

**Premena solárnej energie na elektrickú
prostredníctvom vzdialeného experimentu
Transformation of Solar Energy to
Electrical by Remote Experiment**

Žaneta Gerhátová¹ – Lukáš Tkáč²

¹Katedra fyziky, Pedagogická fakulta, Trnavská univerzita v Trnave
Priemyselná 4, 917 01 Trnava, e-mail: zaneta.gerhatova@truni.sk

²Katedra fyziky, Pedagogická fakulta, Trnavská univerzita v Trnave
Priemyselná 4, 917 01 Trnava, e-mail: lukas.tkac@truni.sk

Abstrakt: Príspevok prezentuje transformáciu energie prostredníctvom nového reálneho vzdialeného experimentu – *Premena energie*. V súčasnosti energia je jedným z najpopulárnejších pojmov a je kľúčovým problémom informačnej spoločnosti. Energia je integrujúca téma, ktorá je neoddeliteľnou súčasťou nielen všetkých prednášok a kurzov prírodovedného a technického zamerania, ale aj každodenného života. Z tohto dôvodu jej hlbšie porozumenie je dôležitým aspektom vzdelávania. Nové trendy v edukácii ukazujú, že učitelia majú umožňovať žiakom/študentom budovať znalosti na základe ich vlastnej aktívnej činnosti. Tento princíp je základom novej stratégie vzdelávania – integrovaného e-learningu, založeného na experimentovaní s reálnym, reálnym vzdialeným a simuláciou ako virtuálnym experimentom. K tomu bolo žiadúce vybudovať vzdialený experiment. Príspevok približuje jednotlivé časti novovybudovaného vzdialeného experimentu, voľne dostupného na adrese <http://remotelab10.truni.sk/>.

Kľúčové slová: elektrický prúd, energia, experiment, vodík, fotovoltaický článok, reálny vzdialený experiment, solárna energia

Abstract: The paper presents energy transformation via a new real remote experiment – *Energy transformation*. Nowadays, the energy is one of the most popular terms and is the key problem of recent information society. Energy is the integrating theme, which forms an inseparable constituent not only of compulsory part of training science and technology courses, but also everyday life. For this reason, its deeper understanding is a very important aspect of education. New trends in education follow, that the teachers should enable students to construct their knowledge based on their own activities. New strategy of education – Integrated e-Learning (INTe-L) is based on this principle of experimentation with the direct use of real, real remote and interactive simulations as a virtual experiment. The paper introduces individual parts of a new build remote experiment, available on <http://remotelab10.truni.sk/>.

Keywords: electric current, energy, experiment, hydrogen, photovoltaic cell, real remote experiment, solar energy

1 Úvod

Na akýkoľvek prejav života je potrebná energia. Slovo energia pochádza z gréckeho slova „*ergon*“ – činnosť [1]. Energia môže byť v rôznych formách, ktoré sa môžu navzájom premieňať. Pre uzavretú sústavu platí zákon zachovania energie, presnejšie zákon zachovania hmoty a energie, ktoré sa môžu navzájom premieňať podľa slávnej Einsteinovej rovnice

$$E = m \cdot c^2 \quad (1)$$

V masovo-komunikačných prostriedkoch nachádzame informácie o využívaní energetických zdrojov, o nastávajúcej energetickej kríze, o nedostatku fosílnych t. j. tradičných zdrojov, a v poslednej dobe aj o využívaní alternatívnych zdrojov energie: slnečnej, veternej, geotermálnej, biomasy a pod. Energia je azda najfrekvencovanejší pojem súčasnosti a zároveň aj integrujúca téma, ktorá reflektuje otázky súčasného človeka, krajiny, EÚ, sveta.

Pojem energia tvorí povinnú súčasť vzdelávania fyziky i ďalších prírodovedných (chémia, biológia), ako aj technických predmetov na všetkých stupňoch škôl. Aj napriek tomu, že sa pojmu energia venuje veľa pozornosti vo fyzike, v technickej výchove, v chémii, v biológii a je neoddeliteľnou súčasťou environmentálnej výchovy, žiaci a študenti všetkých typov škôl majú problémy s jeho pochopením. Pri tom je energia jedným z termínov, ktorý najviac prenikol do bežného jazyka, hoci tu často nemá nič spoločné s jeho významom v prírodných a technických vedách. V základných, stredných školách i univerzitách sa bežne pracuje s pojmom energia a predpokladá sa, že žiaci a študenti ho budú vedieť plnohodnotne používať. Avšak tento termín patrí z pohľadu výskytu miskoncepcií za veľmi významný. Výskumy, ktoré sa venovali identifikácii kvality porozumenia spomínaného pojmu, uskutočnené najmä za ostatných viac ako tridsať rokov, poskytujú hodnotné informácie o nedostatkoch v jeho chápaní. Duit [2] zistil, že predstavy žiakov a študentov o energii odrážajú použitie pojmu energia v spoločenskom kontexte, a nerešpektujú vedecký náhľad na tento pojem. Trumper [2] tvrdí, že naivné predstavy žiakov a študentov o energii vznikajú v kontexte, ktorý je nevhodný pre „školskú vedu“, ale sú opodstatnené a hodnotné v ich každodennom svete. Veľa pojmov v technike i prírodných vedách, a pojem energia obzvlášť, sa používajú rôznym spôsobom v každodennom jazyku. Žiaci ich často počujú, alebo o nich čítajú a asimilujú ich použitím vlastných neodborných náhľadov na svet okolo nich. Tieto interpretácie však nie sú vopred vytýčenými cieľmi učiteľov. Okrem toho sú každodenne konfrontovaní s informáciami o javoch v prírode, vo vesmíre z médií (a iných informačných zdrojov), od rodičov, rovesníkov, no tieto často odporujú vedeckým vysvetleniam, ktoré sú im predkladané v školách. Jednou z príčin tohto stavu je určite aj fakt, že pri tradičnom vyučovaní učitelia predkladajú žiakom informácie v hotovej podobe.

