

**Moderno poučevanje naravoslovja in tehnike z uporabo
fleksibilnega merilnega sistema z odprtokodnim
programjem – eEksperimenti**
*Modern teaching of natural sciences using flexible
measurement system with open source software -
eExperiments*

¹Dejan Križaj, ¹Marko Meža, ²Jurij Bajc, ³Alenka Kavčič, ¹Borut Pečar ¹

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Ljubljana, Slovenia
dejan.krizaj@fe.uni-lj.si
marko.meza@fe.uni-lj.si
borut.pecar@fe.uni-lj.si

²Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta
Ljubljana, Slovenia
jurij.bajc@pef.uni-lj.si

³Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko
Ljubljana, Slovenia
alenka.kavcic@fri.uni-lj.si

Povzetek. V prispevku predstavljamo projekt eEksperimenti, s katerim vzpostavljamo merilno platformo na osnovi odprtokodne merilno-računalniške kartice Red Pitaya, ki je namenjena kreativnemu poučevanju naravoslovja in tehnologije v srednjih in delno tudi osnovnih šolah. V merilni spletni platformi predstavimo osnovne elektrotehniške pojme in načine merjenja s pomočjo merilne kartice, več primerov eksperimentov s polno didaktično podporo in prilagojenimi aplikacijami ter vrsto aplikacij, ki omogočajo zajemanje signalov raznovrstnih senzorjev (senzor svetlobe, temperature, pospeška, magnetnega polja) in s tem samostojno in kreativno delo učiteljev in učencev.

Ključne besede: merilno-računalniška kartica, DAQ, eksperimenti, naravoslovje, tehnologija, srednja šola, osnovna šola

Abstract. The paper describes the project named eEksperimenti (eExperiments) aimed in development of a measurement platform based on open source computer-measurement card Red Pitaya. It can be used for creative teaching

and learning of natural sciences and technologies in the primary and secondary schools. The web based platform first describes basic electrical terms and principles of measurements using computer-measurement card Red Pitaya. Several experiments with full didactical support are developed for use of more or less skilled users. For this purpose each experiment is divided into three levels of difficulty. In addition several applications for acquisition of data from several sensors such as photo sensor, temperature sensor, accelerometer, magnetic field sensor are developed. The platform enables design of new creative experiments to be run by teachers as well as scholars themselves.

Keywords: computer-measurement card, DAQ, Red Pitaya, experiments, natural sciences, secondary schools, primary schools.

1 Uvod

Trenutno v (srednjih) šolah uporabljajo ITK tehnologijo večinoma v obliki uporabe računalniških programov brez nadgradnje s senzorskimi ali merilnimi sistemi. Eden od problemov za premajhno zanimanje srednješolcev za naravoslovje in tehnologijo v Sloveniji je tudi premalo uporabe moderne tehnologije v pedagoškem procesu, predvsem uporabe naprednih merilnih sistemov v kombinaciji z računalniško obdelavo podatkov. Osnovni problem je verjetno ta, da je tehnologiji v šolah posvečeno premalo časa. Moderna tehnologija slednje omogoča in to vedno bolj, saj bo naša bodočnost zaznamovana z vseobsegajočim senzorskim in merilnim omrežjem, računalnik pa bo služil za zajem, prikaz in obdelavo. Za napredno učenje naravoslovja je uporaba računalnika ključnega pomena, saj omogoča boljše vizualizacijo in interakcijo. Vedno bolj so tudi zanimive uporabe računalniških programov, ki omogočajo simulacijo fizikalnih pojavov (fizleti, Easy Java Simulations, Phet, glej npr. <http://www.opensourcephysics.org/> in <https://phet.colorado.edu>). Ta način predstavitve ima določene prednosti, kot so možnost vizualizacije, enostavne spremembe parametrov (teže, naklona, hitrosti ...) in opazovanje učinkov sprememb. Poleg tega omogoča samostojno delo, virtualno eksperimentiranje in je predvsem precej cenejše, lažje in hitreje uporabljiv kot realni eksperimenti. Simulacije so koristno in učinkovito dopolnilno sredstvo poučevanja, ne morejo pa v popolnosti nadomestiti realnih eksperimentov.

