MoleGraph aneb jak postavit školní měřicí systém svépomocí

TOMÁŠ FELTL, PETR ŠMEJKAL

Abstrakt: Školní měřicí systémy (ŠMS) jsou již relativně dlouho součástí výuky. S podporou Průmyslu 4.0 a zaměřením na polytechnickou výchovu dostává práce se ŠMS další rozměr. Nejde jen o využívání ŠMS k měření v přírodovědných oborech a zkoumání různých jevů a jejich zákonitostí, ale také o porozumění, jak je takový měřicí systém konstruován, jak funguje. Právě tyto kompetence vedou ke správnému a smysluplnému využívání měřicích systémů ve školní, ale také mimoškolní praxi.

V příspěvku se zabýváme popisem návrhu a realizace otevřeného řešení (open source) školního měřicího systému (MoleGraph). Právě DIY (Do It Yourself = vyrob si sám) přístup v oblasti ŠMS může přinést hlubší pochopení důležitosti zapojení a funkce čidel i celého „měřicího řetězce", což může být s výhodou využito pro účely STEM (Science – přírodní vědy, Technology – technologie, Engineering – konstruování a Mathematics – matematika) výuky. Návrh celkového řešení ŠMS MoleGraph je nyní po softwarové i hardwarové stránce připraven pro testování učiteli.

Klíčová slova: Školní měřicí systém, ŠMS, probeware, mikrokontrolér, STEM, DIY, Do It Yourself, open source, Arduino, MoleGraph.

FELTL, T. & ŠMEJKAL, P. 2023. MoleGraph aneb jak postavit školní měřicí systém svépomocí. *Arnica* 13(1), 45–51. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, ISSN 1804-8366.

Rukopis došel 17. 1. 2023; byl přijat po recenzi 30. 5. 2023.

Tomáš Feltl, Katedra učitelství a didaktiky chemie, Univerzita Karlova, Hlavova 8, 128 43 Praha 2; Gymnázium Polička, nábřeží Svobody 306, 572 01 Polička; Centrum technického vzdělávání Půda, Městská knihovna Polička, Palackého náměstí 64, 572 01 Polička; Česká republika; e-mail: feltlt@natur.cuni.cz • Petr Šmejkal, Katedra učitelství a didaktiky chemie, Univerzita Karlova, Hlavova 8, 128 43, Praha 2, Česká republika; e-mail: petr.smejkal@natur.cuni.cz

Úvod

K názornější a komplexnější výuce přírodních věd se nabízí celá řada moderních digitálních učebních pomůcek (edu.cz 2023). Některé z nich jsou využitelné i v rámci polytechnické výchovy, na kterou je poslední dobou kladen stále větší důraz. Informatika a informatické myšlení je důležitým tématem tzv. „malé" revize Rámcových vzdělávacích programů pro základní vzdělávání (RVP ZV) a v dohledné době nás čeká i „velká revize" RVP ZV a postupně i RVP pro další stupně vzdělávacího systému (Metodický portál NPI | RVP.CZ 2022).

Na některé digitální učební pomůcky se přitom ale poněkud zapomíná. Sem patří např. školní měřicí systémy (ŠMS, angl. Probeware), které máme často spojeny pouze s jednoduchými měřeními, jako je třeba měření teploty, tlaku, elektrické vodivosti apod. Tyto systémy jsou přitom využitelné nejen v přírodních vědách pro měření různých veličin a zkoumání přírodních jevů a zákonitostí, ale je možné je využít také v rámci tzv. „nové informatiky", tedy např. pro algoritmizaci a programování, polytechnickou výchovu a STEM výuku (Science – přírodní vědy, Technology – technologie, Engineering – konstruování a Mathematics – matematika).