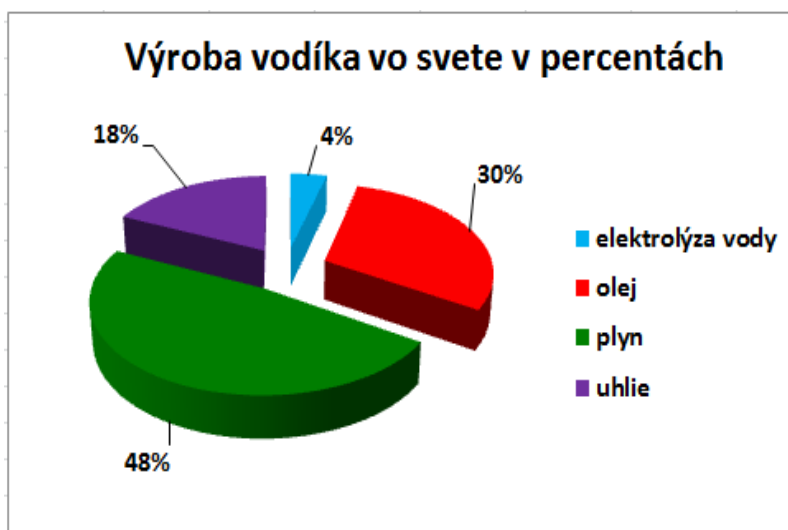
Z uvedeného vyplýva, že pri objasňovaní pojmu energia, podobne ako aj ďalších fyzikálnych pojmov a zákonitostí prebiehajúcich v prírode a vo vesmíre, musíme umožniť žiakom konštruovať si vedomosti na základe ich vlastnej aktivity. Práve táto skutočnosť je podstatou novej stratégie vzdelávania, ktorú jej autori – Schauer, Lustig, Ožvoldová (2009), nazvali integrovaný e-learning (INTe-L) [2]. INTe-L je stratégia vyučovania a učenia sa, založená na priamej možnosti využitia reálneho, reálneho vzdialeného a virtuálneho experimentu vo vyučovaní, ktorým sa vlastne dopĺňa štandardný e-learning o chýbajúci článok – experiment.

2 Premena energie žiarenia na elektrickú energiu

Aby sme podporili samostatnú experimentálnu činnosť žiakov/študentov a tým aj hlbšie porozumenie jedného zo základných pojmov energia, sme sa na Katedre fyziky Pedagogickej fakulty Trnavskej

univerzity v Trnave rozhodli vybudovať vzdialený experiment – *Premena energie* a tak rozvíjať aktívne experimentovanie prostredníctvom Internetu.

Pri jeho tvorbe sme vychádzali z poznatku, že v súčasnosti sa považuje za veľmi perspektívny druh energie vodík. Je to najľahší prvok periodickej sústavy prvkov a aj najrozšírenejší prvok vo vesmíre. Objavil ho v roku 1766 anglický fyzik a chemik Henry Cavendish. Vodík je viazaný v mnohých zlúčeninách napr. vo vode. Možno ho vyrobiť ako z fosílnych palív, tak aj elektrolýzou vody. Percentuálne vyjadrenie výroby vodíka zobrazuje obr. 1.

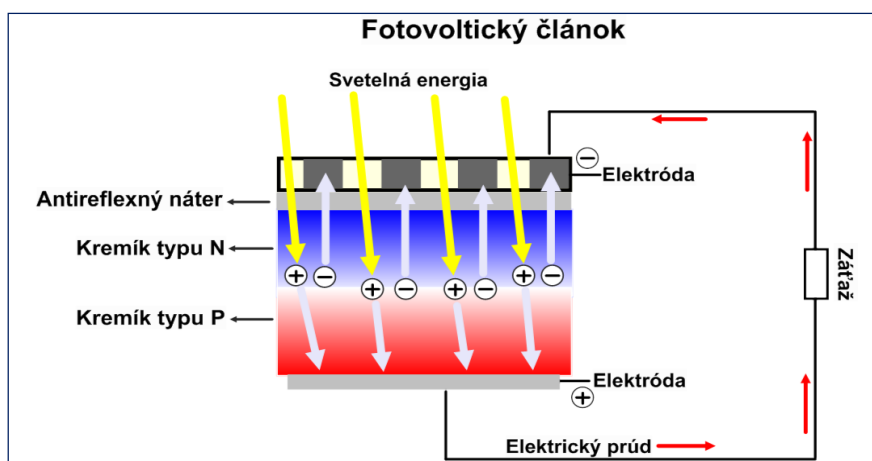


Obr. 1 Výroba vodíka vo svete v percentách

2.1 Premena solárnej energie na elektrickú v polovodičových fotovoltických článkoch

Pri tradičných spôsoboch výroby vodíka z fosílnych palív vznikajú jedovaté a skleníkové plyny. Pri výrobe vodíka elektrolýzou vody využívame ako zdroj energie solárnu energiu – najväčší zdroj energie v slnečnej sústave. V roku 1839 si Edmund Becquerel všimol, že pôsobením slnečného žiarenia je možné pri určitých elektrochemických konfiguráciách vyrábať elektrickú energiu.

Pre priamu premenu energie slnečného žiarenia na elektrickú energiu sa fotovoltický jav začal využívať až v roku 1954. V súčasnosti najrozšírenejší a najperspektívnejším princípom premeny solárnej energie na elektrickú je priama premena v polovodičových fotovoltických článkoch [3] (obr. 2). Tie využívajú energiu slnečného žiarenia a priamo ju premieňajú na elektrický prúd pomocou vnútorného fotoelektrického javu, pri ktorom dochádza po dopade slnečného žiarenia k uvoľneniu viazaných elektrónov v polovodiči. Vnútorným fotoelektrickým javom sa síce zvýši vodivosť polovodiča, ale nevytvorí sa potenciálový rozdiel. Ten možno vytvoriť buď nerovnomerným osvetlením polovodiča, alebo vytvorením článku tak, že sa spoja dva polovodiče s rôznym typom vodivosti alebo spojením polovodiča s kovom.



