

HROMADNÝ OTEVŘENÝ ONLINE KURZ „VÝZNAM RADIOCHEMIE PRO NAŠI SPOLEČNOST“

ANU AIRAKSINEN^a, FRANCESCA CONCIA^b, SUDEEP DAS^a, PETR DISTLER^c, JAN JOHN^c, ELENA MACERATA^d, MARIO MARIANI^b, EROS MOSSINI^d, MADDALENA NEGRIN^d, MOJMÍR NĚMEC^c, VIVIEN POTTGIEBER^e, TEODORA RETEGAN^f, MARKO ŠTOK^g, MILADA TEPLÁ^h a CLEMENS WALTHER^e

^a Department of Chemistry, University of Helsinki, A.I. Virtasen aukio 1, 00560 Helsinki, Finland, ^b METID, Politecnico di Milano, Piazza L. da Vinci, 32, 20133 Milano, Italy, ^c Katedra jaderné chemie, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT, Břehová 7, 115 19 Praha 1, ^d Department of Energy, Politecnico di Milano, Piazza L. da Vinci 32, I-20133 Milano, Italy, ^e Institute of Radioecology and Radiation Protection, Leibniz Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, Gebäude 4113, 30419 Hannover, Germany, ^f Division of Nuclear Chemistry and Industrial Materials Recycling, Department of Chemistry and Chemical Engineering, Chalmers University of Technology, Kemigården 4, 412 96 Gothenburg, Sweden, ^g Department of Environmental Sciences, Jožef Stefan Institute, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana, Slovenia, ^h Katedra učitelství a didaktiky chemie, Přírodovědecká fakulta UK, Albertov 6, 128 00 Praha 2
petr.distler@fffi.cvut.cz

Došlo 13.2.23, přijato 14.9.23.

Hromadný otevřený online kurz „*Essential radiochemistry for society*“ představuje moderní formu vzdělávání. Díky poutavému designu, pestrému obsahu a interaktivnímu charakteru má potenciál oslovit různé zájmové skupiny. Tematicky je kurz rozdělen do pěti týdnů: Radiochemie a životní prostředí, zdraví, průmysl, jaderná energetika a společnost. Kromě radiochemie a jaderné chemie, které jsou základem kurzu, lze nalézt přímé vztahy k biologii, fyzice, ekologii nebo umění a kultuře. Kurz je ucelený, účastník může nastudovat jen vybrané kapitoly nebo celý kurz zcela samostatně. Pro pedagogy byla sestavena doporučení a tipy na efektivní využití kurzu ve výuce.

Klíčová slova: radiochemie, jaderná chemie, hromadný otevřený online kurz

1. Vzdělávání a potřeby trhu práce v oblasti jaderné chemie a radiochemie

Obory STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) se dlouhodobě potýkají s malým zájmem a zároveň i s vysokým počtem studentů, kteří studium předčasně ukončí¹. To úzce souvisí i se specializovanými jadernými obory, ve kterých je nedostatek odborných pracovníků, kteří by měli zajistit nejenom provoz jaderných elektráren, jejich následné vyřazení z provozu, vývoj nových typů reaktorů, nakládání s vyhořelým jaderným palivem, ale i odborníky pro neenergetické oblasti (např. nukleární medicína, radioekologie nebo archeologie)². Jednou z evropských iniciativ, která se snaží současnou situaci zlepšit, je série evropských projektů *Cooperation In Education and Training in Nuclear and RadioChemistry* (CINCH). Projekty se zaměřují na zlepšení vzdělávání v oblasti radiochemie a jaderné chemie včetně podchycení zájmu o tyto vědní obory již u středoškolských žáků a vytvoření moderních učebních materiálů a nástrojů pro studenty vysokých škol³.