Vedle komerčních školních měřicích systémů (např. PASCO 2022; NeuLog 2022; Vernier 2022) se nabízí také využití různých levných a běžně dostupných mikrokontrolérů, jako je např. Arduino (arduino.cc 2022), ve spojení s nejrůznějšími čidly ve stylu DIY Do It = vyrob si sám). A nemusí jít zdaleka jen o typicky školní výuku. Také v oblasti přírodovědného výzkumu se levné mikrokontroléry a čidla využívají (Prabhu & Urban 2020). Vedle různých „jednorázových" zapojení mikrokontrolérů (Papadimitropoulos *et al.* 2021) k určitému typu měření se objevují snahy o vytvoření uceleného levného školního měřicího systému (Kopasz *et al.* 2011; Martin *et al.* 2014; Kubinova & Slegr 2015; Walkowiak & Nehring 2016; Gingl *et al.* 2019; Gendreau Chakarov *et al.* 2021; Tsalmpouris *et al.* 2021). Bohužel, z pohledu učitele, který by chtěl některý z uvedených systémů využívat ve výuce, je pak často problematická nedostatečná/chybějící volně dostupná dokumentace konkrétního systému (např. potřebné podklady pro výrobu desek plošných spojů (PCB – deska plošného spoje, z angl. Printed Circuit Board), nedokumentované komunikační protokoly apod.) a nevyhovující (často i zastaralý) software pro sběr a analýzu dat. Problematické může být pro běžného učitele a jeho žáky také osazování PCB desek velice malými SMD součástkami (součástkami pro povrchovou montáž, z angl. Surface-Mount Device). Proto by bylo žádoucí, aby byla u školního měřicího systému určeného „ke stavbě" k dispozici nejen velice podrobná dokumentace, ale také řada návodů pro začátečníky (např. včetně návodu, jak pracovat s nepájivým polem, jak „pájet součástky" apod.). Co tedy v rámci školního měřicího systému učitelé opravdu potřebují? Co je hlavní překážkou v používání levného

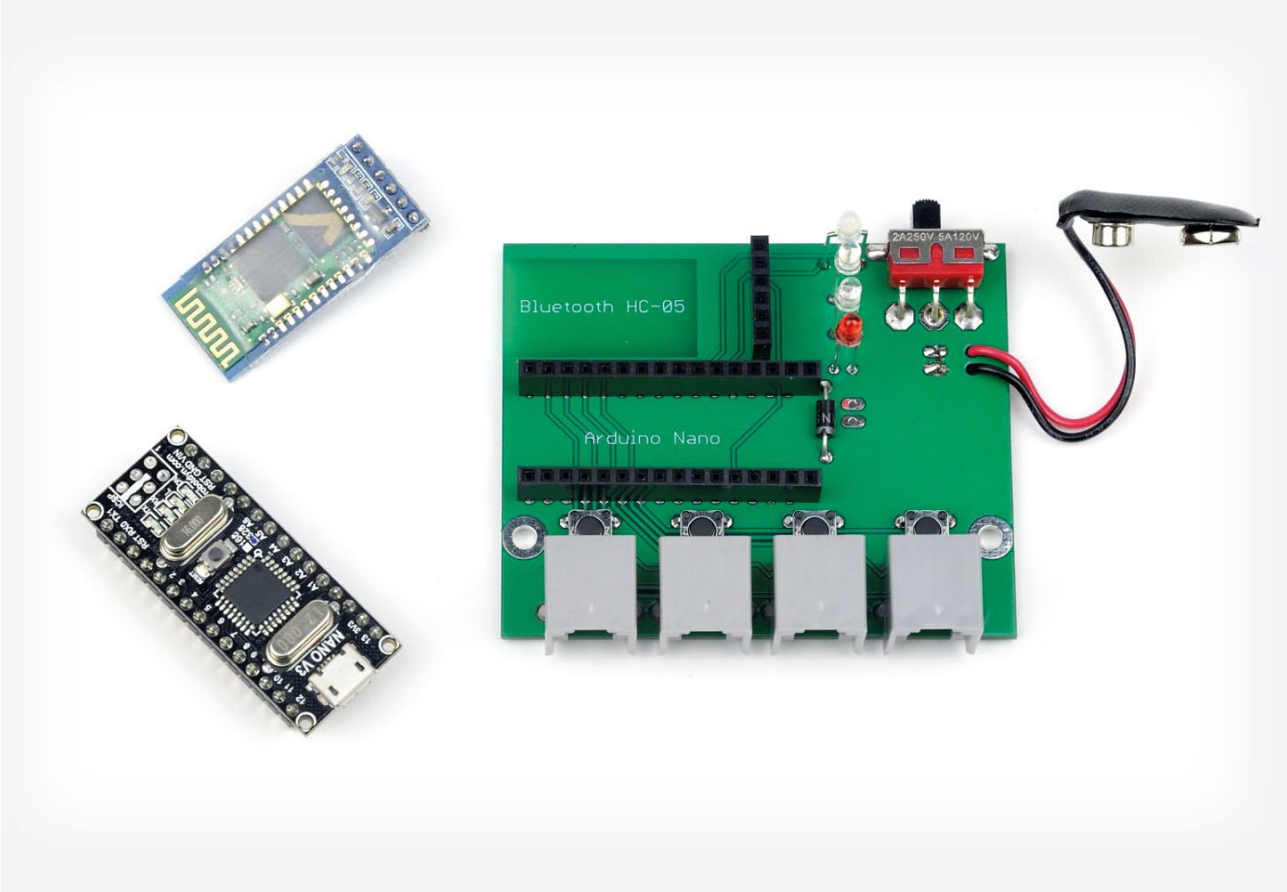
systému vlastní konstrukce? Je vůbec takovýto systém učiteli a jejich žáky „postavitelný“? Co takový DIY školní měřicí systém nabízí v rámci STEM výuky? Tyto a další otázky směřovaly naši práci vedoucí k návrhu a realizaci DIY školního měřicího systému.

