

POČÍTAČOVÉ ANIMACE A SIMULACE ELEKTROLÝZY A GALVANICKÉHO ČLÁNKU JAKO PROSTŘEDEK PODPORY NÁZORNOSTI VE VÝUCE CHEMIE NA STŘEDNÍ ŠKOLE

OPEN ACCESS



Computer Animations and Simulations
of Electrolysis and Galvanic Cells As
a Means of Supporting Visualization
in High School Chemistry Teaching

HANA HENYCHOVÁ, Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta, Katedra chemie a didaktiky chemie; VERONIKA MACHKOVÁ, Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta, Katedra chemie

Abstract

Computer simulations are a good example of the use of ICT in teaching science subjects. They allow students to have a more detailed view of the principle of the real system under study and thus offer new possibilities to support teaching. However, with the increasing availability of online simulations, the problem of selecting them for a specific teaching situation arises. This paper focuses on the mapping of criteria for the evaluation of computer simulations, using the example of electrolysis and galvanic cell as important representatives of the electrochemistry curriculum. The evaluation criteria were selected based on the analysis of several research studies conducted in the field of the application of simulations to chemistry teaching. These criteria were then used to evaluate the cocreated online available simulations of electrolysis and galvanic cell. From the results of the fulfillment of the selected criteria, computer simulations for teaching electrochemistry in high school are recommended.

Klíčová slova

Výuka chemie, vzdělávání chemie, simulace, elektrolyza, galvanický článek

Keywords

High School Electrochemistry, computer simulations, electrolysis, galvanic cells, evaluation criteria for computer simulations

ÚVOD

Počítačové simulace se stávají důležitou součástí výuky chemie (Aldahmash et al., 2009). Díky narůstající digitální vybavenosti škol se stávají počítačové simulace stále dostupnějším a využívanějším didaktickým prostředkem výuky přírodních věd, tedy efektivním informačním, motivačním nebo hodnotícím nástrojem (Fadzli et al., 2020).

Učitelé, žáci, studenti a tvůrci počítačových simulací mají přístup k rozsáhlým úložištím těchto především výukových aplikací. S rostoucí kvantitou dostupných počítačových simulací ale vzniká problém, jak tyto výukové nástroje hodnotit z hlediska kvality a podle jakých kritérií vybírat vhodné počítačové simulace do výuky. Heuristickými metodami určil Nielson (1990) na základě zkušeností odborníků z oblasti tvorby počítačových aplikací základní hodnotící kritéria online nástrojů, kterými jsou konzistence obsahu, redukce memorování,

popisování v jazyce uživatele, poskytování zpětné vazby, umožnění zkratk, jasný popis instrukcí, minimalizace chybovosti uživatele. Tato kritéria jsou ale v dnešní době pro běžného učitele jen obtížně aplikovatelná a jsou doplňována o nová kritéria, jako jsou zvukové kulisy nástroje, dostatečná instruktáž či vyváženost množství informací v nástroji vůči jeho přehlednosti (Leacock, Tracey & Nesbit, 2007). V tomto článku se zaměříme na využití relevantních kritérií pro hodnocení online dostupných simulací z oblasti elektrochemie tak, abychom z dostupného vzorku simulací mohli doporučit několik zástupců vhodných pro výuku chemie na střední škole (Henychová, Machková, 2021). Všechna kritéria jsou volena na základě již použitých hodnotících prostředků v podobně zaměřených výzkumech a přetvořena do jasných otázek pro větší přehlednost při hodnocení konkrétního vzorku simulací. Počítačové simulace,

kteří dosáhly nejlepšího hodnocení v aplikovaných kritériích, jsou následně podrobněji popsány a porovnány.

Oblast výuky, ve které jsme vyhledávali dostupné online simulace k hodnocení, je učivo elektrochemie, a zejména redoxních dějů, které je podle Rychtery a kol. (2018) vnímáno jako kritické místo učiva z důvodu vysoké míry abstrakce, komplexnosti a širokého mezipředmětového přesahu. Z oblasti redoxních dějů je vnímána elektrochemie jako problémové místo, kde u žáků vznikají různé miskoncepce. Žáci nejsou schopni vysvětlit základní principy elektrochemie. Dle Tsaparlise (2019) je pro žáky z této tematické oblasti nejobtížnější elektrolyza a galvanický článek. Z těchto důvodů byly vyhledávány a hodnoceny počítačové simulace, které zobrazují elektrolyzu a galvanický článek.

