přechody mezi těmito stavy. Hranám je možno přiřazovat parametry, jako například „cenu“ daného přechodu (hranové ohodnocení).

V takovémto stavovém prostoru uvažujeme entitu zvanou inteligentní agent, jejíž akce způsobují přechody mezi stavy. Pro naše potřeby takovýto popis postačí. V informatické praxi i teorii se pojem rozšiřuje mimo stavové prostory a často se jedná o umělou inteligenci v reálném i simulovaném prostředí.

Pro porozumění dalšího textu je důležitá znalost pojmu „heuristika“. V kontextu informatiky jde o metodu, jak *rychle* najít *přibližně* nejlepší řešení (v kontrastu s globálně optimálním řešením, jehož nalezení si může vyžádat čas nad rámec lidských možností). V případě našich vyhledávacích algoritmů spočívá heuristika v nějaké metodě odhadu, který další krok povede k nejlevnější cestě (a který by tedy bylo nejlépe zahrnout v dalších úvahách); tedy vlastně v hodnocení nabízejících se možností.

Vlastnosti jednotlivých algoritmů jsme porovnávali ve stavovém prostoru vytvořeném abstrakcí myšlené mapy pseudoskutečného terénu. Podrobněji v sekci 3.

2 Způsoby řešení

Nejprve uvedeme obecný algoritmus pro prohledávání grafů [1]. Uvažujme graf G s vrcholy V , které rozdělíme do tří disjunktních podmnožin E (již prozkoumané), F (hraniční) a U (ještě nikdy nenavštívené). Označme s výchozí a t koncový vrchol.

Listing 1: Grafové prohledávání

```

E = set() # množina prozkoumaných vrcholů je prázdná
F = {s}   # v hranici leží pouze výchozí vrchol
while(True)
    if(!F) : return None #nema řešení
    v=vyberZHranice(F)
    if(v==t): return vytvorReseni(v) #nasli jsme cestu
    E=E.add(v) #vrchol je přidán k prozkoumaným
    #doplň sousedy v do hranice, označ u nich,
    #že jsme do nich vstoupili z v a spočítá pro ně cenu
    F=aktualizujHranici(F,v)

```

Ve skutečnosti se jedná o celou rodinu algoritmů, konkrétní algoritmy odvodíme definováním funkce pro výběr z hranice. Níže uvádíme několi možností výběrové funkce.

1. UCS hledá z každého bodu nejkratší cestu do dalšího bodu. Má vysokou paměťovou složitost, protože si ukládá všechny cesty, které neskončily ve slepé uličce.

2. Breadth First Search (prohledávání do šířky)

Staový prostor prohledává ve „vlnách“ – za přítomnosti více neprozkoumaných cest se vydá všemi, přičemž si je ukládá. Stačí však mít jen jedno počítadlo kroků. Jakmile nějaká z cest dojde do cíle, je jisté, že se jedná o nejkratší cestu, protože všechny kroky probíhaly paralelně.

3. Greedy Best First Search (hladový algoritmus)

Algoritmus vyhodnocuje vzdálenost do cíle a vždy si vybírá cestu, která nás nejvíce přiblíží k cíli, nebere ohledy na náklady cesty.

4. Depth First Search (prohledávání do hloubky)

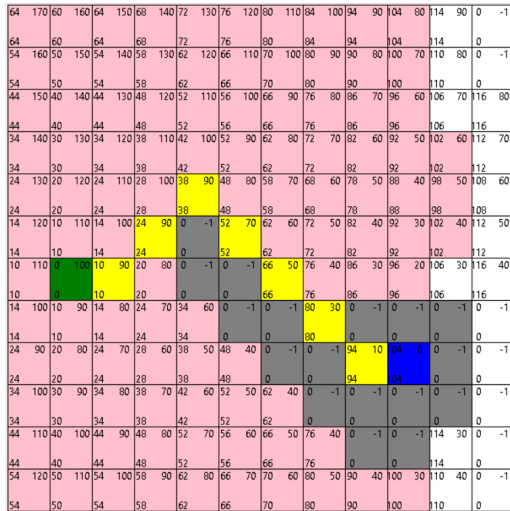
Vybere si jednu cestu dle nějakého pravidla (třeba pravé ruky) a následuje ji. Pokud skončí ve slepé uličce, vrátí se na poslední křižovatku a prohledává dál. Skončí v cíli a vrátí jedinou uloženou cestu.