Systém návrhu a realizace ŠMS

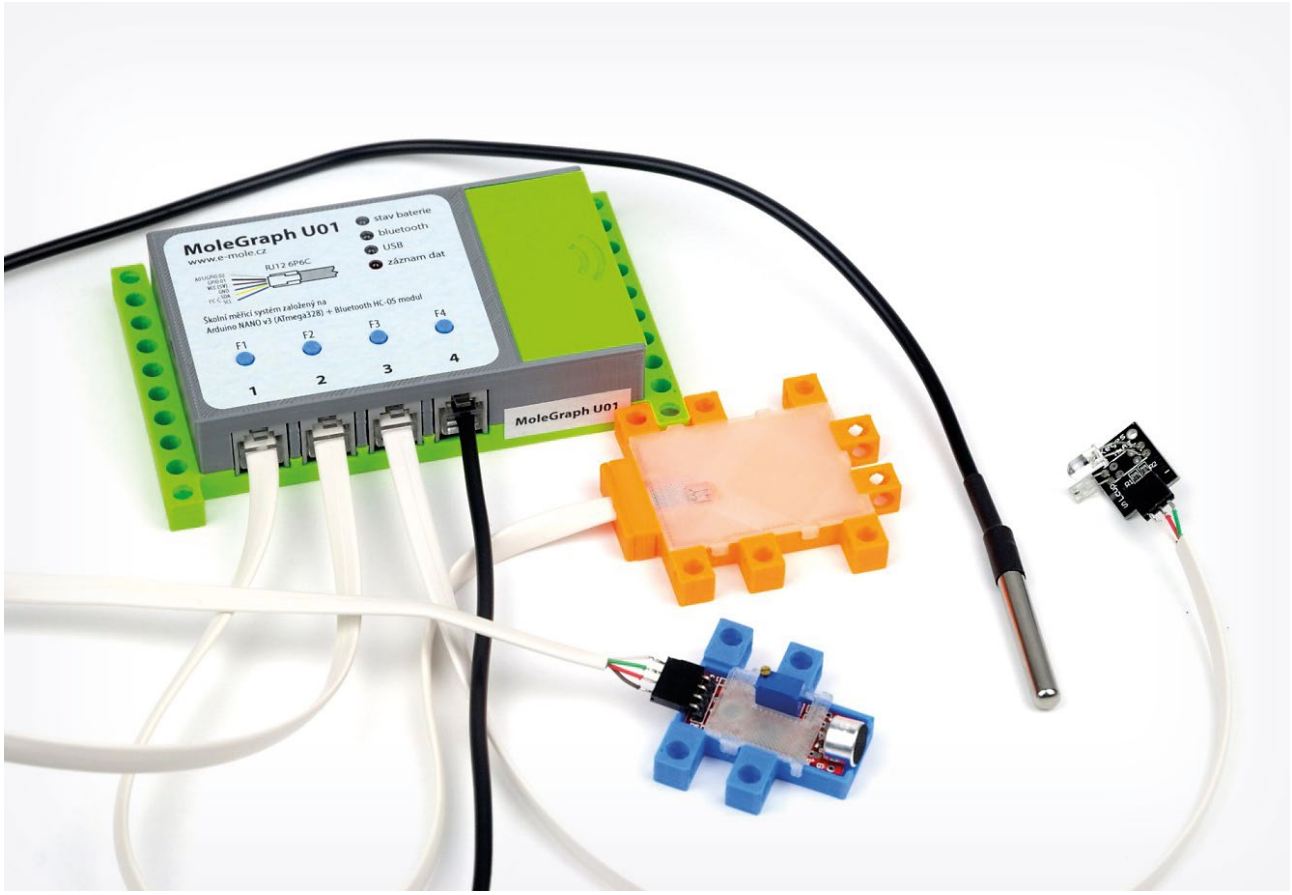
V našem šetření jsme se zaměřili na návrh a realizaci DIY školního měřicího systému (MoleGraph), přičemž toto šetření probíhalo v několika etapách. Postupně jsme „mapovali“ požadavky učitelů na vlastní školní měřicí systém, jeho hardwarovou (HW) a softwarovou (SW) stránku a v několika iteracích na základě zpětné vazby učitelů postupně reflektovali zjištěné skutečnosti v rovině samotné základní koncepce systému a v rovině konkrétní HW a SW implementace (Feltl & Smejkal 2021). Z úvodní etapy, která zahrnovala analýzu požadavků učitelů na ŠMS a analýzu možností komerčně dostupných systémů, vzešlo několik základních požadavků na systém jako celek (Feltl & Smejkal 2021). Ty se dají rozdělit na „obecné“ požadavky a požadavky na SW stránku systému. Mezi obecné požadavky patří zejména: univerzálnost, dobrá dokumentace/dostupnost/rozšířenost, nízká cena, otevřené řešení (open source), možnost vizuálního programování. Mezi požadavky v oblasti SW stránky patří zejména: multiplatformnost (SW pro MS Windows, macOS, Linux, Android aj.), libovolný počet měření v setu, kontinuální vzorkování, vzorkování na vyžádání, způsob vizualizace naměřených dat jako graf a jako číslo, jednoduchý odečet dat z grafu, ukládání a export naměřených dat. V průběhu jednotlivých etap projektu docházelo k postupné úpravě a doplňování konkrétních požadavků. Výsledky přípravné etapy, postup a výsledky prvních dvou vývojových etap (označováno jako „Fáze I.“ a „Fáze II.“) a úvodní část třetí vývojové etapy (označováno jako „Fáze III.“), byly publikovány v rámci 17. Mezinárodního semináře doktorandů didaktiky chemie a příbuzných doktorandských studijních programů (Feltl & Šmejkal 2021).