V rámci projektu CINCH byl vytvořen a pilotován kurz MOOC (Massive Open Online Course, název bývá překládán do českého jazyka jako *hromadný otevřený online kurz*) nazvaný „*Essential radiochemistry for society*“ („*Význam radiochemie pro naši společnost*“) a nyní běží třetí ročník⁴. Připomeňme, že radiochemie je vědní disciplína, která využívá chemické poznatky a metody ke studiu radioaktivity a vlastností radioaktivních látek, stejně tak jako i radionuklidy při zkoumání vlastností chemických. Je součástí jaderné chemie, která je definována jako „*vědní obor, který se zabývá vlastnostmi hmoty a jevy chemické a fyzikálně-chemické povahy, jejichž původcem je nebo na nichž se podílí jádro atomu*“⁵.

2. Principy hromadného otevřeného online kurzu

MOOC kurzy patří k jedné z forem celoživotního vzdělávání. Na jednom místě poskytují kompletní informace o studované problematice, jsou dostupné z celého

světa, zpravidla zdarma (někdy bývá zpoplatněn certifikát o ukončení kurzu) a umožňují aktivní účast včetně diskuse na fóru s ostatními účastníky a tvůrci kurzu. Poslední ze zmíněných charakteristik, tedy vtažení do učebního procesu, by měla zvyšovat pravděpodobnost úspěšného ukončení kurzu⁶. Přesto úspěšnost dokončení MOOC kurzů bývá kolem 10 %. Mezi hlavní faktory, způsobující toto nízké číslo, patří:

- obtížnost kurzu (neměl by být ani lehký, ani těžký),
- nenaplnění očekávaného obsahu,
- jazyková bariéra (může způsobit neporozumění připraveným studijním materiálům),
- absence prezenčního kontaktu s vyučujícím.

Důležitým faktorem, který může mít zároveň motivační i demotivační charakter dle povahy účastníka, je, že si organizuje své učení – postup v jednotlivých týdnech a modulech – dle svých možností⁷. Každý kurz trvá zpravidla několik týdnů, v rámci kterých bývá často rozdělen na dílčí témata/části.

3. Struktura a obsah MOOC kurzu *Význam radiochemie pro naši společnost*

Proces tvorby MOOC začal analýzou cílové skupiny a jejich potřebami, výběrem témat, stanovením výukových cílů, určením osvojených znalostí a dovedností účastníků včetně kritérií splnění již zmíněných cílů. Poté následovala příprava podkladů, nahrávání videí a finalizace studijních materiálů. Každý z modulů připravili akademičtí pracovníci, řešící současné vědecké výzvy, grafici a pracovníci natáčecího studia a v neposlední řadě podpůrný pedagogický tým.

Tabulka I
Témata kurzu „*Význam radiochemie pro naši společnost*“

Týden 1	Radiochemie a životní prostředí
Přírodní radioaktivita	
Antropogenní radioaktivita	
Náprava životního prostředí kontaminovaného radionuklidy	
Týden 2	Radiochemie a zdraví
Nukleární medicína	
Sterilizace ionizujícím zářením	
Týden 3	Radiochemie a průmysl
Využití stopovačů v průmyslu	
Radiační technologie	
Týden 4	Radiochemie a jaderná energetika
Přepřarování vyhořelého jaderného paliva	
Nakládání s radioaktivním odpadem	
Vyřazování jaderných zařízení z provozu	
Týden 5	Radiochemie a společnost
Kulturní dědictví	
Jaderná forenzní analýza a nešíření jaderných zbraní	

3.1. Struktura MOOC kurzu *Význam radiochemie pro naši společnost*

MOOC „*Význam radiochemie pro naši společnost*“ je rozdělen do pěti týdnů, které mají jasně demonstrovat odvětví, jež se bez znalostí a využití radiochemie neobejdou, a dvanácti témat (tab. I). Celkem bylo vytvořeno 152 lekcí. Ty jsou založeny na 52 videích, 23 infografikách, 33 článcích, 34 průběžných kvízech, doplňujících odkazech na zajímavé stránky pro zájemce a závěrečných testech. Cílovou skupinou zmíněného kurzu MOOC jsou bakalářští studenti přírodních věd (chemie, fyzika, biologie), technických oborů nebo medicíny. Přesto může najít své využití i v posledních ročních středních škol nebo i při kurzech celoživotního vzdělávání. Cílem kurzu MOOC je zvýšení povědomí o využití radiochemie a jejím praktickém dopadu na náš každodenní život, probuzení zájmu o tento obor u žáků i studentů včetně následného studia na vysoké škole a snižování miskoncepce a strachu, které v souvislosti s daným oborem panují mezi veřejností³.