SIMULACE ELEKTROLÝZY A GALVANICKÉHO ČLÁNKU NA WEBU

Pro hledání dostupných simulací elektrolyzy a galvanického článku na webu jsme zvolili dva kroky. Nejprve byl shromážděn vzorek dostupných online simulací s tím, že obě témata na sebe navazují a lze je zařadit např. do dvouhodinové výuky (nebo dvou hodin výuky) v rámci tématu elektrochemie. V chemii jde o poměrně problematičtější témata podobně jako ostatní učivo týkající se redoxních jevů,

kteří je možné navázat na výuku fyziky. Zde je toto učivo zařazované do tématu vedení elektrického proudu v kapalinách a i zde se souvislosti elektrolyzy i galvanického článku probírají společně. Žáci často chybně interpretují rozdíly mezi těmito dvěma jevy (Tsaparlis, 2019). Navazujícím krokem na sběr vzorku simulací byla jejich didaktická analýza. Cílem didaktické analýzy bylo vybrat vhodnou simulaci elektrolyzy a galvanického článku do výuky. Pro snížení subjektivitu výběru byla stanovena hodnotící kritéria.

Pro vyhledání dostupného vzorku simulací bylo využito vyhledávání pomocí vyhledavače Google a prostřednictvím vyhledávání obrázků. Strategie vyhledávání prostřednictvím obrázků nebyla příliš úspěšná. Při vyhledávání byla kombinována klíčová slova v anglickém jazyce *electrolysis simulation/animation/visualization* a dále *galvanic/voltaic cell simulation/visualization/animation*. Vyhledávání proběhlo pomocí stejných klíčových slov i v českém jazyce, ale zde nebyly nalezeny žádné relevantní simulace nebo simulace, které by nebyly nalezeny při cizojazyčném vyhledávání. Při vyhledávání bylo využito i několik webových portálů shromažďujících simulace na různá témata. Přehled využitých webových portálů je uveden v tabulce 1. Proces rešerše dostupných simulací probíhal v období od prosince 2019 do prosince 2020.

Tab. 1 Přehled webových portálů shromažďujících výukové simulace

	Webový portál	Provozovatel portálu	Nalezené simulace z tématu redoxní děje
1	edumedia-sciences.com	eduMedia	Elektrolýza, galvanický článek
2	acs.org	American chemical society	Elektrolýza
3	phet.colorado.edu	University of Colorado Boulder	Galvanický článek
4	billvining.com	SUNY College at Oneonta	Galvanický článek
5	vascak.cz	RNDr. Vladimír Vaščák	Elektrolýza, olovená baterie
6	javalab.org	Javalab	Elektrolýza
7	eurekalearning.com	Eureka global education	Galvanický článek

Do souboru analyzovaných simulací byly zařazeny ty, které byly volně dostupné na internetu, funkční online bez nutnosti simulaci stahovat a instalovat a bez nutnosti registrace. Vybrány byly ty simulace, které prezentovaly téma elektrolýzy nebo galvanického článku v anglickém nebo českém jazyce. Dalším kritériem pro zařazení do souboru analyzovaných simulací bylo dohledání původního zdroje (URL) simulace. Výsledný soubor simulací pro didaktickou analýzu obsahoval celkem 17 odpovídajících simulací, z toho bylo 6 simulací elektrolýzy a 6 simulací galvanického článku (Henychová, Machková, 2021).

DIDAKTICKÁ ANALÝZA SIMULACÍ

Pro zvýšení objektivity hodnocení simulací byla na základě výzkumů na podobné téma vytvořena kritéria, která jsou uvedena v tabulce 2 (Asirvatham, 2012, Brenda et al., 2005, Leacock et al., 2007, Pfeifferová, 2015, Plass, 2009, Vandenplas et al., 2021). Jednotlivá kritéria sloužila ke kategorizaci simulací v pedagogických výzkumech, ale ne všechna kritéria byla využita při všech výzkumech. Podle vzoru Asirvathama (2012), který publikoval obecná kritéria pro hodnocení dostupných online výukových materiálů, jsme jednotlivá kritéria pře-

formulovali do podoby otázek pro snadnější hodnocení. Pro hodnocení konkrétního tématu elektrolýzy a galvanického článku jsme navíc rozčlenili obsahovou složku do konkrétnějších cílů, které by měly simulace splňovat. Tyto otázky pak byly voleny na základě nejčastěji uváděných miskonceptů žáků, které při výuce tohoto tematického celku vznikají (Tsaparlis, 2019).