Výsledky aktuální vývojové fáze systému MoleGraph

Aktuální vývojová fáze („Fáze III.“) doznala zásadní změnu HW stránky celého systému, tedy především návrh vlastního senzor-shieldu (rozšiřující PCB, Printed Circuit Board = deska plošných spojů) se standardním RJ12 konektorem. Výsledný shield je určený pro mikrokontrolér Arduino NANO a modul HC-05 BT (modul pro bezdrátové připojení pomocí technologie bluetooth) (obr. 1).



Obr. 1. Nově navržený a sestavený senzor-shield, vlevo jako moduly Arduino NANO a HC-05 BT modul (úvodní část fáze III.) (Feltl & Šmejkal 2021).



Obr. 2. Školní měřicí systém MoleGraph obsahuje centrální jednotku (zeleno-stříbrná 3D tištěná krabička), ke které je možné připojovat celou škálu čidel, taktéž zakrytovaných v 3D tištěných krabičkách, nebo ponechaných volně (čidlo zcela vpravo).

Tato změna s sebou přinesla požadovanou možnost snadného a především spolehlivého propojování komponent systému. Celý systém byl také zakrytován pomocí 3D tištěných krabiček (obr. 2).

Testovací část aktuální vývojové fáze ŠMS byla zakončena workshopem, kterého se účastnilo 18 učitelů. V průběhu workshopu si každý účastník vyzkoušel práci se systémem MoleGraph na několika jednoduchých úlohách s prvky STEM výuky. V závěru učitelé odpovídali na několik otázek (viz tab. 1). Otázky byly připraveny na základě předchozích rozhovorů s učiteli a týkaly se využitelnosti uvedeného řešení ŠMS ve výuce, obdobně jako v předchozích vývojových fázích (Feltl & Šmejkal 2021), a proběhla diskuze o úskalích provedených měření a použitelnosti systému v rámci běžné školní výuky. Souhrn nejdůležitějších výsledků po tomto testování je v tabulce 1 a tabulce 2.

Z výše uvedeného souhrnu odpovědí na otázky „Co vás od používání Arduina ve výuce odrazuje? Kde vidíte možné problémy?“ (tab. 1) vyplývá, že učitelé mají největší obavy z pájení, problematiky 3D tisku krabiček, shánění součástek a krimpování konektorů. Co se týče souhrnu odpovědí na otázku „Co vám chybí v aplikaci MoleGraph?“ (tab. 2), objevuje se již jen nový požadavek pokročilé kalibrace čidel a požadavek na ruční zadávání dat. Uspokojivým zjištěním je, že většině respondentů v aplikaci MoleGraph nic nechybí.