Pro všech 12 připravených témat je typická následující struktura: První část lekce je krátké animované video zobrazující situaci z běžného života, která na první pohled vůbec nemusí s radiochemií souviset. Druhá lekce je stejné video, akorát je okomentováno, kde a jak jsou radionuklidy, resp. radioaktivita přímo spojené s danou situací. V této části nejsou účastníkovi vysvětlována teoretická východiska nebo principy, cílem je pouze zdůraznit význam radiochemie v dané situaci a stimulovat pro samostudium dalších lekcí. Tato část nevyžaduje odborné znalosti, a proto může být pochopitelná a zajímavá i pro širší veřejnost.



Obr. 1. Ukázka tepelného řezání z lekce „Vyřazování jaderných zařízení z provozu“

Třetí lekce již přináší přehled celého modulu a vysvětluje první pojmy důležité pro pochopení připravených témat a konceptů. V rámci dalších lekcí jsou už systematicky definovány a na konkrétních příkladech představeny pojmy a principy. Vše je doplněno fotografiemi, obrázky (ukázka na obr. 1), schémata, tabulkami nebo grafy, sloužícími nejenom pro lepší vysvětlení pojmů, ale i zatraktivnění materiálů.

Pro účastníky jsou připraveny průběžné kvízy, při jejichž řešení si ověří pochopení představených témat, pojmů a principů, a získají okamžitou zpětnou vazbu o porozumění dané části. Pro zodpovězení otázky má účastník zpravidla více pokusů, aby se mohl sám znovu zamyslet nad správnou odpovědí a korigoval svou původní

odpověď. Otázky jsou stejné pro všechny účastníky a při špatné odpovědi se jejich znění nemění. Pro zájemce je navíc připravena stránka s odkazy na volně dostupné materiály, které ještě více prohloubí studovanou problematiku a znalosti v oblasti radiochemie. U dílčích otázek závěrečného testu se okamžitě zobrazí vyhodnocení odpovědi a v případě chybně vybraných možností má účastník šanci na opravu. Práce s chybou je zde vnímána jako přirozená část učení (se). Pro získání osvědčení o úspěšně zakončeném kurzu MOOC je třeba získat 60 % bodů ze závěrečných testů. Ukázka osvědčení je na obr. 2.

Všechny materiály jsou vytvořeny v anglickém jazyce. Jak je ukázáno na obr. 3, v případě videa je vždy mluvené slovo převedeno do psaného textu v pravém sloupci, což napomáhá pochopení a účastník si může v případě potřeby neznámé slovo vyhledat. V následujícím textu bude stručně představen obsah rozčleněný do pěti týdnů.