V času, ko se računalniki že standardno uporabljajo v pedagoškem procesu, je potrebno njihovo uporabo nadgraditi tudi pri izvajanju realnih poskusov in raziskovalnih projektov. Ta način dela omogoča platforma eEksperimenti, ki jo pripravljamo v okviru projekta eEksperimenti - Moderno poučevanje naravoslovja in tehnike z uporabo fleksibilnega merilnega sistema z odprtokodnim programjem, ki je financiran v okviru "Operativnega programa krepitve regionalnih razvojnih potencialov za obdobje 2013 -2015".

V projektu eEksperimenti smo uporabili napreden merilni sistem in izdelali programsko opremo, ki je prilagojena seznanjanju srednješolcev in (delno) osnovnošolcev z modernimi načini zajema in obdelave izmerjenih vrednosti. Za konkretno rešitev smo uporabili merilno-računalniško napravo (kartico) Red Pitaya, ki je produkt inovativnega razvoja slovenskega podjetja Instrumentation Technologies (Solkan) in spada med t.i. sisteme DAQ (Data acquisition system). Posebnost te merilne kartice je, da omogoča odprtokodno programiranje, dobro spletno povezljivost in izvedbo spletnih aplikacij. Omenjeno platformo smo prilagodili potrebam srednješolskega sistema - tako glede uporabe, navodil in praktičnih primerov in s tem dosegli kakovostno uporabniško dostopnost in kvalitetno uporabniško izkušnjo - tako za učitelje kot tudi za učence.

S pomočjo omenjene (ali druge) platforme smo realizirali vrsto prikazov uporabe merilne kartice, ki je bolj natančno opisana v nadaljevanju. Srednješolci (in osnovnošolci) se bodo ob uporabi realiziranih produktov (aplikacij) najprej seznanili z

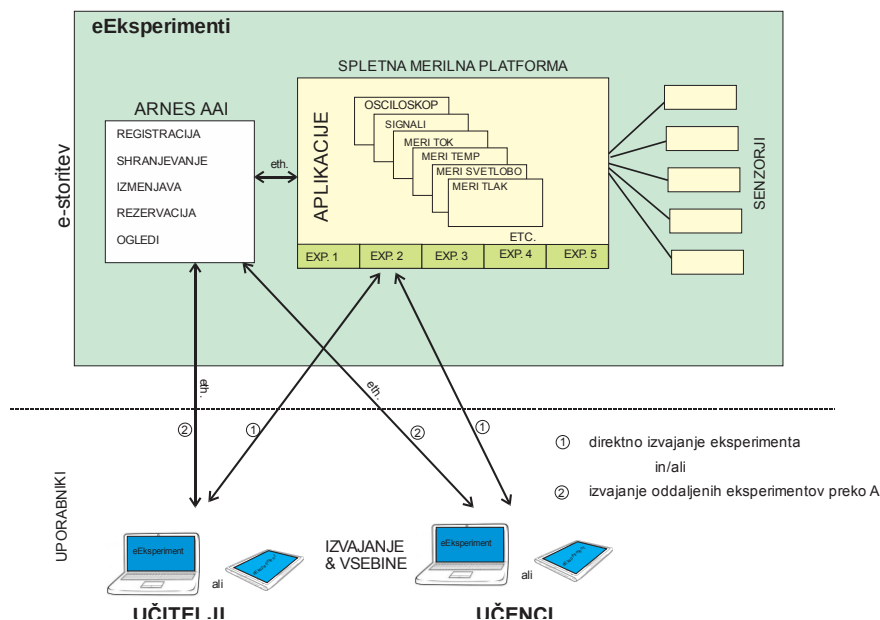
uporabo tovrstne opreme pri poskusih in raziskavah. Nato bodo lahko uporabili zgrajeno platformo in z izdelanimi aplikacijami izvedli več različnih poskusov (eksperimentov), ki se navezujejo na njihov učni načrt. Izdelani eksperimenti in pripadajoče aplikacije služijo le kot mogoč način uporabe, ki jih uporabnik lahko prilagodi in spremeni po lastnih potrebah. Uporabnik lahko spremeni in nadgradi tako aplikacije kot tudi eksperimente. Eksperimenti vključujejo popoln opis eksperimenta, namen, posebej prilagojeno aplikacijo za izvajanje eksperimenta, navodila za sestavljanje merilne sheme ter način izvajanja. Na koncu je še kratek kviz, namenjen utrjevanju pridobljenega znanja. Slika 1 prikazuje razvoj učnih pripomočkov, od preprostih ravnil in šestil, preprostih električnih naprav, sistemov z mikroprocesorjem ali celotnim eksperimentalnim setom.