Počet respondentů: 18

Co vás od používání Arduina ve výuce odrazuje? Kde vidíte možné problémy?	Počet odpovědí	%
Musím si potřebné součástky někde nakoupit (typicky z více online obchodů)	7	38,9
Propojování pomocí konektoru RJ12 (v případě MoleGraph shieldu)	1	5,6
Pájení (např. při osazování MoleGraph shieldu, kompletaci čidel...)	11	61,1
Krimpování konektorů RJ12 (při kompletaci čidel)	6	33,3
Vizuální programování Arduina	2	11,1
3D tisk krabiček na Arduino a čidla	11	61,1
Nic mě neodrazuje	2	11,1

Tab. 1. Četnost možných problémů souvisejících s využitím Arduina pro školní měření.

Počet respondentů: 18		
Co vám chybí v aplikaci MoleGraph?	**Počet odpovědí**	**%**
Možnost přidávání vlastních čidel do seznamu čidel	1	5,6
Možnost pokročilé kalibrace čidel	5	27,8
Porovnávání průběhu různých měření mezi sebou	2	11,1
Pokročilá analýza naměřených dat	0	0
Ruční editace jednotlivých „bodů“ (např. korekce ustřelené hodnoty)	2	11,1
Ruční zadávání dat (např. objem při titraci)	5	27,8
Nic mi nechybí	12	66,7

Tab. 2. Četnost požadavků a možných problémů souvisejících s využitím našeho SW pro školní měření.

Stavba MoleGraph shieldu učiteli a závěr vývojové fáze

Návrh řešení některých problematických oblastí z III. vývojové fáze bylo možné realizovat ještě před vlastní stavbou systému MoleGraph skupinou učitelů, některé až po prvních proběhnuvších kurzech. Na základě zkušeností z prvního kurzu s učiteli byl pro stavbu a oživení systému MoleGraph nakonec navržen samostatný kurz (momentka z realizace kurzu je na obr. 3) v rozsahu 24 vyučovacích hodin (rozvržených do tří dnů) a kurz byl následně akreditován v systému DVPP MŠMT (e-Mole.cz 2022a). Koncept rozvržení kurzu do tří dnů se ukázal jako optimální. Z pohledu lektora i účastníků bylo na vše dostatek času a nevznikaly tak stresové situace z pocitu „že nestíháme“.

Problematiku „shánění součástek“ vyřešil vytvořený online nákupní seznam všech komponent potřebných ke stavbě MoleGraph shieldu (tme.eu 2022) a dále vytvořený seznam otestovaných kompatibilních čidel s odkazy na internetové obchody (Feltl 2022). Problematiku obav z 3D tisku se již delší dobu snažíme řešit sérií praktických kurzů pro učitele (e-Mole.cz 2022b). Ukázalo se, že obavy z krimpování konektorů a pájení byly zbytečné, protože všichni dosavadní účastníci kurzů tyto operace bez problému zvládli. V případě předchozích reakcí se tak spíše ukázalo, že se jednalo o „strach z neznámého“ a učitelé naopak v dalších kurzech tuto zkušenost a nově nabytou schopnost spíše oceňovali. Na základě požadavku učitelů (tab. 2) byla do SW MoleGraph přidána funkce pokročilé kalibrace čidel. K dokončení vývojové části projektu zbývá ještě kompletace dokumentace ke stavbě systému, která byla ověřována a upravována v rámci zpětné vazby z proběhlých kurzů a publikování dokumentace (včetně různých souborů: 3D modelů potřebných k 3D tisku, polepek s popisem komponent, seznamů a přehledů, ...)

Z průběhu několika prvních kurzů stavby MoleGraph shieldu a z vyplněného účastnického dotazníku předběžně vyplývá: většinu účastníků stavba a oživení MoleGraphu

Obr. 3. Jeden z kurzů stavby školního měřicího systému MoleGraph se skupinou učitelů (červenec 2022).

bavily, rozložení do tří dnů vnímá většina účastníků jako optimální, měření s MoleGraphem bylo hodnoceno většinou jako snadné, práce s čidly byla hodnocena většinou jako snadná, většina vidí v MoleGraphu systém reálně použitelný ve výuce, většina hodnotí představený koncept STEM výuky jako přínosný, na některých školách zatím nemají 3D tiskárnu. Finální vyhodnocení probíhajícího dotazníkového šetření proběhne po ukončení sady kurzů stavby MoleGraphu, pravděpodobně do konce první poloviny roku 2023.