Obr. 2 Fotovoltaický článok

Prevod žiarivej energie na elektrickú je zložitý fyzikálny dej. Účinnosť prevodu žiarivej energie na elektrickú alebo i pomer elektrického výkonu:

$$P_{el} = I_m U_m \quad (2)$$

odvádzaného z článku (I_m a U_m sú prúd a napätie fotovoltického článku pre maximálny výkon do vonkajšej záťaže a P_{rad} je výkon dopadajúceho slnečného žiarenia) je definovaný:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{rad}} \quad (3)$$

Účinnosť prevodu môže byť vyjadrená pomocou parciálnych (čiastočných) účinností [4]

$$\eta_{photoeffect} = \eta_r \cdot \eta_e \cdot \eta_p \cdot \eta_{el} = \eta_r \cdot \eta_e \cdot \eta_p \cdot FF \quad (4)$$

kde $\eta_r = P_{abs}/P_{rad} = 0,70$ je pomer výkonu odrazeného žiarenia k výkonu dopadajúcemu (s priemernou odrazivosťou $R = 0,30$ [5]), $\eta_e = 1 - T/T_s$ je účinnosť Carnotovho tepelného cyklu, kde $T = 300$ K a $T_{lampy} = 1300$ K sú teploty okolia a teplota zdroja žiarenia, $\eta_e = 1 - T/T_{lampy} = 0,77$; $\eta_p = 0,15$ [6] je príspevok k účinnosti vplyvom neprispôsobeniu sa kremíka spektru žiarenia lampy, η_{el} je príspevok k účinnosti, daný kumulatívnymi elektronickými parametrami fotovoltického článku, určený vzťahom:

$$\eta_{el} = \frac{I_m \cdot U_m}{I_{sc} \cdot U_{oc}} = FF \quad (5)$$

kde I_{sc} je prúd článkom nakrátko ovplyviteľný hlavne optimalizáciou transportných vlastností, pohyblivosťou, ďalej geometriou článku a hrúbkou aktívnej vrstvy, U_{oc} je napätie naprázdno ovplyviteľné výberom materiálu a FF je tzv. faktor plnenia fotovoltického článku, daný kvalitou kontaktov a morfológiou materiálu a rovnako je závislý od odporu aktívnej polovodičovej vrstvy. Účinnosť súčasných fotovoltických článkov sa pohybuje od 1 – 30 %, v závislosti od materiálov použitých na ich výrobu.

Elektrický prúd získaný priamou premenou energie slnečného žiarenia v ďalšom kroku rozkladá vodu v procese elektrolyzy. Produktmi elektrolyzy sú **vodík** a **kyslík**. V našom experimente *Premena energie* využívame elektrolyzér s tuhou **PEM membránou** (Proton Exchange Membrane – iónomeničová

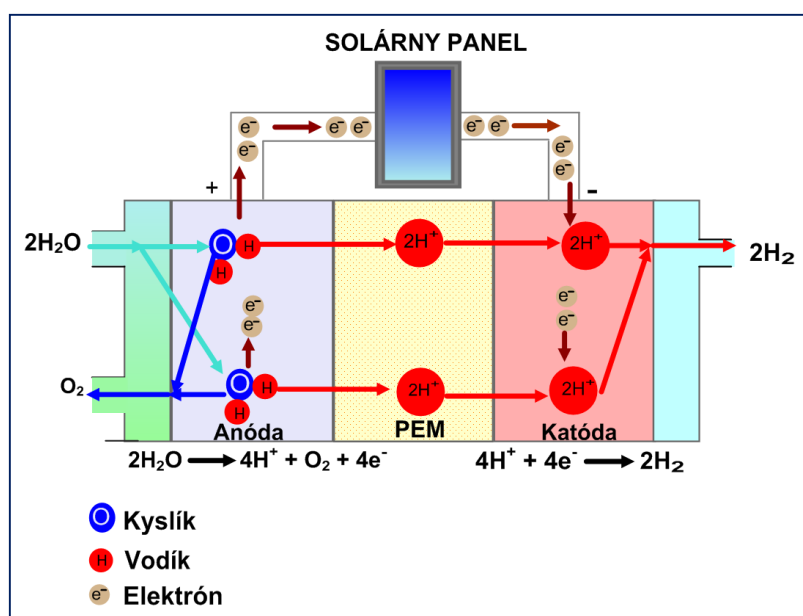
membrána) (obr. 3), ktorá umožňuje priamy prevod prúdu prostredníctvom protónov H^+ . Výhodou tohto typu elektrolyzéra je, že pri elektrolyze sa nepoužíva elektrolyt s obsahom hydroxidu draselného, ale destilovaná voda. Z hľadiska ochrany životného prostredia je dôležité, že pri reakcii nevznikajú žiadne škodlivé plyny. Rozklad vody sa uskutočňuje podľa stechiometrickej rovnice:



$$\Delta H_{298}^0 = 286,26 \text{ kJ} \quad \text{a} \quad \Delta G_{298}^0 = 237,36 \text{ kJ}$$

kde

- ΔG je zmena Gibbsovej energie reakcie (udáva, aké minimálne množstvo práce musíme vynaložiť na rozštiepenie 1 mólu vody na vodík a kyslík pri tzv. normálnom atmosférickom tlaku vzduchu 101 325 Pa),
- ΔH je zmena entalpie reakcie.