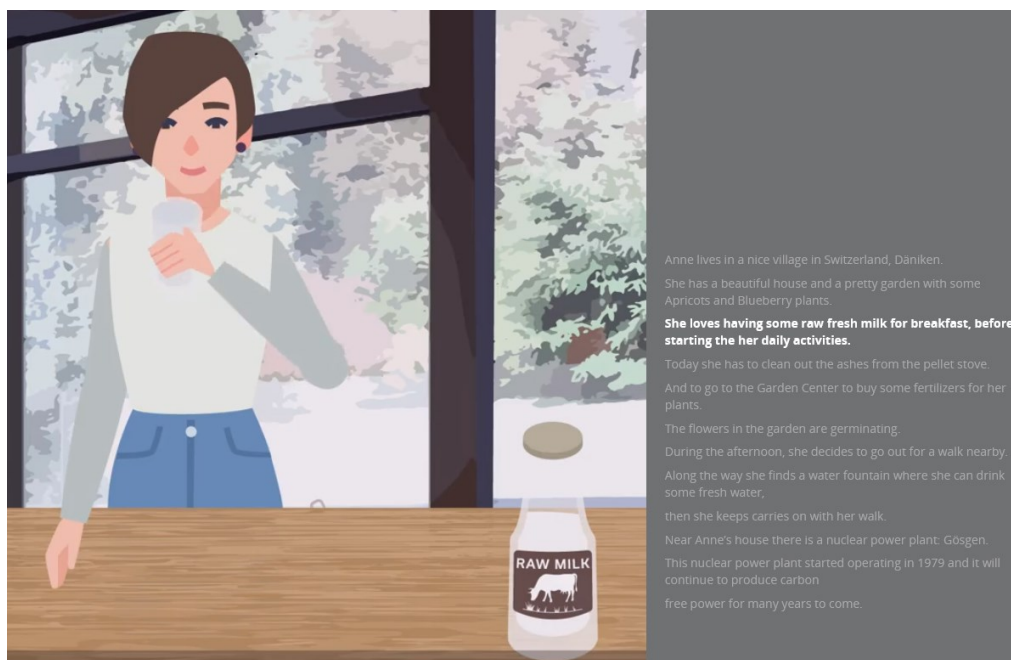
3.2. Obsah MOOC kurzu *Význam radiochemie pro naši společnost*

Radiochemie a životní prostředí

První týden připomene účastníkům stavbu atomu a jádra, seznámí ho s přirozenou radioaktivitou a definicemi základních pojmů (modul 1 je rozepsán později podrobněji). Stručně seznámí s jaderným palivem, principy radiochemických separačních metod a představí interakci ionizujícího záření s hmotou. Prostor je věnován i principu detekce ionizujícího záření. Zajímavé jsou i články o vztahu radioaktivity a těžby ropy a zemního plynu nebo výroby fosforečných hnojiv, nebo video



Obr. 2. Ukázka osvědčení po úspěšném zakončení kurzu MOOC



Obr. 3. Ukázka úvodního animovaného videa z lekce „Antropogenní radioaktivita“ včetně prepisu mluveného slova

o stanovení ^{90}Sr v mléce. Poslední část se zaměřuje na odstraňování radionuklidů ze životního prostředí, např. po radiačních haváriích v Černobylu nebo Fukušimě, po spalování uhlí v tepelných elektrárnách nebo po těžbě kovů v povrchových dolech.

Radiochemie a zdraví

Druhý týden se zaměřuje na benefity radiochemie pro lidské zdraví. Hlavní pozornost je věnována nukleární medicíně – při diagnostice (např. pozitronová emisní tomografie s využitím ^{18}F -fluorodeoxyglukosy, nebo využití $^{99\text{m}}\text{Tc}$) i terapii (např. ^{131}I), nebo jak funguje příjem a pobyt pacienta na klinice nukleární medicíny. Je vysvětleno, jaký typ záření se používá při diagnostice, jaký při terapii, způsob výroby využívaných radionuklidů na cyklotronech nebo v jaderných reaktorech, důležitost poločasu přeměny použitého radionuklidu a principy zobrazovacích metod. Druhá část je věnována využití ionizujícího záření při sterilizaci a jsou porovnány jeho výhody s chemickou a fyzikální sterilizací. Jedná se o využití při procesech jako např. ničení mikrobů, sterilizace chirurgických nástrojů nebo zlepšení kvality a trvanlivosti potravin.