Diskuse a závěr

Z dosavadního průběhu kurzů stavby MoleGraph shieldu a z názorů učitelů, kteří vyvinutý systém testovali, předběžně vyplývá, že se nám podařilo navrhnout otevřený školní měřicí systém, který zvládne pod vedením lektora postavit a používat běžný učitel chemie bez předchozích zkušeností z oblasti elektrotechniky, elektroniky a programování mikrokontrolérů. Veškerá dokumentace k systému MoleGraph je volně k dispozici (Feltl *et al.* 2021) , což umožňuje komukoli systém postavit, používat či dále modifikovat a vyvíjet. K dispozici jsou také 3D modely pro výrobu 3D tištených krabiček, podklady pro tisk polepovacích etiket, stavební návody, přehledy součástek a nákupní seznamy. Tím by mělo být zajištěno, že náš systém je, na rozdíl od systémů uváděným v úvodu, opravdu „otevřený" a každým potenciálním zájemcem realizovatelný v režimu DIY.

Původní předpoklad, že nejobtížnější částí vývoje ŠMS pro nás bude tvorba software, tedy aplikace MoleGraph, se nepotvrdila. Naopak, v kontrastu s tímto naším úvodním předpokladem se ukázalo, že pro běžného učitele přírodovědných předmětů je podstatné především snadné a spolehlivé propojování komponent měřicího systému (typicky spojení měřicí rozhraní – čidlo) a jistá „robustnost" systému v rámci samotné výuky v laboratoři i v terénu. Jako velice problematické se z pohledu učitelů ukázaly naše úvodní snahy realizovat zapojení měřicích obvodů a čidel s využitím nepájivého pole a jednotlivých propojovacích vodičů. Většina publikovaných prací ale právě tento přístup využívá (např. McClain 2014; Zhang *et al.* 2017; Soong *et al.* 2018; Jin *et al.* 2018; Pino *et al.* 2019; Soong *et al.* 2019; Costa & Fernandes 2019; Oh & Kang 2021; Morais & Araújo 2023). Z pohledu našich zjištění je tedy otázkou, jaká je reálná použitelnost takto navrhovaných měření ve výuce, kterou vede běžný učitel chemie a který není nadšenec do elektroniky a programování. Ukázalo se také, že časově velmi náročná byla část související s 3D tiskem krabiček a kompletací systému, včetně přípravy a akreditace vzdělávacího kurzu pro učitele (3D modelování, testování a úpravy 3D modelů, polepky na krabičky, příprava podkladů pro kurz).

Částečně problematická se jeví plánovaná udržitelnost celého projektu, která si žádá jisté časové investice i po skončení projektu. Do budoucna bude např. nezbytné pravidelně udržovat aktuální odkazy na online obchody s potřebnými součástkami, protože některé z nich již nejsou časem dostupné, a je třeba je nahradit jinými. Ideální by bylo, aby kolem otevřeného systému MoleGraph vznikla komunita aktivních učitelů/uživatelů, kteří by systém nadále udržovali a rozvíjeli. Pro tento scénář hraje cenový aspekt celého řešení školního měřicího systému MoleGraph, který je pro školy výhodný – oproti komerčním systémům je cena komponent skutečně „lidová". To umožňuje např. pořízení většího množství více různých čidel, což může být opět výhodou v oblasti STEM výuky. Pro výrobu různých doplňků modulů a čidel je pak ideální využívat 3D tisk. To propojuje práci s měřicím systémem s další dnešní významnou technologií vhodnou pro oblast STEM výuky. V neposlední řadě je zde i možnost kódování/programování a realizace nejrůznějších projektů v oblasti řízení, automatizace a robotiky.

Měli bychom si uvědomit, že v dnešní době přece nejde jen o to využívat zmiňovaných systémů k přírodovědným měřením a zkoumání různých jevů a jejich zákonitostí. Jde také o porozumění tomu, jak je takový měřicí systém konstruován, jak funguje, co jednotlivá čidla zaznamenávají, na jakém principu pracují a jak bychom mohli naměřený údaj použít také pro řízení a automatizaci. Právě to může vést ke správnému a smysluplnému využívání měřicích systémů v praxi, ať už ve školním nebo průmyslovém prostředí. Na základě našich dlouhodobých zkušeností ze školení učitelů v oblasti využívání ŠMS na různých stupních škol víme, že se na školách často zapomíná právě na tento rozměr využití ŠMS ve výuce. Proto se v rámci pokračování naší práce chceme věnovat přípravě sady STEM úloh, zaměřených na využití několika základních čidel s důrazem především na: pochopení principu funkce čidla, výběr správného čidla a odhalení problematických míst z pohledu návrhu experimentu i vlastního měření v průběhu samotného experimentu.