Tab. 2 Vybraná kritéria pro hodnocení simulací elektrolyzy a galvanického článku

Hodnotící kritéria		ANO	
Obsahová složka		Je do simulace zakomponována práce s Beketovovou řadou?	
		Zobrazuje simulace vedení proudu v kapalinách?	
		Jsou v simulaci zobrazeny děje na jednotlivých elektrodách?	
		Jsou v simulaci zapsané rovnice dějů, které na elektrodách probíhají?	
Náležitosti simulace	didaktické	Je simulace adekvátní úrovni na střední škole?	
		Je simulace přehledná?	
		Je žákovi po pokusu poskytnuta zpětná vazba?	
		Lze pokus provést ve více variantách?	
	technické	Je přítomna nápověda?	
		Obsahuje simulace zvukové kulisy?	
		Je simulace popsána v mateřském českém jazyce?	
		Nabízí simulace pohled do makrosvěta i mikrosvěta?	
		Lze u simulace nastavovat podmínky reakce?	
	uživatelské	Je simulace designově uživatelsky přijatelná?	

Kritéria obsahové složky simulací byla vybrána dle oblastí, které dělají žákům při výuce elektrochemie největší problémy. Žáci dělají nejčastěji chyby v označování elektrod a zapisování dějů, které na elektrodách probíhají. Nedokáží rozlišit redoxní děje, nedokáží vysvětlit rozdíl mezi elektrolyzou a galvanickým článkem, nevysvětlí průchod elektrického proudu kovy a elektrolytem, chybně interpretují základní principy elektrochemie (Tsaparlis, 2019).

Didaktické a uživatelské náležitosti simulace byly hodnoceny výběrem kritérií dle Leacocka a Nesbita (2007), kteří popisují ve svém výzkumu nástroj pro kontrolu učebních materiálů LORI (Learning Object Review Instrument). Nástroj umožňuje vytvářet hodnocení, které zahrnuje devět kritérií: kvalita obsahu, soulad se vzdělávacími cíli, zpětná vazba, motivace, design simulace, přehlednost, dostupnost, opětovné použití a soulad se standardy. Tento hodnotící nástroj slouží pro posouzení různých digitálních výukových materiálů, jako jsou texty, obrázky, grafy a další média zahrnující například i simulace. Hodnocení designu simulace a komunikace s uživatelem hodnotí také Plass et al.

(2009), kteří navíc hodnotí i nastavitelnost podmínek simulace. Hledisko zpětné vazby pro uživatele hodnotí také Shim et al. (2005).

Na technické parametry simulací se zaměřil výzkum Van den Plase (2020), kde byly porovnávány simulace zobrazující vznik chemické vazby. Simulace byly obdobně seskupovány z hromadných úložišť jako v našem případě. Technickými parametry se zabýval i Asirvatham (2012), který vytvořil univerzální hodnotící nástroj online dostupných prostředků. Vytvořeny byly dvě hodnotící tabulky, z nichž jedna se zabývá dostupností simulace a jejími technickými parametry a druhá tabulka se věnuje obsahu simulace.

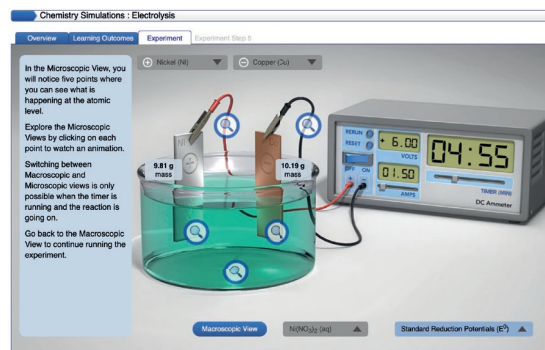
VÝSLEDKY ANALÝZY SIMULACÍ ELEKTROLÝZY

Simulace elektrolytických dějů zobrazovaly nejčastěji elektrolyzu vody. Jde o energeticky náročnou elektrolyzu, která je didakticky neatraktivní k provádění v laboratoři. Jde ale o nejhodnější a nejpoužívanější příklad k vysvětlení daného děje (Walanda et al., 2017).