Slika 1. Razvoj učnih pripomočkov. Sliki z interneta smo dodali uporabljen merilni sistem Red Pitaya, za katerega menimo, da predstavlja novo generacijo merilne opreme, ki omogoča bolj kakovostno pedagoško delo in pripravo na raziskovalno-razvojno delo. Vgrajena spodnja slika je s spletne strani electronicsmaker.com/educational-kits-learning-by-self-experience, zgornja je s strani redpitaya.com.

Poleg eksperimentov s celostno didaktično podporo smo v okviru projekta izdelali tudi aplikacije, ki omogočajo zajemanje signalov vrste senzorjev, kot na primer senzorja pospeška, temperature, pritiska, svetlobe. Z aplikacijami smo pokrili široko področje merjenja električnih veličin. Posebna aplikacija je namenjena prikazom možnosti delovanja merilne naprave kot osciloskopa (osnovna naprava za prikaz in analizo električnih signalov) ali kot generatorja električnih signalov. Bolj zahteven uporabnik lahko uporabi tudi aplikacijo, ki deluje kot spektralni analizator. Sistem omogoča veliko različnih načinov uporabe in tudi kasnejših nadgradenj in

prilagoditev, ki jih bodo lahko uporabniki (nekoliko bolj računalniško vešči srednješolski in osnovnošolski učitelji skupaj z dijaki in učenci) realizirali sami. Shematski prikaz platforme eEksperimenti kaže slika 2.



Slika 2. Spletna merilna platforma eEksperimenti vključuje vrsto eksperimentov in njim prilagojenih aplikacij ter hkrati omogoča delo z različnimi senzorji. Uporabljati jo je mogoče neposredno s priklopom na računalnik, s pomočjo WiFi povezave ali kot oddaljen eksperiment.

Platforma omogoča tudi uporabo z oddaljenim dostopom, kar pomeni, da uporabnik za uporabo potrebuje le osebni računalnik, tablico ali pametni telefon s spletno povezljivostjo. Pomemben del izgradnje spletne merilne platforme so tudi primeri uporabe, ki so realizirali s polno didaktično/metodološko podporo.

2 Merilno-računalniška kartica Red Pitaya in dodatno vezje za eEksperimente

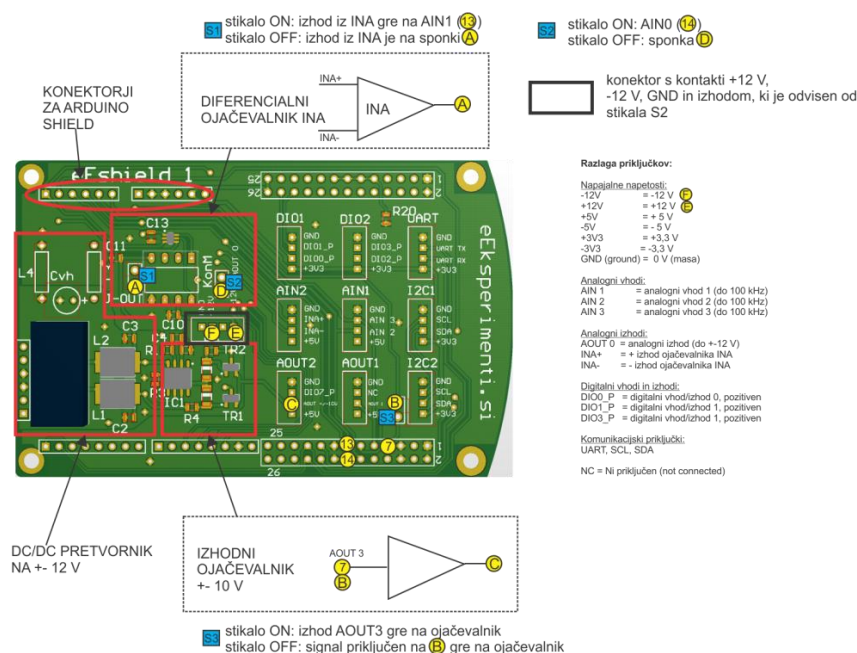
Merilno-računalniška kartica Red Pitaya (slika 3) spada med t.i. sisteme DAQ (Data acquisition system). Je tehnično dovolj zmogljiva, saj omogoča veliko hitrost zajemanja podatkov – 125 MS/s (125 milijonov izmerjenih vzorcev na sekundo) – z natančnostjo 14 bitov. Poleg tega omogoča enostavno povezljivost z v raziskavah zelo popularnim programom Matlab ter možnost shranjevanja in obdelave podatkov na sami napravi, ki ima vgrajen odprtokodni operacijski sistem Linux. Namesto Matlaba se lahko uporabi tudi sorodni program Octave ali pa programski jezik Python, s čimer postane merilna kartica tudi resno razvojno in raziskovalno orodje. Podobni merilni