Radiochemie a průmysl

Třetí týden je věnován méně známým, ale přesto důležitým aplikacím – např. jak využití radionuklidů může pomoci zvýšit úrodu v zemědělství, objasnit fungování buněk a tkání v našem těle, nebo mapovat pohyb polutantů v životním prostředí. Samostatnou kategorií je využití radionuklidů ve stopových množstvích v průmyslu při monitorování různých procesů, detekcích netěsností např.

u potrubí, nebo analýzy průtoků tekutin. Nechybí ani přehled nejdůležitějších radionuklidů, jejich příprava a využití v průmyslových aplikacích. Vhodné radionuklidy mohou být využity i ke sledování pohybu a akumulace těžkých kovů nebo organických látek ve vodách i živých organismech. Jako zajímavost je popsán záchyt kontaminantů z průmyslu nebo zemědělství v mořských organismech a následný potravní řetězec vedoucí až k produktům – potravinám, které konzumujeme.

Radiochemie a jaderná energetika

Znamější využití radiochemie v jaderné energetice je představeno ve čtvrtém týdnu. Začíná se od přírodních jaderných reaktorů v africkém Oklu, poté je probrán palivový cyklus, možnosti přepracování a ukládání vyhořelého jaderného paliva. Jsou představeny i různé typy reaktorů, paliva, princip fungování jaderné elektrárny a hlubinného úložiště radioaktivního odpadu. V neposlední řadě je účastník seznámen s principy vyřazování jaderných zařízení z provozu, protože se jedná o potřebné a aktuální téma. Ukázka z této části je na obr. 1 a rádi bychom zmínili, že před třemi lety byl otevřen i nový studijní obor „Vyřazování jaderných zařízení z provozu“ na ČVUT v Praze⁸.

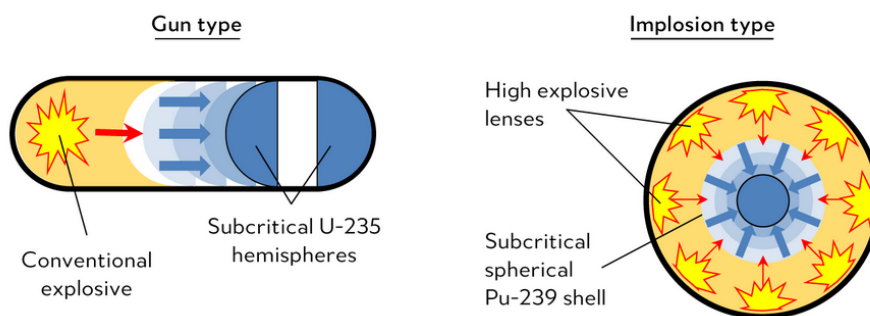
Radiochemie a společnost

V poslední části jsou uvedeny zajímavé příklady aplikace nedestruktivních technik radiochemie v archeologii (radiouhlíkové datování), v památkové péči (konzervace a restaurování) nebo umění obecně (ověřování pravosti děl, určení místa vzniku nebo použitých materiálů). V této

Design of atomic bombs

In order to ensure controlled release of energy, an atomic bomb must be designed in such a way that the nuclear chain reaction cannot begin before the intended ignition. To achieve criticality of initially sub-critical masses of U-235 or Pu-239, two different designs were developed: gun type and implosion type.

In the gun type, the nuclear chain reaction is started by shooting a subcritical hemisphere with a normal explosive onto another hemisphere to get a critical sphere. In the case of the implosion type, a subcritical spherical shell is compressed by explosive lenses to reach criticality.



Obr. 4. Ukázka části infografiky z lekce „Jaderná forenzní analýza a nešíření jaderných zbraní“

části jsou také popsány různé metody studia materiálů, založené např. na rentgenové fluorescenční spektrometrii nebo neutronové aktivační analýze. Závěrečná část představuje „jadernou detektivku“, neboli pátrání po příčinách přítomnosti radioaktivních látek (např. v životním prostředí, kam se mohly dostat z farmaceutického závodu, jaderné elektrárny nebo výzkumného zařízení) s využitím jaderných forenzních technik. Jak je ukázáno na obr. 4, součástí tohoto modulu jsou i jaderné zbraně, jejich vztah k těmto speciálním metodám včetně informací o dohodách o nešíření jaderných zbraní.

