



**UNIVERZA
V LJUBLJANI**

FE

**Fakulteta
za elektrotehniko**

Tekmovanje v znanju tehnologij 2023/24

Bilten

**Aljaž Blatnik, Marko Jošt,
Benjamin Lipovšek**

**Fakulteta za elektrotehniko
Univerza v Ljubljani
2024**

Predgovor

S šolskim letom 2023/24 je Tekmovanje v znanju tehnologij doživelo kar nekaj sprememb. Prenovljen je bil pravilnik z novimi kriteriji o uvrščanju na državno raven tekmovanja, razporejanju nalog na šolskem nivoju ter številu podeljenih zlatih priznanj.

Šolska raven tekmovanja sedaj ne vsebuje več predpisanega števila nalog in se lahko prilagaja zahtevnosti posameznih poskusov. Letos je tako sestavljeno iz zahtevnejšega in enostavnejšega poskusa, pri čimer se vprašanja na tekmovalni poli med seboj prepletajo.

Za mentorice in mentorje je fakulteta v okviru državnega tekmovanja prvič organizirala pedagoško usposabljanje, kjer smo predstavili projekt Elektronika z robotiko. Zelo dober odziv udeležencem je botroval odločitvi, da se usposabljanje uvrsti v redni program za bodoča državna tekmovanja.

Pred vami je Bilten 2023/24 z navodili in naloge z rešitvami. Lahko vam služi kot priprava na tekmovanje, ali pa nove ideje za poskuse z otroci doma. Za nas so bile naloge zagotovo izziv, upam da bodo tudi za vas!

Aljaž Blatnik,
Predsednik tekmovalne komisije

Ljubljana, april 2024

Kazalo vsebine

Elektroskop (šolsko tekmovanje)	3
Statična elektrika	3
Potrebni pripomočki	4
Opis poteka naloge	5
Nasveti.....	7
Dodatno.....	8
Vprašanja za razmislek	8
Naloge	9
Nevihta Lorda Kelvina (šolsko tekmovanje)	10
William Thomson (Lord Kelvin)	10
Kelvinov vodni kapalnik.....	11
Potrebni pripomočki	12
Opis poteka naloge	13
Nasveti.....	18
Dodatno.....	18
Vprašanja za razmislek	18
Naloge	19
Sončne celice (državno tekmovanje)	21
Sončne celice in fotonapetostni moduli	21
Procesi izdelave.....	22
Naloge	24
Črtne kode (državno tekmovanje)	27
KarTrak	27
Potrebni pripomočki	30
Opis poteka naloge	30
Naloge	31

Statična elektrika

Oh ta statična elektrika! Neprijetna nadloga, ki nas pesti predvsem pozimi, ko v suhih ogrevanih prostorih slačimo sintetične ali volnene puloverje. Drobne iskricice so lahko precej neprijetne, na srečo pa niso nevarne. Precej večje preglavice statična razelektritev povzroča našim elektronskim napravam, kar so hitro ugotovili proizvajalci integriranih vezji. Zelo drobna iskrica, ki preskoči z delavca na občutljivo elektronsko napravo povzroči nepopravljivo škodo na čipih, sodobnejše in čedalje manjše elektronske naprave pa le še bolj kličejo po previdnosti. Še huje je pri popravilu ali rokovanju z občutljivimi merilnimi napravami, ki jih najdemo v jedrskih pospeševalnikih in medicini. Že premikanje na stolu s sintetično prevleko in uporaba obutve s plastičnim podplatom bo dovolj, da bodo iskricice statične razelektritve skakale vsepovsod.



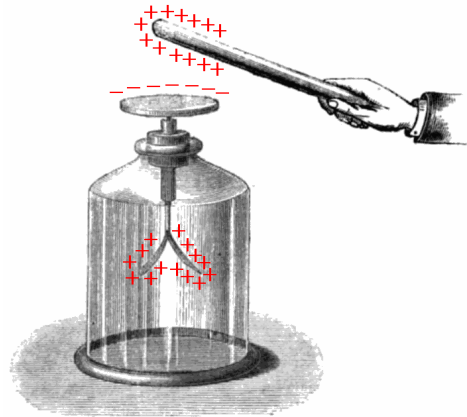
Da med dvema telesoma preskoči iskra mora biti izpolnjenih več pogojev. Zagotovo se morata telesa nahajati na drugačnem električnem potencialu, torej eno telo mora biti bolj naelektreno kot drugo, ali pa mora imeti drugačen predznak naboja. To še ni zadosten pogoj. Telesi morata biti tako močno naelektreni, da se lahko zgodi preboj izolatorja, ki je v večini primerov kar navaden zrak. Kako močno morata biti naelektreni, oziroma kakšna napetostna razlika je med njima, določa predvsem relativna vlažnost zraka. Povprečna vrednost znaša okoli 30 000 V/cm (kar pomeni, da mora biti razlika v napetosti med telesoma 30 000 V, če se nahajata na razdalji 1 cm). Zadnji pogoj, kadar govorimo o preskoku statične elektrike je, da se eno izmed teles lahko naelektri z električnim nabojem in ga lahko vsaj za kratek čas ohranja. To pomeni zgolj, da naboj sproti ne odteka kam drugam. Če so vsi pogoji izpolnjeni preskoči drobna iskrica, ki jo pogosto slišimo, včasih pa tudi vidimo ali čutimo.