sistemi so na trgu sicer dostopni, vendar so dražji, manj integrirani s spletno platformo, niso odprtokodni in jih praviloma učitelji težko obvladajo.



Slika 3. Merilno-računalniška kartica Red Pitaya z osnovnimi priključki.

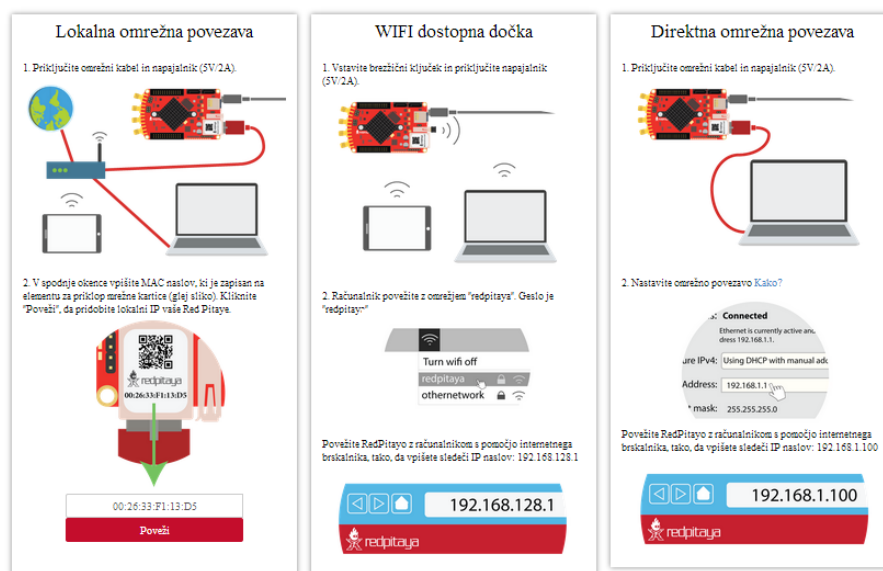
Kartica Red Pitaya omogoča zajemanje napetostnih signalov velikosti do ± 1 V ali s preklpom na drugo območje do ± 20 V. S pomočjo aplikacije, ki Red Pitayo uporabi kot generator signalov in osciloskop hkrati, lahko izberemo oblike signalov sinusne, trikotne ali pravokotne oblike. S pomočjo ustreznega programja ali že izdelane aplikacije lahko tudi realiziramo signale poljubnih oblik. Za večji nabor možnih eksperimentov je potrebno izdelati ustrezno dodatno elektronsko vezje. V okviru eEksperimentov smo izdelali posebno prilagojeno dodatno vezje, ki se ga potisne na merilno kartico (angleško se takim načinom pogoste reče shield, ker nekako zaščiti/prekrijejo osnovno vezje).



Slika 4. Dodatna elektronika, ki se jo potisne preko kartice Red Pitaya. Omogoča vrsto dodatnih funkcionalnosti.