Cílem většiny takových simulací bylo zobrazit pohyb iontů v elektrolytu. Dvě ze simulací byly zaměřeny na hmotnost samotných elektrod. Pouze jedna simulace nezobrazovala mikropohled na reakci. Níže jsou popsány simulace, které splňovaly více než šest výše uvedených kritérií, a souhrnná tabulka s odkazy na všechny porovnávané simulace

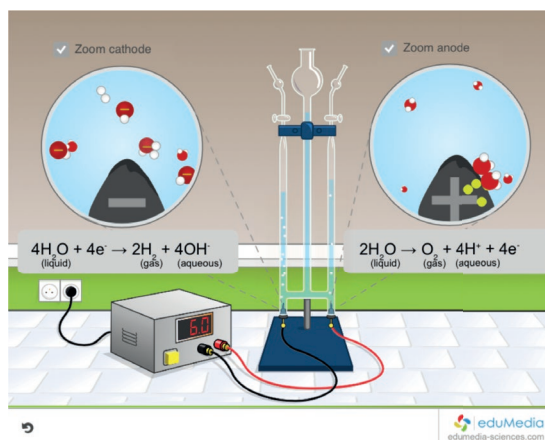
1 Electrolysis (Chemistry simulations: Electrolysis, 2014) zobrazuje elektrolyzu šesti možných elektrolýtů a nabízí šest kovů pro výběr elektrod (viz obrázek 1). Nastavit lze navíc čas reakce a hodnotu elektrického proudu v ampérech. Celou reakci doprovází nápověda v angličtině a jasné šipky, které

určují, co má uživatel nastavit jako první. V průběhu reakce je možnost zobrazit děje v elektrolytu, na elektrodách a ve vodičích. K reakci se uživatel může vrátit nebo zkusit elektrolyzu za různých podmínek. Oproti ostatním simulacím je uživateli poskytnuta zpětná vazba i po reakci.



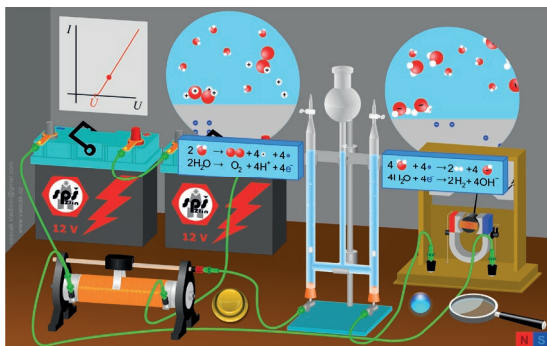
Obr. 1

2 Elektrolyza vody (Electrolysis of water, 2020) zobrazuje děje na elektrodách při elektrolyze vody a rovnice daných dějů (viz obrázek 2). Nelze provést reakci v jiné variantě. Z nastavení podmínek reakce lze vybrat jen, zda se děj na elektrodě zobrazí či nikoliv. Celá reakce se dá zastavit a znovu spustit nebo resetovat.



Obr. 2

3 Elektrolýza (Elektrolýza, 2013) zobrazuje elektrolýzu vody (viz obrázek 3). Po spuštění reakce není hned viditelná reakce na elektrodách a rovnice. Uživatel se musí k finálním informacím propracovat a vše je mu zobrazováno postupně. Simulace navádí uživatele na místa, kde má kliknout, ale slovní nápo- věda zde chybí. Reakce jde zastavit a zopakovat, ale není možné provést elektrolýzu jiných látek než vody.



Obr. 3

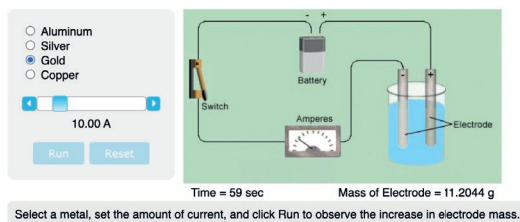
Odkazy na všechny simulace elektrolýzy, které byly porovnávány a můžeme je doporučit jako vhodné pro výuku chemie na střední škole, jsou uvedené v tabulce 3.

Tab. 3 Dostupné simulace elektrolýzy pro podporu výuky chemie na střední škole

Číslo	Název simulace	Odkaz na simulaci
1	Chemistry simulations: Electrolysis	https://media.pearsoncmg.com/bc/bc_0media_chem/chem_sim/html5/Electro/Electro.php
2	Electrolysis of water	https://www.edumedia-sciences.com/en/media/713-electrolysis-of-water
3	Elektrolýza	https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=elkap_rozkladne&l=en
4	Electroplating	https://billvining.com/mmlib_sims/#gen_19_0
5	Electrolysis of water	https://javalab.org/en/electrolysis_of_water_en/
6	Electrolysis Virtual Lab	https://iwant2study.org/lookangejss/chemistryejss/ejss_model_ElectrolysisofWaterVirtualLabv4/ElectrolysisofWaterVirtualLabv4_Simulation.xhtml

4 Electroplating (Electroplating, 2012) zobrazuje galvanické pokovování. Lze nastavit 4 typy možných elektrod (viz obrázek 4). Simulace zobrazuje především změnu hmotnosti na elektrodách za určitý čas. Do reakce nelze žádným způsobem zasahovat a nezobrazuje rovnice ani děje na elektrodách.