5. Algoritmus A* (čti [Éj Stár])

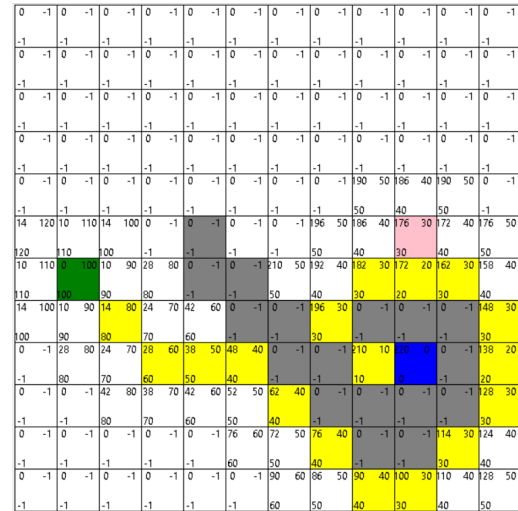
Jedná se o kombinace GBFS a UCS – vybírá si nejlevnější cestu, která nás v nějakém smyslu nejvíce přiblíží do cíle. Zavádí funkci f – hodnota políčka; $f = g + h$, kde g je cena cesty, h je odhad vzdálenosti do cíle neboli *heuristika*. Podotkněme, že pokud heuristika nepřekročí skutečné náklady, nalezne A* algoritmus optimální řešení.

3 Výsledky experimentu

Pro zjednodušení zadání jsme mapu diskretizovali (rozdělili na čtverečky). Diagonální pohyb by měl normálně mít délku $\sqrt{2}$. Počítače však dokážou daleko rychleji pracovat v celočíselné aritmetice, takže přímou cestu nastavíme na 10, diagonální na 14. Pro odhad vzdálenosti mezi body použijeme manhattanskou vzdálenost, která je definována jako součet absolutní hodnoty rozdílu X-ových souřadnic bodů a absolutní hodnoty rozdílu Y-ových souřadnic bodů.



(a) Do šířky

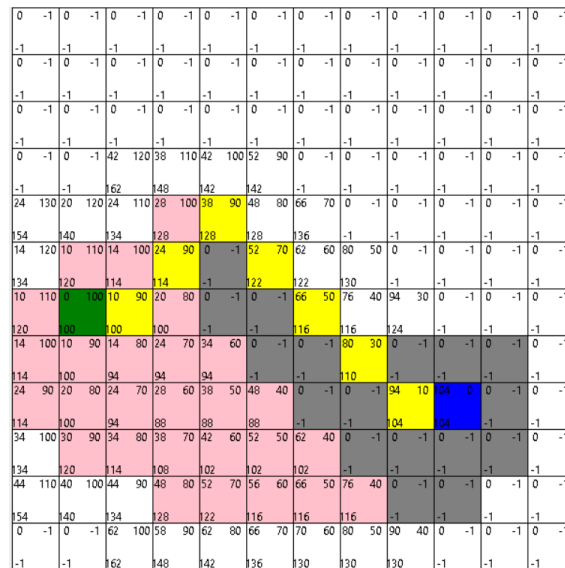


(b) Hladový algoritmus

Obrázek 1: Porovnání prohledávání do šířky a hladovým algoritmem

Pro testy jsme napsali skript v Pythonu, ve kterém jsme porovnávali chování jednotlivých výběrových funkcí.

Na obrázku 1a můžeme vidět, že BFS prošel většinu mapy, než našel cestu do cíle. Nalezená cesta je však nejlepší možná.



Obrázek 2: Výsledek prohledávání algoritmem A*

GBFS (viz obrázek 1b) prošel jen malý kus mapy, vhodně navržená překážka však ukazuje jeho nedokonalost, jelikož nejbližše se v daném okamžiku k cíli dostane u okraje „spirály“, proto ji také celou obejde a nejlepší cestu nenajde.

A* na obrázku 2 prošel také značný kus mapy, avšak daleko menší než BFS a našel nejlepší cestu, protože hledal kompromis mezi délkou trasy a vzdáleností od cíle.

4 Diskuse

4.1 Rozdílnost terénu a nepřátelé

Ve většině her nejsou pouze terény typu „sem nemůžeš“, ale dosti často jsou zde terény „můžeš sem, ale budeš se pohybovat pomaleji, či rychleji“, např. jít do kopce, z kopce, v bažině, na ledě atd. Pro agenta se zde budou lišit hodnoty funkce g , která určuje kolik stojí přesun na další bod. Např. cesta povede do kopce a hodnota přesunu bude větší, nebo z kopce a g bude nižší. Agent se snaží najít nejrychlejší cestu, takže když mu v cestě k cíli nestojí neprostupná překážka ale hora, tak se musí rozhodnout, zda je výhodnější jít přes tuto horu, či ji obejít. S tímto nám velmi pomáhají heuristiky. Bez nich by se agent automaticky rozhodl na prostupnou překážku nejít, protože má větší hodnotu g , ale nějakým způsobem ji obejít, ačkoliv výhodnější cesta by byla rovnou přes ni. Podobným způsobem by bylo možné vypořádat se s nepřátelskými jednotkami. V podstatě se chovají jako pohyblivé překážky a bylo by možné je zahrnout do heuristiky (penalizovat pozice v blízkosti nepřátel).