Na sliki 4 je shema električnega vezja, ki smo ga izdelali za namen eEksperimentov. Vsebuje DC/DC pretvornik na ± 12 V, s čimer pridobimo enosmerni vir višje napetosti, primeren tako za napajanje določenih elektronskih komponent kot tudi kot zunanji vir za izvajanje eksperimentov. Nadalje je na vezju izhodni ojačevalnik, ki je fiksno priključen na izhod Red Pitaye AOUT3, ki omogoča signale do hitrosti 100 kHz z natančnostjo 10 bitov. Lahko pa se na ta vhod z dodatnim priključkom poveže tudi hitri izhod. Nadalje je na vezju realiziran diferencialni ojačevalnik s čipom INA, ki omogoča ojačanje napetostnih signalov majhnih amplitud. Za spreminjanje ojačanja je na vezju realiziran digitalni upor, ki s pomočjo protokola I2C omogoča spreminjanje upornosti in s tem velikost ojačanja. Na vezju je tudi vrsta priključkov, ki omogočajo priključitev različnih senzorjev in drugih naprav, ki uporabljajo ali digitalne ali analogne vhode/izhode.

Red Pitayo priključite na napajanje in jo povežite z računalnikom



Slika 5. Primer možnih načinov povezave Red Pitaye: s priključkom Ethernet na lokalno omrežje (levo), preko WiFi dostopne točke (sredina) ter z direktno omrežno povezavo in ustrezno nastavitvijo naslova IP (desno).

Red Pitayo lahko pripravimo za uporabo na več načinov. V večini primerov uporabljamo različne spletne povezave, kot kaže slika 5. V laboratoriju najpogosteje uporabljamo povezavo na lokalno omrežje, v drugih prostorih lahko uporabimo WiFi povezavo, saj Red Pitaya z uporabo brezžičnega WiFi ključka ustvari ad hoc spletno omrežje, na katerega se lahko priključimo. Najbolj zanesljiva pa je direktna povezava kartice in računalnika s pomočjo kabla Ethernet.

3 Spletna platforma eEksperimenti

Merilno-računalniška kartica Red Pitaya je zasnovana na operacijskem sistemu Linux. Ta je naložen na kartici mikro SD, kot prikazuje slika 3, skupaj z drugimi funkcionalnostmi, potrebnimi za delo. Med temi je tudi spletni strežnik Nginx, kar omogoča upravljanje Red Pitaye preko spletne strani. Slika 6 prikazuje primer eksperimentalne prve spletne strani platforme eEksperimenti (eeksperimenti.si/sd), ki je postavljena na strežniku Nginx kot osnovna (domača) stran. Prikazana je osnovna struktura spletne strani. V zavihku Osnovne razlage električnih pojavov so na kratko razloženi osnovni električni pojavi. V ta namen smo uporabili kratke video razlage, ki jih nadgrajujemo s kvizi. Ti so namenjeni utrjevanju znanja oziroma opozarjanju na pomembne ugotovitve. V zavihku Red Pitaya opišemo samo napravo in njeno delovanje ter način priključitve. Osrednji del so Eksperimenti, kjer smo prikazali možen način uporabe Red Pitaye v pedagoške namene s konkretnimi poskusi, ki so tudi didaktično opremljeni. Uporaba senzorjev je namenjena možnostim priključitve različnih senzorjev na Red Pitayo in njihovi uporabi. V zavihku Aplikacije so zbrane vse aplikacije, tudi tiste, ki jih uporabimo v izbranih eksperimentih.



Slika 6. Izgled eksperimentalne začetne strani eEksperimenti, zapisane na kartici SD, ki se prikaže ob uspešni vzpostavitvi Red Pitaye.

4 Eksperimenti

Ključni oziroma centralni del platforme eEksperimentov so sami eksperimenti, ki na celosten način prikazujejo možnost uporabe platforme v pedagoške namene. Posamezen eksperiment je naprej razložen s pomočjo video lekcije. Nato se uporabnik odloči za način težavnosti izvajanja eksperimenta, kot kaže slika 7. V težjem načinu je natančno razložena in narisana merilna shema, ni pa tudi prikazano, kako se elemente dejansko poveže. Uporabnik ima na voljo Red Pitayo, različne električne elemente, potrebne za izgradnjo merilnega vezja, ter preprosto prototipno ploščico in vrsto priključnih vezij, kot kaže slika 8.