Electroplating



Obr. 4

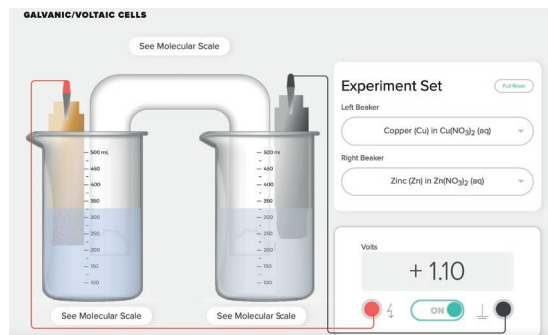
VÝSLEDKY ANALÝZY SIMULACÍ GALVANICKÉHO ČLÁNKU

Simulace zobrazující galvanický článek nejčastěji představují olovenou baterii a obecné galvanické články, které je možné i reálně sestavit. Jedna z nalezených simulací zobrazuje Daniellův článek.

Cíle simulací byly různorodější než u simulací elektrolýzy. Nabízejí výpočet potenciálu elektrod, výpočet hmotnosti elektrod a jsou zaměřeny i na pohyb iontů při reakci a pochopení daného děje na mikroúrovni.

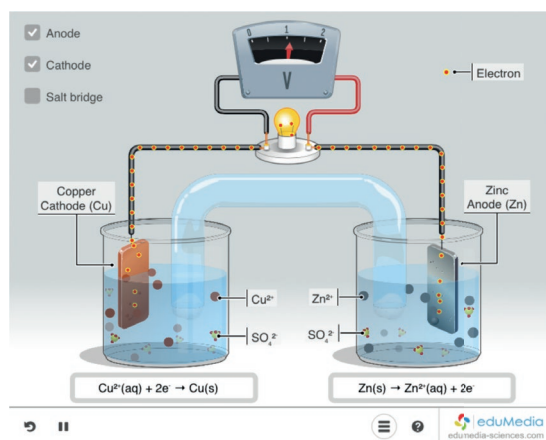
Níže jsou blíže popsány simulace galvanického článku, které splňovaly více než šest kritérií anebo nabízely nový pohled na průběh reakce. Odkazy na všechny porovnávané simulace galvanického článku jsou uvedené v tabulce 4.

1 Galvanic cell (Galvanic/voltaic cell, 2022) zobrazuje několik typů galvanických článků (viz obrázek 5). Umožňuje výběr z pěti elektrod v různé kombinaci mezi sebou. Ke každé elektrodě je přednastaven odpovídající elektrolyt. Po spuštění reakce je možnost nahlédnout do mikroúrovně v jednotlivých elektrolytech, elektrodách a solném můstku. Simulaci doprovází vysvětlení reakce v angličtině. Nezobrazuje rovnice děje.



Obr. 5

2 Galvanic cell (Galvanic cell, 2020) zobrazuje galvanický článek za použití elektrod ze zinku a mědi. Pod elektrodami jsou zobrazené reakce jednotlivých dějů (viz obrázek 6). Nelze nastavovat parametry reakce. Lze postupně zobrazit děje v elektrolytech a v solném můstku. Pod simulací je v angličtině vysvětlena podstata galvanického článku a historie objevu.



Obr. 6

Odkazy na všechny porovnávané simulace zobrazující galvanický článek na úrovni středoškolského učiva jsou uvedené v následující tabulce.

Tab. 4 Dostupné simulace galvanického článku pro podporu výuky chemie na střední škole

Číslo		Odkaz na simulaci
1	Galvanic/voltaic cell	https://teachchemistry.org/classroom-resources/voltaic-cells
2	Galvanic cell	https://www.edumedia-sciences.com/en/media/711-galvanic-cell
3	Akumulátor	https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=elkap_akumulator&l=en
4	Daniell cell	https://gfycat.com/agonizingfamousglobefish
5	Galvanic cell chemistry	https://www.sciencephoto.com/media/702204/view/galvanic-cell-chemistry-animation
6	Daniell cell	https://medienportal.siemens-stiftung.org/en/daniell-cell-simulation-103884