Obecně se ale dá říci, že algoritmus, který využívá heuristiky je v překonávání překonatelných překážek efektivnější než ten bez nich.

5 Závěr

A jak nám tedy heuristiky usnadňují řešení problémů? Heuristiky nám zužují výběr možností na ty, které mají největší šanci vést k cíli (když jedeme z Prahy do Brna nemusíme brát v úvahu možnost cesty přes Liberec). To nám může řádově zrychlit proces hledání řešení určitého problému. Algoritmus A^* je obecně mnohem efektivnější než ostatní algoritmy.

Poděkování

Děkuji jménem nás tří Vojtěchu Svobodovi za to, že pořádá Týden vědy na Jaderce, díky kterému jsme se mohli seznámit s tímto tématem. Také chceme poděkovat Vladimíru Jarému za vedení našeho miniprojektu a za pomoc s prací na sborníkovém příspěvku a na prezentaci.

Reference

- [1] S. Russel; P. Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 2. vyd. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2003. ISBN 0-13-790395-2.
- [2] M. TUREČEK. *Demonstrace metod prohledávání stavového prostoru*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce František Zbořil.
- [3] N. Swift *Easy A^* (star) Pathfinding*. [online] 2017 [cit. 20. 6. 2023]. Dostupné z <https://medium.com/@nicholas.w.swift/easy-a-star-pathfinding-7e6689c7f7b2>

Vizualizace čísel

V. Bartáková¹, J. Králová², V. Skalský³

¹ Slovanské gymnázium Olomouc

² SPŠ Třebíč

³ Wichterlovo gymnázium Ostrava

bartakova.verca@seznam.cz

Abstrakt

V rámci práce na miniprojektu *Vizualizace čísel* jsme zkoumali možnosti zapsání reálných čísel do grafické podoby. Na základě teorie čísel jsme v softwaru *Wolfram Mathematica* vytvořili programy, které převáděly čísla do různých forem. Na závěr jsme porovnali jednotlivé varianty a zamysleli se nad jejich silnými i slabými stránkami.

1 Úvod

Každý den vidáme čísla zapsána pomocí arabských číslic. Existují ale i jiné možnosti jejich zápisu. V rámci miniprojektu jsme se rozhodli převést některá reálná čísla do grafické podoby na základě vhodně vybraných způsobu zobrazení. Povede se nám zrealizovat naprosto unikátní nápady a umožnit vznik nové éry čísel?

2 Od čísel k obrázkům

Celý miniprojekt jsme prováděli v programu *Wolfram Mathematica*. Jedná se o software umožňující zjednodušené programování. Využili jsme hlavně jeho možnosti kreslení obrázků pomocí balíčku příkazů *Graphics*. Čísla jsme vizualizovali pomocí několika metod. U většiny z nich jsme využili tzv. želvičkovou grafiku.

2.1 Želvičková grafika

Jedná se o jednoduchý způsob zakreslení obrázků jedním tahem. Pomyslná pohybující se želvička za sebou kreslí cestu, čímž vzniká výsledný obrazec. Můžeme měnit délku kroku želvičky a úhel, o který se pootočí. Pro zjednodušení jsme se rozhodli ponechat délku kroku konstantní a docházelo pouze ke změnám úhlů mezi jednotlivými tahy. U každé z použitých metod se úhly měnily jiným způsobem. Díky tomu je možné získat několik odlišných obrázků pro každé číslo.

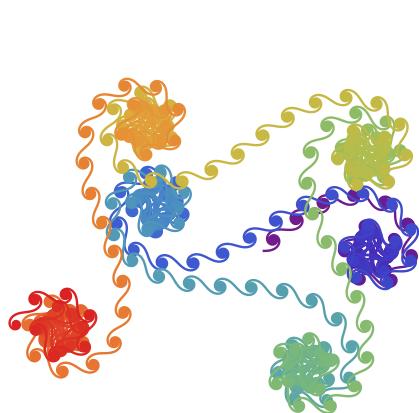
3 Různé způsoby vizualizace

Při projektu jsme čísla vizualizovali čtyřmi různými způsoby. Každý z nich je unikátní a vytváří jiný celkový dojem. Zatímco některé z metod skvěle ukazují iracionalitu čísel,

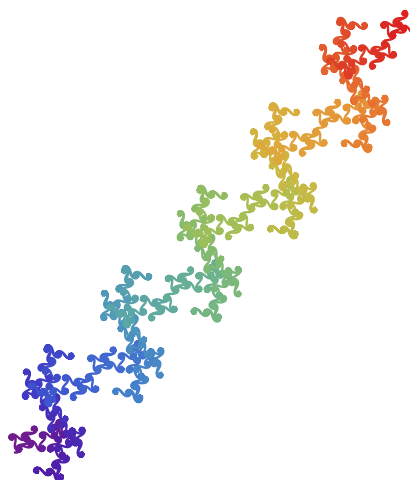
jiné se více hodí pro čísla racionální. Rádi bychom upozornili, že žádný z názvů použitých v tomto článku není oficiálním jménem. Jedná se pouze o pracovní názvy vytvořené autory miniprojektu pro jednoznačné rozlišení metod.