4. Vybrané závěry z pilotáže kurzu MOOC

Úvodní pilotáže kurzu se zúčastnilo přes 200 zájemců z 20 různých zemí. Z detailnější zpětné vazby byly vyhodnoceny získané znalosti (nejen formou testu, ale i subjektivních tvrzení „osvojil jsem si dostatečné znalosti, abych toto téma dokázal vysvětlit dalším lidem“, „rozumím hlavním tématům a obecným situacím s ním spojených“ nebo „znám pouze některá z hlavních témat“), byla detekována náročná témata a části (např. téma zpracované do podoby infografiky u obtížnějších témat, příliš hutné texty s přemírou odborné terminologie, nebo nedostatečně vysvětlené termíny), a v neposlední řadě byly zaznamenány četné kladné ohlasy (např. pestrost materiálů, kvalita videí, průběžné kvízy na ověření pochopení a aplikací znalostí). Po vyhodnocení získané zpětné vazby lze konstatovat, že navržený kurz je efektivní a uživatelsky zajímavý. Průměrná doba řešení celého kurzu studenty vysoké školy byla kolem 30 hodin.

5. Možnosti využití kurzu ve vzdělávání v prostředí české školy

Bez ohledu na typ školy či osobní zájem o absolvování celého kurzu nebo vybraných částí, doporučujeme zájemcům projít prvním modulem *Natural radioactivity* (Přirozená radioaktivita), kde je představena radiochemie, jádro atomu, druhy radioaktivních přeměn a jejich charakteristika, zákon radioaktivní přeměny a přeměnové řady, a další koncepty, které pomohou pochopit následující témata. V této kapitole je zmíněna i problematika radonu, která je v České republice velmi aktuální. Radon přispívá z 50 % k celkovému ozáření české populace, v rámci přírodních zdrojů ionizujícího záření vykazuje dokonce 70% podíl⁹.

V rámci středoškolské výuky byl kurz ověřen v průběhu prezenční výuky i v rámci samostudia v chemickém semináři s žáky 6. a 7. ročníku osmiletého gymnázia. Úvodní modul žákům trval přibližně dvě hodiny. Při využití kurzu MOOC žáci vyzdvihli zejména přehlednou orientaci v celém kurzu, pestré materiály, zajímavé odkazy a možnost zvětšování obrázků/grafů pro lepší prostudování a pochopení. Pokud se v průběhu studia objevil obtížný pojem, tak byl dle slov žáků brzy vysvětlen. Ocenili i průběžné kvízy poskytující průběžnou zpětnou vazbu. Jako náročnou složku označili, že někdy bylo až moc nových informací a pojmů. To může být vyřešeno rozdělením času práce na MOOC do více kratších intervalů, aby si žáci mohli pojmy lépe zafixovat, promyslet a pochopit. U některých videí bylo náročné porozumět mluvenému textu; tuto obtíž žáci řešili s využitím transkriptu a překladem/vyhledáním neznámých slov. Závě-

rem bychom doporučili vést žáky k psaní drobných poznámek během práce na MOOC. Ty žákům pomáhaly v lepší orientaci v tématu a vzhledu do prezentovaných zákonitostí.

Na vysoké škole doporučujeme využít kurz při kombinovaném vzdělávání, tedy v rámci samostudia zadat studentům k nastudování konkrétní téma(ta), která budou následně během prezenční výuky společně diskutována nebo budou studenti řešit problémové úlohy založené na osvojených znalostech z kurzu MOOC (model převrácené třídy, flipped classroom). Tento model byl úspěšně ověřen na vybraných lekcích s bakalářskými studenty 1. ročníku oboru jaderná chemie v předmětu Obecná chemie. Druhou možností je osvojení problematiky (např. vybrané radioanalytické metody) před vstupem do radiochemického praktika. Před započítáním laboratorní práce pak mohou být studenty prozkoušeni z porozumění tématu a principů (blended-learning, termín se do češtiny zpravidla nepřekládá). Tento způsob šetří čas, finance i odborné kapacity pedagogů, kteří nemusí teoretická východiska vysvětlovat před každým během praktika.