Obr. 3 Schéma elektrolyzy vody v elektrolyzéri s PEM membránou [7]

Množstvo elektrickej práce na rozloženie 1 mólu H_2O je $2FU$, kde U je napätie elektrolyzného článku. Platí vzťah ekvivalencie:

$$\Delta G = 2FU_{st} \quad (7)$$

kde U_{st} je rovnovážne napätie (steady-state voltage) kyslíkovo-vodíkoveho článku, pri ktorom majú elektródové reakcie v oboch smeroch rovnakú rýchlosť. Číselne možno toto napätie vyjadriť nasledujúco:

$$U_{st} = \frac{G_{298K}}{2F} = \frac{273000}{2,96478} = 1,229 \text{ V} \quad (8)$$

Pri tomto napätí je výťažok elektrolyzy nulový, preto pre dosiahnutie technicky významného výťažku musíme zvýšiť napätie článku. Tým sa prekonáva odpor vylučovania plynov na elektródach tzv. aktivačné napätie elektródy a ohmický odpor článkov [8].

Pre celkové napätie článku platí:

$$U = U_{st} + \eta_{kath} + \eta_{anod} + \Sigma RI \quad (9)$$

kde

- η_{kath} a η_{anod} je aktivačné napätie na elektródach,
- ΣR je celkový odpor článku,
- I je prúd pretekajúci článkom.

Aktivačné napätie na elektródach je dané Tafelovým vzťahom [9]:

$$\eta_{akt} = a + b \cdot \log(i) \quad (10)$$

kde

- a, b sú konštanty závislé od elektródového materiálu, teploty a tlaku vylučujúcich plynov,
- i je prúdová hustota (prúd vzťahnutý na jednotku plochy elektródy. Pri nedostatočnom odvode plynov z povrchu elektród pri elektrolýze sa môže prejavíť ešte koncentračné napätie, ktoré je ale pri elektrolýzéroch eliminované cirkuláciou elektrolytu.

Z hľadiska tepelnej bilancie elektrolýzéra je dôležitá hodnota termonukleárneho napätia článku:

$$U_{tn} = \frac{\Delta H_{298K}}{2F} = 1,48 \text{ V} \quad (11)$$

Pri tomto napätí elektrolýzér pracuje autotermne. Ak napätie stúpne nad hodnotu U_{tn} , odovzdáva elektrolýzér teplo do okolia.

Účinnosť elektrolýzy je nepriamo úmerná napätiu na článku elektrolýzéra a je odvodená z termoneutrálneho napätia a skutočného napätia na svorkách elektrolýzéra:

$$\eta_{el} = \frac{\Delta H_{298K}}{2FU} = \frac{U_{tn}}{U} = \frac{1,48}{U} \quad (12)$$

Pri elektrolýze vzniká dvojnásobné objemové množstvo vodíka v porovnaní so vzniknutým objemom kyslíka. Podľa Faradayovho zákona platia pre množstvo vylúčeného vodíka a kyslíka nasledujúce vzťahy:

$$m_{H_2} = \frac{I\tau M_{H_2}}{2F} \quad (13)$$

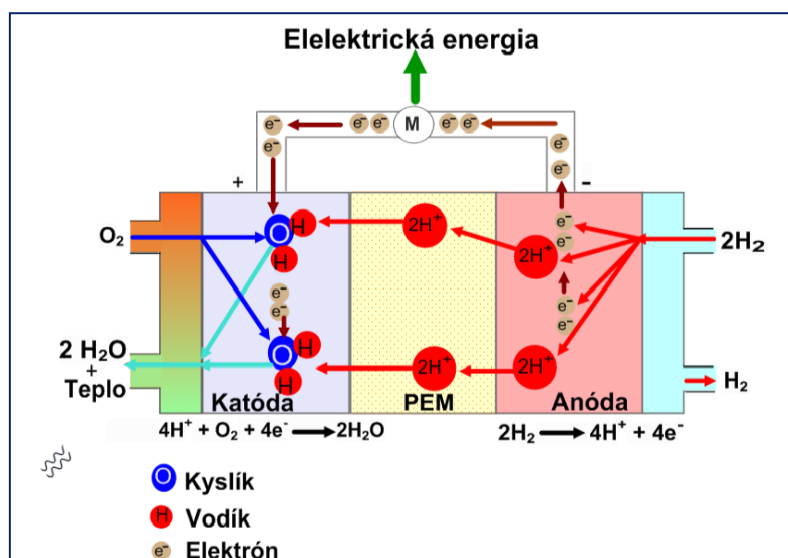
$$m_{O_2} = \frac{I\tau M_{O_2}}{4F} \quad (14)$$

kde

- I je prúd pretekajúci elektrolýzérom,
- τ je čas trvania elektrolýzy
- M_{H_2} je mólová hmotnosť vodíka ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$),
- M_{O_2} je mólová hmotnosť kyslíka ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$),
- F je Faradayov náboj ($96\,487 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$).

2.2 Premena chemickej energie paliva – vodíka v palivovom článku

Vzhľadom na svoje chemické vlastnosti je vodík vynikajúcim palivom pre palivové články. Princíp palivového článku objavil v r. 1839 waleský fyzik Sir William Grove. Prebieha v nich reakcia vodíka a kyslíka, čo je vlastne opačný dej ako elektrolýza vody. Palivový článok je zariadenie na premenu chemickej energie paliva – vodíka na elektrickú energiu a teplo. Do palivového článku sa reaktanty dodávajú nepretržite a vlastný článok sa reakcie nezúčastní, preto sa ani nemôže „vybiť“. Jeho životnosť je obmedzená len dodávkou paliva a životnosťou jednotlivých komponentov. Skladá sa z poréznych elektród oddelených elektrolytom (obr. 4).