ZÁVĚR

Rostoucí množství digitálních úložišť vzdělávacích simulací svědčí o tom, jaký mají význam ve vzdělávání. Předpokládáme, že s kvalitnějšími a modernějšími simulacemi budou žáci dosahovat vzdělávacích cílů efektivněji. Je však potřeba tyto prostředky výuky umět didakticky zhodnotit a zvládnout jejich optimální nasazení do konkrétní výukové situace (Kable et al., 2018). V této práci byla představena hodnocení kritéria shromážděná ze zahraničních

výzkumů, které se hodnocením simulací z didaktického pohledu zabývaly. Z výzkumu Asirvathama (2012) vyplývá, že je simulace do výuky tím vhodnější, čím více výše uvedených kritérií splní. I z našich zkušeností můžeme potvrdit, a je to předmětem i našich dalších plánovaných výzkumů, že je nutné zvažovat implementaci nových výukových prostředků nejen na bázi pedagogické intuice, ale i seriózních výzkumných šetření.

Literatura

- Aldahmash, A. H., Abraham, M. R. (2009). Kinetic versus static visuals for facilitating college students' understanding of organic reaction mechanisms in chemistry. *J. Chem. Educ.*, 86, 1442–1446. <https://doi.org/10.1021/ed086p1442>
- Asirvatham, D. (2012). Quality Framework for Assessment of Multimedia Learning Materials Version 1.0. ResearchGate | Find and share research [online]. Copyright © 2012 The Authors. Published by Elsevier Ltd. [cit. 14. 08. 2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/257718377_Quality_Framework_for_Assessment_of_Multimedia_Learning_Materials_Version_10
- Henychová, H., Machková, V. (2021). Didaktická analýza online dostupných simulací elektrolyzy a galvanického článku. Sborník příspěvků. 16. Mezinárodní seminář doktorandů didaktiky chemie a příbuzných doktorandských studijních programů. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, 2020. ISBN 978-80-7435-827-2.
- Kable, A. K., Levett-Jones, T. L., Arthur, C., Reid-Searl, K., Humphreys, M., Morris, S., Walsh, P., Witton, N. J. A. (2018). Cross-national study to objectively evaluate the quality of diverse simulation approaches for

- undergraduate nursing students. *Nurse Education in Practice* [online]. 28, 248-256 [cit. 2021-8-14]. ISSN 14715953. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2017.10.010>
- Shim, B., Brock, D., Jenkins, L. (2005). Developing practical criteria for evaluating online patient simulations: a preliminary study, *Medical Teacher*, 27:2, 175-177, DOI: 10.1080/01421590400019450
- Fadzli, S., Yahaya, J., Deraman, A. et al. (2020). Environment based virtual interaction to enhance motivation of STEM education: The qualitative interview design and analysis. *Educ Inf Technol* 25, 775-790. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09996-y>
- Nielson, J. (1990). *Heuristic Evaluation of User Interfaces* (Seattle, WA, Association of Computing Machinery Conference). <https://doi.org/10.1145/97243.97281>
- Leacock, T., Nesbit, J. (2007). A Framework for Evaluating the Quality of Multimedia Learning Resources. *Educational Technology and Society*, 10, 44-59.
- Rychtera, J., Bílek, M., Bártová, I., Chroustová, K., Sloup, R., Šmídl, M., Machková, V., Štrofová, J., Kolář, K., Kesnerová Řádková, O. (2018). Která jsou klíčová, kritická a dynamická místa počáteční výuky chemie v České republice? *Arnica* 8, 1, 35-44. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. ISSN 1804-8366.
- Tsaparlis, G. (2018). Teaching and Learning Electrochemistry. *Israel Journal of Chemistry*, 59. <https://doi.org/10.1002/ijch.201800071>
- Pfefferová, M. (2015). Computer Simulations and their Influence on Students' Understanding of Oscillatory Motion. *Informatics in Education*. <https://doi.org/10.15388/infedu.2015.16>
- VandenPlas, J., Herrington, D., Shrode, A., Sweeder, R. D. (2021). Use of Simulations and Screencasts to Increase Student Understanding of Energy Concepts in Bonding. *Journal of Chemical Education* [online], 98(3), 730-744 [cit. 2021-8-14]. ISSN 0021-9584. <https://doi.org/10.15388/infedu.2015.16>
- Plass, J., Homer, B., Hayward, E. (2009). Design factors for educationally effective animations and simulations. *Journal of Computing in Higher Education*, 21, 31-61. <https://doi.org/10.1007/s12528-009-9011-x>