6. Závěr

Představený kurz MOOC nazvaný „*Essential radiochemistry for society*“ představuje moderní formu vzdělávání a je zdarma přístupný pro všechny zájemce z celého světa, tedy i pro české žáky, studenty, pedagogy i odbornou veřejnost. Díky poutavému designu, pestrému obsahu a interaktivnímu charakteru má potenciál oslovit různé zájmové skupiny. Kromě (radio)chemie, která je základem kurzu, lze nalézt vztahy k biologii, fyzice, ekologii nebo umění a kultuře. Kurz je ucelený, účastník může nastudovat vybrané kapitoly nebo celý kurz zcela samostatně. Na základě pilotáže byla pro pedagogy českých škol sestavena doporučení, jak s kurzem MOOC ve výuce efektivně pracovat. Pro další zatraktivnění kurzu jsou průběžně organizovány a následně zveřejněny speciální webináře s předními odborníky v radiochemii¹⁰.

Tvorba příspěvku byla podpořena grantovým projektem Horizon 2020 (MEET-CINCH, 754972, a A-CINCH, 945301).

LITERATURA

1. Van der Hurk A., Meelissen M., van Langen A.: *Int. J. Sci. Educ.* 41, 150 (2019).
2. Perna J., Law G. T. W., Ranjan S.: *J. Chem. Educ.* 98, 426 (2021).
3. Němec M., Distler P., John J.: *Jaderná energie/Jadrová energia* 2(67/4), 32 (2021).

4. https://www.pok.polimi.it/courses/course-v1:Polimi+ERS101+2023_M8/about, staženo 8. 1. 2023.
5. Majer V.: *Základy jaderné chemie*. 2. vyd. SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1981.
6. Baturay M. H.: *Procedia Soc. Behav. Sci.* 174, 427 (2015).
7. Eriksson T., Adawi T., Stöhr Ch.: *J. Comput. High Educ.* 29, 133 (2017).
8. <https://www.fjfi.cvut.cz/cz/studium/bakalarske-studium/studijni-programy/vyrazovani-bc-aktualni>, staženo 13. 1. 2023.
9. <http://www.radonovyprogram.cz>, staženo 30. 12. 2022.
10. <https://www.youtube.com/@cinchtalks2858>, staženo 27. 12. 2022.

A. Airaksinen^a, F. Concia^b, S. Das^a, P. Distler^c, J. John^c, E. Macerata^d, M. Mariani^b, E. Mossini^d, M. Negrin^d, M. Němec^c, V. Pottgießer^e, T. Retegan^f, M. Štrok^g, M. Teplá^h, and C. Walther^e (^a Department of Chemistry, University of Helsinki, Finland, ^b METID, Politecnico di Milano, Italy, ^c Department of Nuclear Chemistry, CTU in Prague, Czech Republic, ^d Department of Energy, Politecnico di Milano, Italy, ^e Institute of Radioecology and Radiation Protection, Leibniz Universität Hannover, Germany, ^f Division of Nuclear Chemistry and Industrial Materials Recycling, Chalmers University of Technology, Sweden, ^g Department of Environmental Sciences, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia, ^h Department of Chemistry Education, Charles University, Czech Republic): **Massive Online Open Course „Essential Radiochemistry for Society“**

The massive open online course "Essential radiochemistry for society" represents a modern form of education. Due to its attractive design, varied content and interactive nature, it has the potential to appeal to various interest groups. Thematically, the course is divided into five weeks: Radiochemistry for the environment, health, industry, nuclear energy and society. In addition to radiochemistry and nuclear chemistry, which are the basis of the course, direct connections can be found to biology, physics, ecology, art and culture. The course is comprehensive; a participant can study only selected chapters or the entire course independently. Recommendations and tips for effectively using the course in classes have been compiled for teachers and lecturers.

Keywords: radiochemistry, nuclear chemistry, massive open online course



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.