Obr. 4 Schéma princípu fungovania palivového článku [10]

V oblasti pórov elektród vzniká trojfázové rozhranie – elektróda, elektrolyt a reagenty vzniknuté oxidáciou paliva a redukciovou oxidáciou. V štandardnom palivovom článku sa privádza plynné palivo – vodík na anódu (kladná elektróda) a oxidant (kyslík zo vzduchu) na katódu (záporná elektróda). Na elektródach prebieha elektrochemická (oxidačno-redukčná) reakcia, pri ktorej vzniká elektrický prúd. Elektrické napätie v palivovom článku vzniká pri elektrochemickej oxidácii vodíka a elektrochemickej redukcii kyslíka:



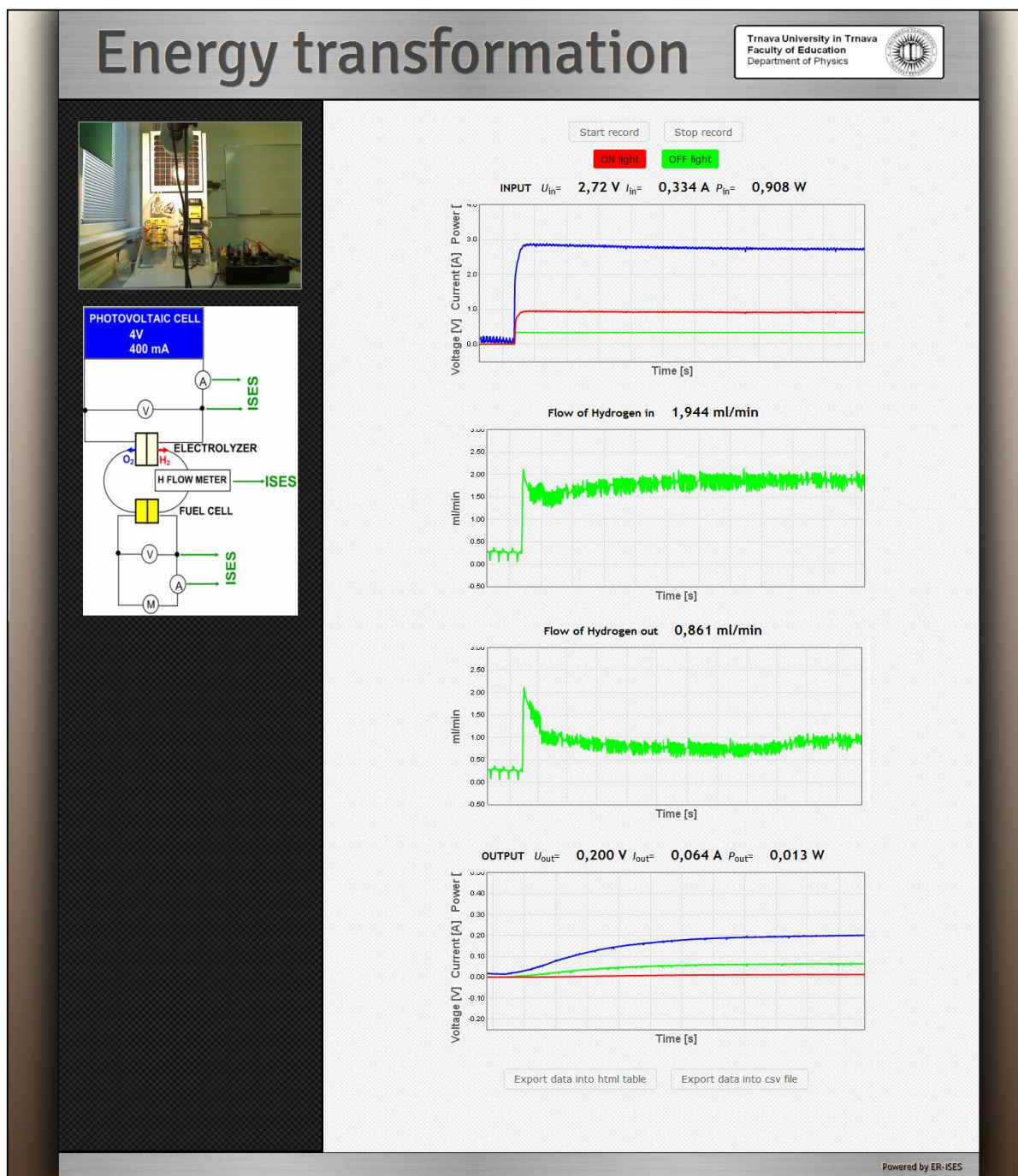
Teoretická účinnosť palivového článku η_{\max} vztiahnutá na hodnotu ΔH_{298} je daná vzťahom:

$$\eta_{\max} = \frac{\Delta G_{298}}{\Delta H_{298}} = \frac{1,229}{1,48} = 0,83 \quad (17)$$

Účinnosť palivového článku η_{FC} možno vyjadriť podielom skutočného napätia článku U a termoneutrálneho napätia kyslíkovo-vodíkového článku U_{TN} – vyjadruje maximálne napätie, ktoré môže článok dosiahnuť [11]:

$$\eta_{FC} = \frac{U}{U_{TN}} \quad (18)$$

Jednotlivé druhy palivových článkov sa líšia materiálom elektród, zložením elektrolytu, teplotou i chemickými reakciami. Ako elektrolyt sa používa napr. kyselina fosforečná, hydroxid draselný, tavenina alkalických uhličitanov, polymérna membrána aj pevný oxidický elektrolyt. Nízko- a vysokoteplotné pracujú pri 60 °C – 130 °C, vysokoteplotné pri 600 °C – 1 050 °C [12].