3.1 Eulerovy spirály

Při tvorbě Eulerových spirál se úhel, o který se želvička otočila, získával jako n -násobek zadaného úhlu, přičemž n je přirozené číslo, které se při každém kroku zvětší o 1. Jestliže jsme vybrali jako úhel číslo dělitelé 360 beze zbytku, vzniklé spirály se točily kolem jednoho středu. Zajímavé věci se začaly dít ve chvíli, kdy jsme zvolili jako úhel číslo 360 nedělitelé, např.: $\sqrt[23]{6}$ nebo $\sqrt{2}$ (viz Obr. 1 a 2). V tu chvíli jsme pozorovali zdánlivě náhodný vývoj spirál. Následně jsme pro lepší viditelnost spirály zbarvili tak, aby pozdější kroky měly na duze barvu s nižší vlnovou délkou.



Obrázek 1: Spirály s úhlem $\sqrt[23]{6}$



Obrázek 2: Spirály s úhlem $\sqrt{2}$

3.2 Semaforová abeceda

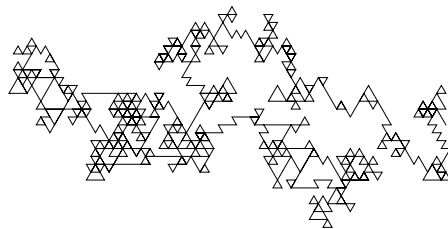
Pro tuto metodu potřebujeme zvolit dvě čísla n , k . Číslo n určuje číselnou soustavu, ve které pracujeme, nejvýhodnější je tedy zvolit přirozené číslo. Číslo k by mělo být číslo s neukončeným desetinným rozvojem, nejlépe pak číslo iracionální. Vycházíme z jednoduché úvahy – imaginární kružnici (resp. úhel 360°) rozdělíme na n pravidelných úseků. Následně vezmeme číslo k zapsané v zadané soustavě, postupně procházíme jeho jednotlivé číslice a želvička se při kreslení každé čáry pootočí o takový úhel, který svírá daná číslice v imaginární kružnici s nulou. Pro iracionální čísla díky tomu vznikne neukončená lomená čára (viz Obr. 3 a 4), pro racionální čísla získáme tvar připomínající mandalu.

3.3 Substitute

V této metodě jsem si zvolili několik pomocných neznámých – v našem případě x , y – a určili si jednoduchý substituční systém, kterým jsme za ně dosazovali, např. $x = y + x + y$, $y = x - y - x$. V substitucích mezi neznámými figurovala i znaménka, která představovala směr posunu o zvolený úhel, ten nakonec želvičce ukazoval cestu. Substitute probíhala

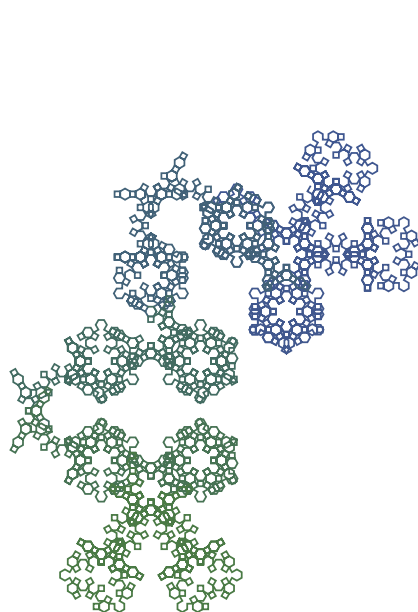


Obrázek 3: π v desítkové soustavě

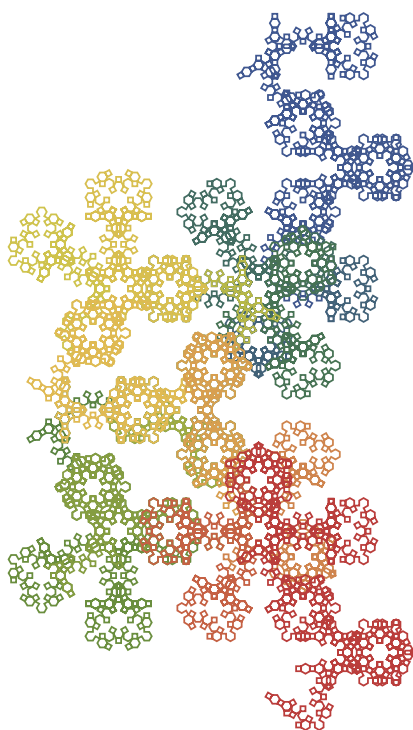


Obrázek 4: π v trojkové soustavě

od počátečního řetězce x , přičemž jsme si předem zvolili, kolik iterací substituce má proběhnout. Na příklad substituce se můžete podívat na Obr. 5 a 6.