Poděkování

Děkujeme všem spolupracovníkům, kteří se do projektu nějakým způsobem zapojili, ať již cennou radou, různými náměty, nalezením chyby, napsáním „několika" řádek kódu nebo třeba testováním HW a SW stránky vyvíjeného měřicího systému. Největší měrou k tvorbě systému přispěli: Ing. Jakub Veselý (Elektrolux; programátorské práce, konzultace, testování), Ing. Martin Locker (SPŠ Rychnov nad Kněžnou; návrh PCB, elektrotechnická a SW podpora, konzultace, testování), Ing. Matouš Pokorný (DataVision; elektrotechnická a SW podpora, konzultace, testování) a RNDr. Miroslav Jílek, Ph.D. (Gymnázium Polička; konzultace, testování ve výuce).

Literatura

ARDUINO.CC 2022. *Arduino. Arduino – Home.* [online] [cit. 14. 1. 2023]. Dostupné na WWW: <https://www.arduino.cc/>.

COSTA, S. C. & JULIO C. B. FERNANDES 2019. Listening to pH. *Journal of Chemical Education* 96(2): 372–376.

EDU.CZ 2023. *Digitální učební pomůcky - inspiromat pro školy - edu.cz*. [online] [cit. 14. 1. 2023]. Dostupné na WWW: <https://www.edu.cz/digitalizujeme/digitalni-ucebni-pomucky/>.

E-MOLE.CZ 2022a. Kurz: Školní měřicí systém svépomocí a levně. [online]. Dostupné na WWW: <https://www.interactivelearning.cz/vzdelavani/skolni-merici-system-svepomoci-levne>.

E-MOLE.CZ 2022b. Přehled našich kurzů s tematikou 3D modelování a 3D tisku. [online]. Dostupné na WWW: <https://www.interactivelearning.cz/vzdelavani?field_oblast_tid%5B%5D=169>.

FELTL, T. 2022. *MoleGraph - seznam podporovaných čidel, schematické zapojení a odkazy na internetové obchody.* [online]. Dostupné na WWW: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1snYWBfPNHI4mHssnBOtG7mmu2evYEIM7/edit?usp=sharing&ouid=114070392153871433575&rtpof=true&sd=true>.

FELTL, T. & ŠMEJKAL, P. 2021. Školní měřicí systémy – požadavky učitele a možnosti vlastní stavby. 41–49. In *17th International seminar for PhD students of chemistry didactics and related doctoral study programs - Proceedings*.

FELTL, T., VESELÝ, J., LOCKER, M. & POKORNÝ, M. 2021. *MoleGraph*. [online] [cit. 24. 6. 2022]. Dostupné na WWW: <https://github.com/e-Mole/MoleGraph>.

GENDREAU CHAKAROV, A., BIDDY, Q. , HENNESSY ELLIOTT, C. & RECKER, M. 2021. The Data Sensor Hub (DaSH): A physical computing system to support middle school inquiry science instruction. *Sensors* 21(18): 6243.

GINGL, Z., MELLAR, J., SZEPE, T., MAKAN, G., MINGESZ, R., VADAI, G. & KOPASZ, K. 2019. Universal Arduino-based experimenting system to support teaching of natural sciences. *Journal of Physics: Conference Series* 1287: 012052.

JIN, H., YIHENG, Q., PAN, S., ALAM, A. U., DONG, S., GHOSH, R. & DEEN, M. J. 2018. Open–Source Low-Cost Wireless Potentiometric Instrument for pH Determination Experiments. *Journal of Chemical Education* 95(2): 326–330.

KOPASZ, K., MAKRA, P. & GINGL, Z. 2011. Edaq530: A transparent, open-end and open-source measurement solution in natural science education. *European Journal of Physics* 32(2): 491–504.

KUBINOVA, S. & SLEGR, J. 2015. ChemDuino: Adapting Arduino for low-cost chemical measurements in lecture and laboratory. *Journal of Chemical Education* 92(10): 1751–1753.

MARTIN, F.J., VALLEDOR. M., RODRIGUEZ, J., GONZALEZ, J. & MENÉNDEZ, J. 2014. Low-cost open-source multifunction data acquisition system for accurate measurements. *Measurement* 55: 265–271.

MCCLAIN, R. L. 2014. Construction of a photometer as an instructional tool for electronics and instrumentation. *Journal of Chemical Education* 91(5): 747–750.

METODICKÝ PORTÁL NPI | RVP.CZ 2022. Revize rámcových vzdělávacích programů. *Revize rámcových vzdělávacích programů*. [online] [cit. 14. 1. 2023]. Dostupné na WWW: <https://revize.rvp.cz>.