Obr. 5 Webová stránka vzdialeného experimentu Premena energie (dostupné na: <http://remotelab10.truni.sk/>) [13]

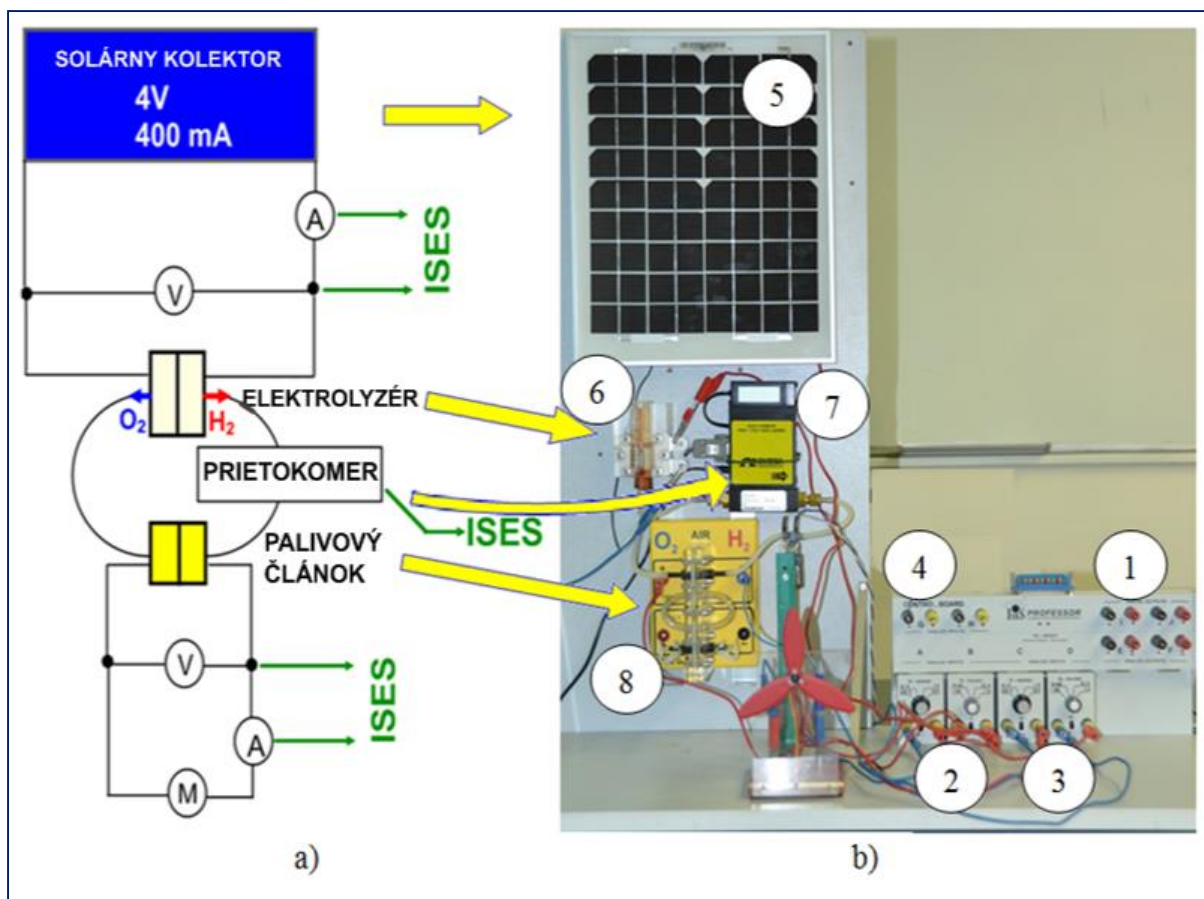
3 Premena energie – popis usporiadania vzdialeného experimentu

Pri tvorbe experimentu sme vychádzali z poznatku, že v súčasnosti sa vodík považuje za veľmi perspektívny druh energie. Pri jeho výrobe elektrolýzou vody využívame ako zdroj energie solárnu energiu – najväčší zdroj energie v slnečnej sústave. Prevod žiarivej energie na elektrickú je zložitý fyzikálny dej a účinnosť toho prevodu môžeme vyjadriť pomerom prenášaného výkonu, ktorý je odvádzaný z článku do záťaže – v našom prípade elektrolýzera a výkonom dopadajúceho slnečného žiarenia. Elektrický prúd získaný priamou premenou energie slnečného žiarenia, v ďalšom kroku rozkladá vodu v procese elektrolýzy. Produktmi elektrolýzy sú vodík a kyslík, ktoré v ďalšom kroku spätne reagujú v palivovom článku, čo je opačný dej ako elektrolýza a vzniknutá chemická energia sa premieňa na teplo a elektrickú energiu, ktorá poháňa elektromotor s vrtuľou.

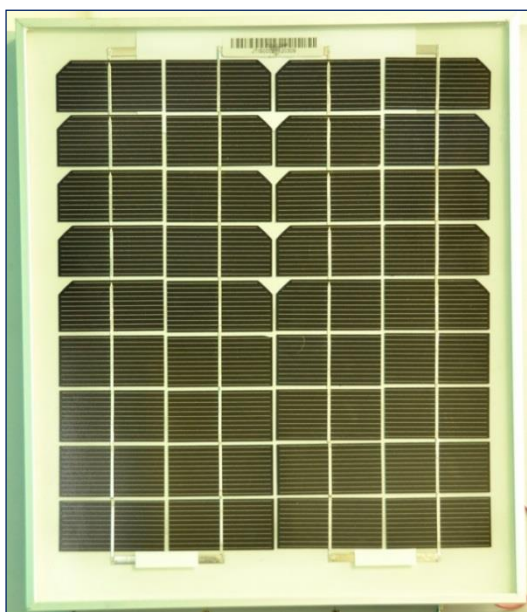
Webová stránka vzdialeného experimentu *Premena energie* (obr. 5) obsahuje na ľavej strane web kameru so živým obrazom, na ktorom môže používateľ nepretržite pozorovať priebeh experimentu dostupné na adrese <http://remotelab10.truni.sk/>. Pod kamerou je umiestnená bloková schéma zapojenia experimentu. Na pravej strane sa nachádza telo webovej stránky, ktoré zabezpečuje meranie. Na jeho vrchnej strane sú tlačidlá na záznam meraných dát (Pozn.: Na to, aby mohol používateľ zaznamenávať dáta, je potrebné pred meraním stlačiť tlačidlo ŠTART ZÁZNAMU HODNÔT.) Po stlačení tlačidla ŠTART ZÁZNAMU HODNÔT sa aktivujú tlačidlá na rozsvietenie/zhasnutie lampy, ktorá žiari na fotovoltický článok.