Obrázek 5: 8. iterace substituce
s úhly 60° , 90°

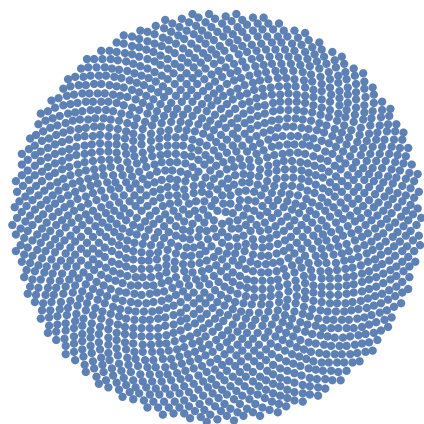


Obrázek 6: 9. iterace substituce
s úhly 60° , 90°

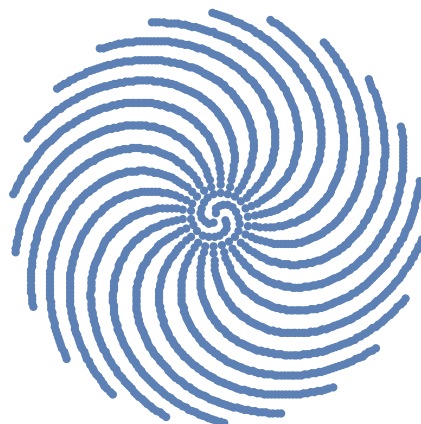
3.4 Květinový vzor

Tento způsob zobrazení je jedinou námi použitou metodou, v níž se neuplatňuje želvičková grafika. Zvolíme číslo k , které dosazujeme do vztahu $\frac{2\pi}{k}$, kde 2π udává jedno otočení o 360° . Při každém pootočení o $\frac{2\pi}{k}$ vzniká jedna tečka – okvětní lístek. Každý další lístek se od počátku stále více oddaluje. Kromě čísla k jsme zvolili i celkový počet teček. Na počtu teček je závislá pouze velikost finálního obrazce. Z tohoto vyplývají vlastnosti některých „květin“. Zvolíme-li racionální číslo, vzniknou nám okolo středu jednotlivé pruhy teček. U iracionálních čísel dochází k porušení pravidelnosti a výhodnějšímu zaplnění prostoru. K nejlepším výsledkům dochází při použití tzv. zlatého řezu $\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)$ – dalo by se tedy

říct, že zlatý řez je nejvíce iracionálním číslem. Velice zajímavý je rozdíl květinových vzorů pro π a právě zlatý řez (viz Obr. 7 a Obr. 8).



Obrázek 7: Květinový vzor pro zlatý řez



Obrázek 8: Květinový vzor pro π

4 Shrnutí

V rámci miniprojektu se nám povedlo přivést na svět několik různých čísel v nové, nikdy nevidané podobě. Ať už spirály, klikiháky, navazující mnohoúhelníky či květiny, pokořili jsme každou výzvu revizualizace čísel a vyšli na druhé straně s novým chápáním konceptu čísel jako takových.

Poděkování

Děkujeme Ing. Lukáši Heribanovi za odborné vedení a celému týmu Týdne vědy za příležitost vyzkoušet si vědeckou práci.

Reference

- [1] A. Drápal. *Teorie čísel* [online]. [cit.2023-20-06]
http://www.karlin.mff.cuni.cz/drapal/teorie_cisel.pdf.
- [2] WolframAlpha. *AnglePath* [online]. [cit.2023-20-06]
<https://reference.wolfram.com/language/ref/AnglePath.html>
- [3] M. Henderson. *The Plotting of Beautiful Curves* [online]. [cit.2023-20-06]
<https://www.youtube.com/watch?v=kMBj2fp52tA>

Kde se berou radionuklidy?

K. Dostálová*, P. Zatočil**, P. Kozák***

Gymnázium Broumov*; Gymnázium Matyáše Lercha, Brno**;
Gymnázium Písek***

klara.dost@seznam.cz*; xzatocil@gml.cz**;
kozakpetr123@seznam.cz***

Abstrakt:

Tento článek se zabývá problematikou radionuklidů, jejich přípravou a vlastnostmi. Pozornost je soustředěna na přirozené radionuklidy ^{40}K ^{222}Rn a jejich přítomnost ve vybraných vzorcích. Dále pak na vznik umělých radionuklidů $^{137\text{m}}\text{Ba}$ v radionuklidovém generátoru a $^{116\text{m}}\text{In}$ neutronovou aktivací.