MORAIS, C. & ARAÚJO, J. L. 2023. An alternative experimental procedure to determine the solubility of potassium nitrate in water with automatic data acquisition using arduino for secondary school: development and validation with pre-service chemistry teachers. *Journal of Chemical Education* 100(2): 774–781.

NEULOG, 2022. NeuLog sensors. *NeuLog*. [online] [cit. 14. 1. 2023]. Dostupné na WWW: <https://neulog.com/>.

OH, PIL-KWANG & SEONG-JOO, KANG 2021. Integrating artificial intelligence to chemistry experiment: Carbon dioxide fountain. *Journal of Chemical Education* 98(7): 2376–2380.

PAPADIMITROPOULOS, N., DALACOSTA, K. & PAVLATOU, E. A. 2021. Teaching chemistry with arduino experiments in a mixed virtual-physical learning environment. *Journal of Science Education and Technology* 30: 550–566.

PASCO, 2022. Products for science education. *PASCO*. [online] [cit. 24. 5. 2022]. Dostupné na WWW: <https://www.pasco.com/products>.

PINO, H., PASTOR, V., GRIMALT-ÁLVARO, C. & LÓPEZ, V. 2019. Measuring CO_2 with an Arduino: Creating a low-cost, pocket-sized device with flexible applications that yields benefits for students and schools. *Journal of Chemical Education* 96(2): 377–381.

PRABHU, G. R. D. & URBAN, P. L. 2020. Elevating chemistry research with a modern electronics toolkit. *Chemical Reviews* 120(17): 9482–9553.

SOONG, R., AGMATA, K., DOYLE, T., JENNE, A., ADAMO, A. & SIMPSON, A. J. 2019. Rethinking a timeless titration experimental setup through automation and open-source robotic technology: Making titration accessible for students of all abilities. *Journal of Chemical Education* 96(7): 1497–1501.

SOONG, R., AGMATA, K., DOYLE, T., JENNE, A., ADAMO, T. & SIMPSON, A. 2018. Combining the maker movement with accessibility needs in an undergraduate laboratory: A cost-effective text-to-speech multipurpose, universal chemistry sensor hub (MUCSH) for Students with Disabilities. *Journal of Chemical Education* 95(12): 2268–2272.

TME.EU, 2022. *Nákupní seznam s možností objednání MoleGraph 2022/10*. [online]. Dostupné na WWW: <https://www.tme.eu/cz/parking/651099fbbccc5649599a-bf67f7d939df819a028d.html>.

TSALMPOURIS, G., TSINARAKIS, G., GERTSAKIS, N., CHATZICHRISTOFIS, S. A. & DOITSIDIS, L. 2021. HYDRA: Introducing a low-cost framework for STEM education using open tools. *Electronics* 10(24): 3056.

VERNIER, 2022. Science probeware & experiment software for teachers. *Vernier*. [online] [cit. 14. 1. 2023]. Dostupné na WWW: <https://www.vernier.com/>.

WALKOWIAK, M. & NEHRING, A. 2016. Using chemduino, excel, and powerpoint as tools for real-time measurement representation in class. *Journal of Chemical Education* 93(4): 778–780.

ZHANG, Q., BRODE, L., CAO, T. & THOMPSON, J. E. 2017. Learning Laboratory Chemistry through Electronic Sensors, a Microprocessor, and Student Enabling Software: A Preliminary Demonstration. *Journal of Chemical Education* 94(10): 1562–1566.

E English summary

MoleGraph or how to build a probeware system yourself

Probeware systems have been part of science education for a relatively long time. With the advent of the trend towards Industry 4.0, and a greater focus on polytechnic education, working with probeware systems is taking on a new dimension. The idea is not only to use these systems to measure in science and investigate various phenomena and their laws, but also to understand better how such a probeware system is constructed, how it works, what the individual sensors detect and on what principle they work. They are these competencies that lead to the correct and meaningful use of probeware systems in practice, whether in a school or industrial environment. However, this dimension of the use of probeware systems in education is often omitted.

I this paper we describe the design and development of an open source solution for a school probeware system MoleGraph. It is the DIY (Do It Yourself) approach in the field of school measurements that can provide a deeper understanding of the importance of the wiring and function of the sensor and the whole „measurement chain", which can be advantageously used for STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) education. The design of the overall MoleGraph probeweare solution is now ready for testing by teachers, both in software and hardware level.

Key words: Microcomputer based laboratory, MBL, probeware, microcontroller, STEM, DIY, Do It Yourself, open source, Arduino, MoleGraph.