V grafoch pod ovládacími tlačidlami sa priebežne vykresľujú merané dáta. Vedľa každého grafu sa nachádzajú displeje pre zobrazenie aktuálne meraných hodnôt v digitálnej podobe (U , I , P). V prvom grafe sa zobrazuje napätie a prúd fotovoltického článku. Rovnako sa zobrazuje aj výkon, ktorý je dodávaný do elektrolýzera. V druhom a treťom grafe sa nachádza graf toku vodíka v jednotkách ml/min. Konkrétne druhý graf zobrazuje objem (prietok) vyrobeného vodíka a tretí graf zobrazuje objem (prietok) vodíka, ktorý nebol spotrebovaný v palivovom článku. V štvrtom grafe sa nachádzajú dáta z palivového článku (U , I) a tiež výkonu, ktorý je dodávaný palivovým článkom do záťaže. Pomocou tlačidiel pod grafmi si môže používateľ namerané dáta zobraziť a následne stiahnuť do vlastného PC vo formáte pre Excel, prípadne v inom formáte.

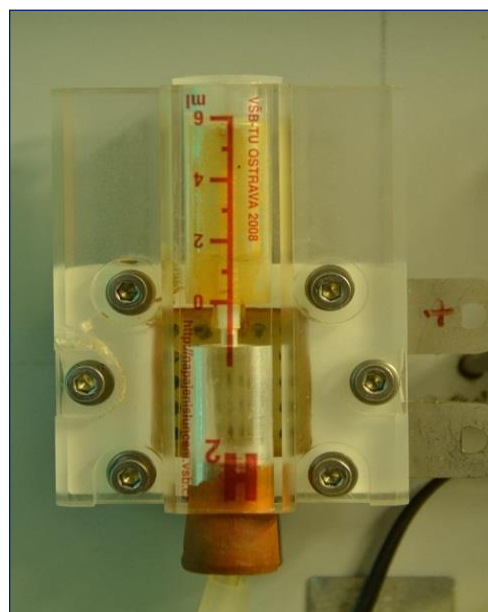
Pri tvorbe vzdialeného experimentu *Premena energie* sme využívali laboratórny systém ISES (Internetový Školský Experimentálny Systém), ktorý pozostáva z „plug and play“ fyzikálneho softvéru a hardvéru určeného pre školské experimentovanie. Merací hardvér sa skladá z ISES panela a súboru ľahko zameniteľných modulov a snímacích senzorov, ktoré sú zobrazené na obr. 6 číslami 1, 2, 3. Vzdialený experiment pozostáva z fotovoltického panela (obr. 7) s parametrami 4 V, 400 mA. Pomocou vodičov sa prenáša výkon z fotovoltického článku do elektrolýzera VŠB-TU OSTRAVA PC001 (obr. 8) s tuhou PEM membránou, ktorá umožňuje priamy prevod prúdu prostredníctvom protónov H^+ . V prvom kroku teda elektrolýzer rozkladá vodu na vodík a kyslík. Následne je vodík aj kyslík hnaný trubicami do palivového článku DT775-1B „inno“ (obr. 9). Prietok vodíka, ktorý je vyrábaný, ale aj ten ktorý nie je spotrebovaný, je zaznamenávaný pomocou prietokomerov OMEGA FMA 1802 (obr. 10). Napätový výstup z týchto prietokomerov zaznamenáva ISES V-meter. Hodnotu z ISES V-metra vyhodnocovací softvér experimentu prepočíta na príslušnú hodnotu aktuálneho prietoku, a tú zobrazí na webovej stránke experimentu.



Obr. 6 Usporiadanie reálneho vzdialeného experimentu Premena energie. Schéma usporiadania (a) a náhľad na reálne usporiadanie experimentu (b): (1) ISES panel, (2) 2x ISES V-meter, (3) 2x ISES A-meter, (4) analógové vstupy (V-meter), (5) PV panel, (6) elektrolyzér, (7) vodíkový prietokomer, (8) palivový článok



Obr. 7 Fotovoltický panel



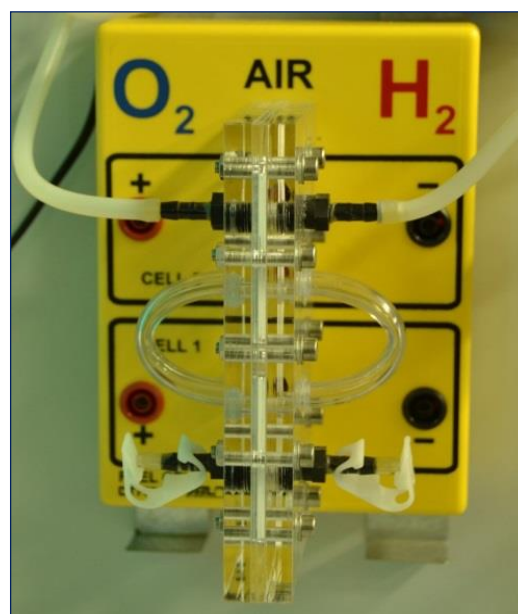
Obr. 8 Elektrolyzér VŠB-TU Ostrava PC001

V palivovom článku teda následne prebieha spätná reakcia vodíka s kyslíkom, kde je vzniknutá elektrická energia dodávaná do záťaže (elektromotor, odpor, turbína, žiarovka a pod.), (obr. 6). Všetky

veličiny zobrazované na webovej stránke experimentu (obr. 5) sú merané pomocou modulov systému ISES (2× ISES V-metre, 2× ISES A-metre). Výstupné dáta experimentu sú radené do stĺpcov (obr. 11). Z ponuky si používateľ môže vybrať dáta z viacerých formátov. Na obr. 6 nie je zachytený simulátor slnečného žiarenia. Transformácia reálneho (tzv. hands-on) experimentu na vzdialený experiment využíva komunikačnú schému server-client, my sme využili prostredie Easy Remote ISES (ER ISES) umožňujúci zostavovanie programového riadenia vzdialených experimentov bez znalosti programovania na základe JavaScriptu.