Način izvajanja eksperimenta



Zahtevnejši način izvajanja

Za zahtevnejši način izvajanja eksperimenta, kjer je natančno razložena merilna shema in način priključitve Red Pitaye ne pa tudi konkretne povezave elementov na preskusni ploščici, kliknite na [to povezavo](#).



Srednje zahteven način izvajanja

Za srednje zahteven način izvajanja eksperimenta, ki vključuje tudi natančen opis povezav elementov na preskusni ploščici ter povezav z Red Pitayo, kliknite na [to povezavo](#).

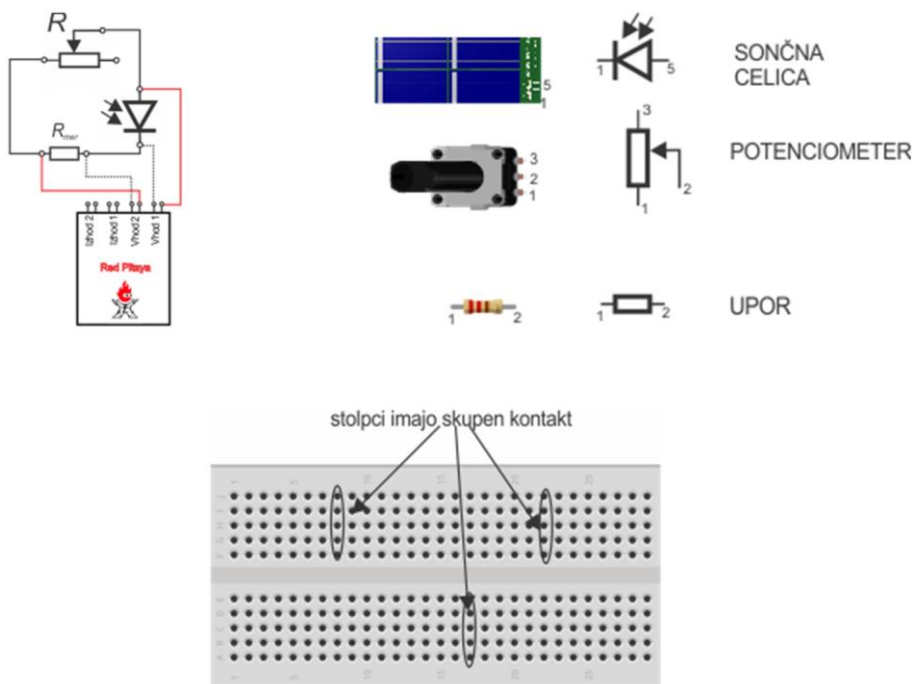


Lažji način izvajanja

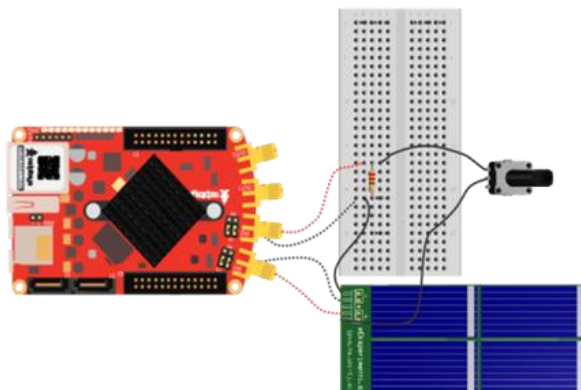
V enostavnem načinu izvajanja so povezave že narejene, potrebna je le priključitev Red Pitaye. [Povezava](#).

Slika 7. Prikaz dela spletne strani eksperimenta, kjer se uporabnik odloči za način izvajanja eksperimenta.

Bolj več uporabnik bo znal sam povezati elemente na prototipni ploščici in nato nadaljeval s povezavo z Red Pitayo in izvedel meritve. Manj več uporabnik pa se lahko odloči za srednje zahteven način izvajanja, v katerem ima v navodilih prikazan način povezave elementov na prototipni ploščici. Primer takih povezav za eksperiment meritev I-U karakteristike sončne celice kaže slika 9.