1 Úvod

Radionuklidy jsou nuklidy, které podléhají jaderné přeměně. Radionuklidy se dělí na přirozené a uměle vytvořené. Přirozené radionuklidy mohou být primordiální, nebo vznikat jejich přeměnou, dále mohou být kosmogenní, tj. vznikají působením kosmického záření. Umělé jsou produktem činnosti člověka. Principem jejich výroby je jaderná reakce, např. zachyt neutronů v jádře terčového prvku. Jednou z vhodných látek pro demonstraci neutronové aktivace je indium, z něhož vzniká $^{116\text{m}}\text{In}$ s poločasem rozpadu 54 minut. Další možností získávání umělých radionuklidů je radionuklidový generátor, který funguje na principu zachytu mateřského radionuklidu na vhodném nosiči. Dceřiný produkt je následně separován vhodnou metodou. Příkladem takového generátoru je cesium-baryový generátor, kde ^{137}Cs má poločas rozpadu 30 let a $^{137\text{m}}\text{Ba}$ s poločasem 2,5 minuty.

Cílem této práce bylo stanovení aktivity přirozených radionuklidů ve vybraných vzorcích a sledování principu při přípravě umělých radionuklidů.

2 Použité materiály a metodika

Použité materiály a chemikálie: KOH (pecky p.a., Penta), indiový plíšek, bílé fazole (celé, Campo Largo), smolinec, scintilační koktejl – Maxilight (Hidex, Finsko), KCl (čistý, Chemapol), NaCl (p.a., Penta), cesium-baryový generátor, Revigátor

Použité přístroje: analytické váhy (Denver Instrument), předvážky (Radwag), kapalinový scintilační spektrometr Triathler (Hidex), jednokanálový čítač se studnovým detektorem NaI:TI, jednokanálový čítač s plastovým scintilačním detektorem pro měření záření beta, spektrometrická trasa s HPGe detektorem, neutronový zdroj AmBe, Lucasovy komory, jednokanálový čítač s měničem Lucasových komor

Byly připraveny vzorky KCl o přesně známé hmotnosti a následně sjednocena jejich geometrie a změřeny třikrát po dobu 300 sekund. Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu v závislosti na hmotnosti vzorku.

Fazole o přesně dané hmotnosti byly v Marinelliho nádobě změřeny na HPGe detektoru po dobu tří hodin. Po změření bylo přisypáno známe množství KOH jako standardní přídavek, vzorek byl homogenizován a následně změřen podruhé. Z naměřených hodnot a z předem známých hodnot pozadí byla určena hodnota specifické aktivity ^{40}K .

Lucasovy komory byly evakovány a byly provedeny odběry vzduchu z Revigátoru a ze vzduchu nad smolincem. Po čtyřech hodinách byly vzorky změřeny po dobu 120 sekund. Jako pozadí byla změřena prázdná Lucasova komora po dobu 7200 sekund. Z naměřených hodnot a ze známé účinnosti měření (260 %) byla vypočtena objemová aktivita.

Deset mililitrů vody z Revigátoru bylo smícháno s deseti mililitry scintilačního koktejlu. Po čtyřech hodinách byl vzorek změřen na Triathleru po dobu 120 sekund. Jako vzorek pro pozadí byl připraven stejným způsobem z demivody a změřen po 7200 sekund. Z naměřených hodnot a ze známé účinnosti měření (280 %) byla vypočtena objemová aktivita.

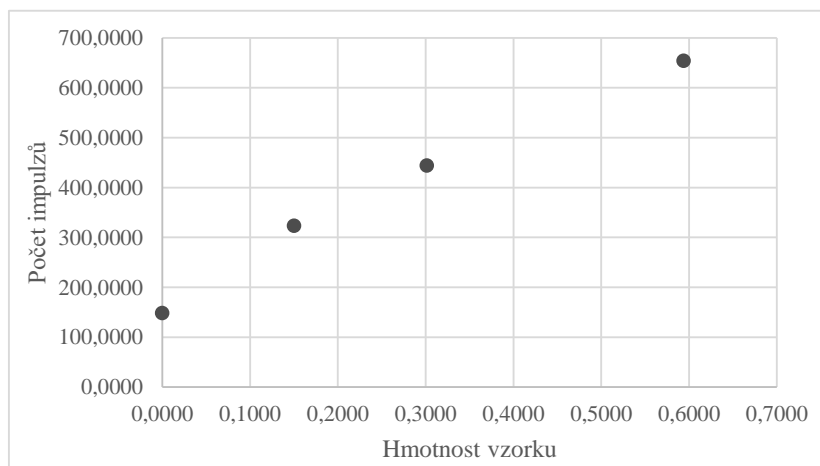
Cesium-baryový generátor byl promyt fyziologickým roztokem a vložen do studnového detektoru a byla sledována závislost naměřeného počtu impulzů na době od ukončení eluce.