Obr. 9 Palivový článok DT775-1B „INNO“ s tuhú PEM membránou



Obr. 10 Prietokomer OMEGA FMA 1802

t [ms]	U_{in} [V]	I_{in} [mA]	U_{out} [V]	I_{out} [mA]	Tok H_2 [ml/min]
0145	0,0195	0	0,0078	0	0,0664
0245	0,0273	0	0,0078	0	0,0703
0344	0,0703	0	0,0078	0	0,0664
0445	0,0703	0	0,0039	0	0,0625
0544	0,0391	0	0,0078	0	0,0664
0645	0,0742	0	0,0078	0	0,0703
0745	0,0273	0	0,0039	0	0,0625
0844	0,0352	0	0,0039	0	0,0664
0945	0,0312	0	0,0039	0	0,0547
1044	0,0352	0	0,0078	0	0,0664

Obr. 11 Výstupné hodnoty z experimentu Premena energie vo formáte pre Excel

4 Záver

Náš súčasný každodenný život je spojený s rastúcou spotrebou energie. Z hľadiska problematiky energie čaká na budúce generácie riešenie celého množstva problémov. Aj práca s reálnym vzdialeným experimentom *Premena energie* má žiakov a študentov priblížiť tento typ transformácie energie

a naučiť ich riešiť úlohy skutočného sveta okolo nich, problémy, ktoré sa „oplatí“ riešiť je ich budúci život.

Nakoľko sa venujeme experimentu s palivovým článkom PEM je dôležité zdôrazniť, že palivové články typu PEM by si v blízkej budúcnosti mali nájsť uplatnenie v mobilných aj stacionárnych aplikáciách. Ide predovšetkým o automobilový a letecký priemysel. Otázne však ostávajú možnosti uskladňovania vodíka a jeho následného použitia v mobilných aplikáciách. Tento typ palivového článku je jedným z najslubnejších typov palivových článkov. Tie sú považované za vynikajúce zariadenie pre budúce elektrárne, ktoré by mali vyrábať čistú elektrinu s vysokou mierou konverzie, nízkymi emisiami a nízkou hlučnosťou. Energetické analýzy naznačujú, že tieto články možno považovať za základ pre budúce práce zaoberajúce sa termo-ekonomickými optimalizáciami systémov.

Literatúra

- [1] GERHÁTOVÁ, Ž., OŽVOLDOVÁ, M. (2013) Energia v prírode, technike a spoločnosti In: Acta Facultatis Paedagogicae Universitatis Tyrnaviensis. Trnava : Trnavská univerzita, Pedagogická fakulta, 2013. – ISBN 978-80-8082-756-4. – 91 s. [online], [dostupné na: <http://pdf.truni.sk/actafp/2013/c/>, citované dňa 31. 12. 2015].
- [2] OŽVOLDOVÁ, M., GERHÁTOVÁ, Ž. (2010) Projektové vyučovanie s využitím Integrovaného e-Learningu. TYPI Universitatis Tyrnaviensis, Bratislava : 2010. 978-80-8082-386-3.
- [3] SMESTAD, G., P. (1998) Education and solar conversion: Demonstrating electron transfer. In: Solar Energy Materials and Solar Cells 55. pp. 157 – 178.
- [4] SCHAUER, F., LUSTIG, F. and OŽVOLDOVÁ, M. (2007) Remote materials science internet experiments: solid state photovoltaic cell characterization. In: Journal of Materials Education, Vol. 29 (3-4), 2007, pp. 193-200.
- [5] CHELIKOWSKY, J. R., COHEN, M. L. (1976) In: Phys. Rev. B14, 556-582.
- [6] BONNEFILLE, R., ROBERT, J. (1976) Principes generaux des convertisseurs directs d energie, Dunod, Paris, 1971.
- [7] TKÁČ, L., SCHAUER, F., GERHÁTOVÁ, Ž. (2014) Remote experiment on characterization of energy transducers. In: REV 2014. – ISBN 978-1-4799-2025-9. – S. 248-253.
- [8] KLENOVČANOVÁ, A. BRESTOVIČ, T., IMRI, I. (2010) Využitie fotovoltaiiky na výrobu vodíka elektrolýzou vody. In: Chem. Listy č. 104, s. 122 – 129.
- [9] BALAJKA, J. *Vodík a iné nosiče energie*. Bratislava : ALFA, 1982.
- [10] TKÁČ, L., SCHAUER, F., GERHÁTOVÁ, Ž. (2014) Chemical energy sources transformations by remote experiment. In: iJOE. – ISSN 1861-2121. – Vol. 10, no. 4 (2014), p. 35-39.
- [11] BRESTOVIČ, T. (2006) Výroba vodíka elektrolýzou vody pomocou slnečnej energie. Diplomová práca, SJF, Technická univerzita v Košiciach, pp. 17 – 31.
- [12] Principle of fuel cell available at: «<http://www-iwe.etec.uni-karlsruhe.de>» – Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik der Universität Karlsruhe. In: PORŠ, Z. Palivové články. [Online]. [Cit. 31. 12. 2015] «<http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>».
- [13] SCHAUER, F., OŽVOLDOVÁ, M., GERHÁTOVÁ, Ž., TKÁČ, L. (2013) Vzďialené laboratóriá pri diseminácii vedeckých poznatkov. [1. vyd.]. Trnava: Typi Universitatis Tyrnaviensis, 2013. – 238 s., [15,95 AH]. ISBN 978-80-8082-770-0.