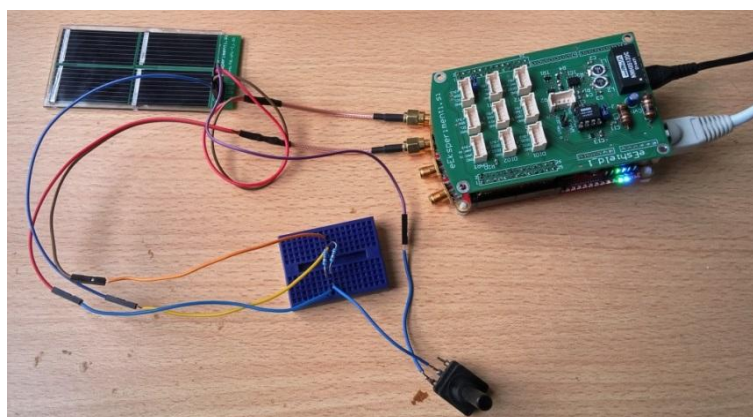


Slika 8. Primer eksperimenta, v katerem se določa I-U karakteristiko sončne celice: levo zgoraj je električna shema, desno zgoraj uporabljeni elementi (slika, simbol, ime) in spodaj primer prototipne ploščice z razlago skupnih kontaktov.



Slika 9. Primer povezave električnih elementov in Red Pitaye, ki na enostaven način omogoča vzpostavitev merilnega sistema, s shemo prikazanega na sliki 8 levo zgoraj.

V lažjem načinu pa so povezave že narejene, potrebno je le povezati Red Pitayo, kot je shematsko prikazano na sliki 9 in fotografirano na sliki 10.



Slika 10. Primer povezave električnih elementov in Red Pitaye, ki na enostaven način omogoča vzpostavitev merilnega sistema, s shemo prikazanega na sliki 8 levo zgoraj.

Ko je merilna shema izvedena (narejene povezave), uporabnik vzpostavi povezavo s spletno aplikacijo in po navodilih začne z izvajanjem meritev. Na sliki 11 je prikazan rezultat meritev merjenja $I-U$ karakteristike sončne celice pri različnih osvetlitvah v odvisnosti od velikosti bremenskega upora. Za zadnjo meritev je na sliki prikazana s krivuljo, pod katero je površina obarvana, tudi moč. Ob koncu meritev sledi kviz, s pomočjo katerega uporabnik še utrdi dognanja oziroma pomembnejše ugotovitve.



Slika 11. Primer izvedbe meritev s posebej izdelano spletno aplikacijo. Na sliki je več meritev I - U karakteristike sončne celice ob različnih osvetlitvah v odvisnosti od bremena, priključenega na sončno celico. Iz zadnje izmerjene I - U karakteristike je izračunana moč ($U \cdot I$), ki je prikazana s krivuljo, pod katero je površina obarvana in za katero velja desna navpična os. Lepo se vidi, pri kateri napetosti je moč, prenesena na breme, največja.

5 Zaključek

V prispevku smo opisali platformo eEksperimenti, ki je realizirana v okviru Operativnega programa krepitve regionalnih razvojnih potencialov za obdobje 2013 - 2015. Izdelali smo računalniško-merilno platformo, ki je primerna za uporabo v srednjih in delno tudi osnovnih šolah kot dodatek pri pedagoškem delu na področju naravoslovja in tehnike. Z uporabo platforme se bodo uporabniki seznanili z osnovnimi pojmi v elektrotehniki ter izvedli več popolnoma didaktično razdelanih eksperimentov. Vsak eksperiment uporablja v ta namen izdelano spletno aplikacijo. Aplikacije bodo programersko bolj večji uporabniki lahko tudi spreminjali in prilagajali lastnim potrebam. V okviru projekta smo izdelali tudi dodatno elektronsko vezje, ki omogoča priključitev različnih senzorjev. Želja izvajalcev projekta je, da postane platforma moderno orodje za moderno poučevanje naravoslovja in tehnike. Sodelovanje zainteresiranih je dobrodošlo.

Red Pitaya. (2015). Instruments gone Open Source. Spletna stran redpitaya.com z dne 20. 8. 2015.

D. Križaj et al. (2015). Osnovna stran portala eEksperimenti. Spletna stran eeksperimenti.si z dne 20. 8. 2015.

Operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj ter Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa krepitve regionalnih razvojnih potencialov za obdobje 2013 - 2015.