Indiové plíšky byly ozařovány neutrony ze zdroje AmBe po definované době. Po ukončení ozařování bylo vyčkáno dvě minuty a poté byly změřeny na jednokanálovém čítači s plastovým detektorem třikrát po dobu šedesáti vteřin. Výsledky byly vyneseny do grafu v závislosti na době ozařování.

3 Výsledky a diskuze

Bylo provedeno několik měření aktivity draslíku za účelem zjištění faktorů ovlivňujících měření. Jedná se o geometrii měření a absorpce záření vzorkem samotným. Všechny tyto faktory je možné vyjádřit celkovou účinností měření.

Závislost počtu impulzů ^{40}K na hmotnosti chloridu draselného Graf 1 ukazuje nelineární závislost naměřeného počtu impulzů vzhledem k hmotnosti vzorku, která by dle teorie měla být lineární. Odchylka změřených dat od teoretických je dána samoabsorpcí ve vzorku, která bude s narůstající tloušťkou vzorku narůstat.



Graf 1: Závislost počtu impulzů vzorku na hmotnosti vzorku

Dalším vzorkem byly bílé fazole, které jsou známy pro svůj vysoký obsah draslíku, tudíž i přírodního izotopu ^{40}K . Aktivita ^{40}K byla stanovena na 0,70 Bq/g fazolí.

Následně byla změřena aktivita radonu ve třech vzorcích: ve vzduchu v Erlenmayerove baňce, kde byl uzavřen smolince; ve vzduchu z Revigátoru a ve vodě z Revigátoru. V porovnání s dlouhodobým průměrem aktivity radonu ve vzduchu v laboratoři (menší než 0,8 Bq/l) jsou naměřené hodnoty podstatně vyšší. To je způsobeno vyšší přítomností jeho mateřského radionuklidu (^{226}Ra) ve smolinci a ve stěnách Revigátoru. Výsledky jsou shrnuty v Tabulce 1.

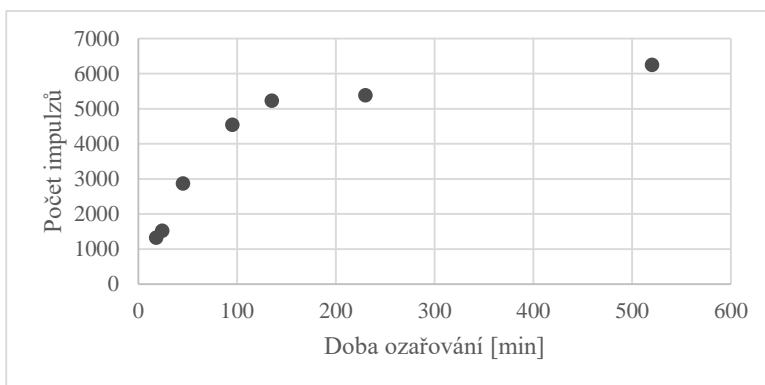
Tabulka 1: Specifická aktivita radonu v jednotlivých vzorcích

Vzorek	Specifická aktivita (Bq/l)
Vzduch nad smolincem	96,3
Vzduch z Revigátoru	75,8
Voda z Revigátoru	714,4

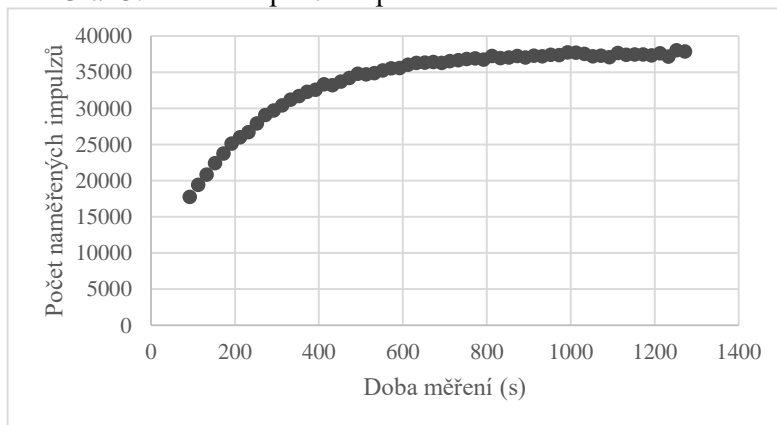
Principy přípravy umělých radionuklidů byly ověřeny na aktivaci indiových plíšků (Graf 2) a na měření aktivity radionuklidu vznikajícího v cesium-baryovém generátoru (Graf 3). Obě křivky mají stejnou tendenci, protože obě se řídí stejnými fyzikálními zákony:

$$A = A_{\infty}(1 - e^{-\lambda t}) + A_0 e^{-\lambda t}$$

Zhruba po 10 poločasech rozpadu jsou dosaženy aktivity vznikajícího radionuklidu srovnatelné se saturační aktivitou. Nemá tedy praktický význam déle čekat na další navyšování aktivity.



Graf 3: Závislost počtu impulzů na době ozařování india



Graf 2: Závislost počtu naměřených impulzů $^{137\text{m}}\text{Ba}$ na době od eluce

4 Shrnutí

Byla stanovena aktivita ^{40}K ve fazolích na 0,70 Bq/g a ^{222}Rn ve vzduchu nad smolincem na 96,3 Bq/l, ve vzduchu v Revigátoru na 75,8 a ve vodě z Revigátoru na 714,4 Bq/l. Také byl sledován nárůst aktivity v čase při ozařování india a po eluci z cesium-baryového generátoru.

Poděkování

Na závěr bychom rádi poděkovali organizátorům Týdne vědy na Jaderce, díky kterým se tato akce mohla uskutečnit, a také vedoucí našeho miniprojektu Ing. Miroslavě Semelové, Ph.D.

Reference

- [1] NĚMEC, Mojmír. *Praktikum z jaderné chemie a radiochemie I*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06688-1.
- [2] Primordial nuclide. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Primordial_nuclide

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze (dále jen FJFI) se řadí mezi nejnáročnější technické fakulty v ČR poskytující kvalitní vzdělání se 100 % uplatněním. Při výchově svých studentů těží z více než 60 let pedagogické i vědecké práce v oblasti matematiky, fyziky, jaderného, chemického i materiálového inženýrství a IT. Ačkoli je FJFI malou fakultou, mohou její studenti i zaměstnanci využívat celou řadu výhod, kterou poskytuje zázemí Českého vysokého učení technického v Praze.

Studenti jsou během studia zapojováni do vědeckých týmů a podílejí se na základním i aplikovaném výzkumu nebo na oborových expertízách pro partnery z komerční sféry. Během studia mohou vycestovat do zahraničí na krátkodobé stáže i studijní pobyty po celém světě. Ve vyšších ročnících zpravidla studenti získávají nabídky stáží nebo zkrácených úvazků v partnerských společnostech, kde po absolutoriu rozjíždějí svou další kariéru.

Mezi absolventy fakulty patří celá řada osobností, za všechny zmiňme například Dr. Danu Drábovou, předsedkyni Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, nebo zakladatele a majitele IT firmy Unicorn a miliardáře Ing. Vladimíra Kováře. Posledních několik let se pak absolventi fakulty objevují pravidelně také v žebříčku Forbes 30 pod 30, tedy 30 mimořádných žen a mužů pod 30 let.

Aktuálně fakulta nabízí zájemcům 12 programů a 11 specializací v bakalářském stupni.

- Aplikace informatiky v přírodních vědách
- Aplikovaná algebra a analýza
- Aplikovaná informatika
- Aplikované matematicko-stochastické metody
- Fyzikální inženýrství
 - specializace Inženýrství pevných látek
 - specializace Fyzikální inženýrství materiálů
 - specializace Laserová technika a fotonika
 - specializace Počítačová fyzika
 - specializace Fyzika plazmatu a termojaderné fúze
- Jaderná a částicová fyzika
- Jaderná chemie
- Jaderné inženýrství
 - specializace Aplikovaná fyzika ionizujícího záření
 - specializace Jaderné reaktory
 - specializace Radioaktivita v životním prostředí
- Kvantové technologie
- Matematické inženýrství
 - specializace Matematické modelování
 - specializace Matematická fyzika
 - specializace Matematická informatika
- Radiologická technika
- Vyřazování jaderných zařízení z provozu



AKCE PRO STŘEDOŠKOLÁKY

Den reaktorovým fyzikem

Vyzkoušej si vybrané experimenty na školním jaderném reaktoru VR-1!



Staň se na den vědkyní

Akce, kde se především dívky mohou věnovat částicové fyzice, kvantovým technologiím či matematickým problémům.



Den lékařským fyzikem

Prožij den jako radiologický fyzik v nemocnici!



International masterclasses

Prozkoumej reálná data z experimentů na urychlovači LHC v CERN (ALICE, ATLAS) nebo observatoře kosmického záření Pierre Auger



Týden vědy na Jaderce

Zažij během jednoho týdne skutečný výzkum na vlastní kůži!



Letní studentské soustředění TCN

Čtrnáct dní zábavy pro všechny, kdo mají hlavu plnou matematiky, fyziky, chemie nebo informatiky a chtějí poznat o prázdninách své budoucí spolužáky.



Přípravný kurz z matematiky a fyziky

Bezplatný kurz určený především maturantům. Ideální příprava nejen k přijímacím zkouškám na VŠ, ale i k maturitní zkoušce na SŠ.



Den otevřených dveří

Fakulta otevírá pravidelně svá pracoviště 2x za školní rok, v listopadu a v lednu. Na programu jsou exkurze, krátké odborné přednášky interaktivní expozice a přednáška o studiu.

Potěšilo mne ... z tvorby studentů letošního TV@J