Elektrostatična razelektritev je v splošnem nenaden in hipen električni tok med dvema naelektrenima telesoma, ki ga povzroči fizični kontakt, kratek stik ali preboj izolatorja. Lahko povzroči spektakularne pojave v obliki velikih isker in glasnega poka (pri čimer je najhujša oblika nevihtna strela z neba na zemljo), ali pa povsem nedolžno iskrenje, ko si slačimo volnen pullover.

Pred strelo se skrijemo v zidan objekt, jamo ali vozilo. Pred drobnimi iskrkami, ki uničujejo naše komponente, pa se moramo obvarovati na drugačne načine. Predvsem, ker preboja včasih sploh ne slišimo, čutimo ali vidimo. Industrija je tu ubrala različne pristope. Od povsem paranoičnih, kjer tla celotnih proizvodnih linij premažejo s posebnimi prevodnimi barvami in zapovedane uporabe posebnih stolov, oblačil ter obutve, do uporabe posebnih modrih zapestnic, ki skrbijo za odvod nabranega naboja s telesa proti ničelnemu potencialu (ozemljitvi, navadno kar tlom). Navadno zadostuje že, če se pred rokovanjem z občutljivimi gradniki z roko

najprej dotaknemo delovne površine, tal ali točke ozemljitve, šele nato pa rokujemo z izdelkom. Povsem enako velja, kadar nekomu želimo izročiti občutljivo napravo. Predno mu jo damo v roke, se z njim rokujemo. Tako se bomo razelektrili in spravili telesi na enak električni potencial preko naših rok, ne pa preko občutljive naprave.

Pri vsem tem se vprašamo, kako nevarnost razelektritve sploh zaznati? V večini primerov zadostuje, če znamo zaznati prisotnost močnega električnega polja. Povsem preprosta naprava, ki nam to omogoča, je elektroskop. Ta izkorišča silo, ki se vzpostavi med naelektrenimi delci z istim predznakom, kar povzroči premikanje indikatorja (pogosto preproste kovinske folije). Gre za izboljšano različico z začetka 16. stoletja, njen izumitelj Abraham Bennet pa ga je prvič predstavil leta 1787. Sestavlja ga kovinska žica, navadno iz medenine, kjer na spodnjem koncu visita obešena dva tanka zlati lističa, na zgornjem koncu pa se nahaja kovinska krogla ali disk, kamor dovedemo električni naboj, ki ga želimo izmeriti. Za zaščito zlatih lističev pred vetrom spodnji del žice navadno zapremo v stekleno posodo brez dna, ki jo postavimo nad prevodno ploščo.



Kadar se zgornjemu delu kovine približamo z naelektrenim objektom oziroma kadar nanj prenesemo nekaj električnega naboja (z dotikom), se zlata lističa razpreta v obliko na glavo obrnjene črke »V«. Ker sta oba lističa v električnem stiku, se na obeh nahaja naboj z enakim predznakom, kar povzroči, da se med seboj začneta odbijati in se zato razpreta. Več kot je naboja (naelektrenih delcev), bolj se lističa razpreta. Če se zgornjega dela naprave dotaknemo z roko, ali kako drugače odstranimo naboj, se lističa zopet postavita v začetno, navpično lego tesno drug ob drugem.

Tako izdelani elektroskop ni zelo občutljiv inštrument a povsem zadostuje izvajanju različnih meritev, kadar želimo ugotoviti spreminjanje naboja skozi čas ali pa opazujemo nevarne vrednosti, ki lahko povzročijo elektrostatični preboj. Pri tem poskusu bomo izdelali preprost elektroskop po načrtih Abrahama in ga uporabili za odkrivanje izvora preboja statične elektrike. Potem bomo točno vedeli, kateri puloverji, čevlji ali plastični lonci nam povzročajo največ nadležnih isker!

Potrebni pripomočki

Za izvedbo naloge potrebujemo:

- Steklen kozarec s plastičnim pokrovčkom
- 1 m trde bakrene žice za zidno električno napeljavo
- ALU folijo za živila
- Plastično slamico
- PVC cev, sintetično krpico, volnen pulover, balon
- Ročno orodje: lepilo za vroče lepljenje, kleščice, vrtalnik, škarje, šivanko

Opis poteka naloge

Najprej moramo poiskati primerno velik steklen kozarec s plastičnim pokrovom. Tega najlažje dobimo, če pridno pojemo čokoladni namaz, ki se skriva v njem in ga kasneje dobro umijemo, da dokončno odstranimo vso vsebino skupaj z nalepko. Ostanke lepila po potrebi raztopimo z acetonom. Stekleni kozarci za vlaganje tu žal ne bodo ustrezni, saj imajo po večini kovinske pokrovčke, ki za nalogo niso primerni.

Nato poiščemo plastično slamico. Kljub temu, da je evropska unija prepovedala prodajo plastičnih slamic za enkratno uporabo, te še vedno lahko kupimo, le da se sedaj prodajajo kot gostinski pripomoček za večkratno uporabo. Slamice so tako precej debelejše in trše kot nekoč, primerne za pomivalni stroj, za nas pa še nekoliko boljše, saj je rokovanje z njimi enostavnejše. Papirnate slamice tokrat ne bodo primerne, saj potrebujemo dober izolator, kar pa papir, ko se navlaži, ni.

Trdo bakreno žico najenostavneje dobimo iz žice za električno napeljavo (preseka 1,5 mm), ki smo ji odstranili izolacijo. Pri tem debelina žice ne igra pomembne vloge, zadostuje že, če jo lahko primerno oblikujemo, da ohrani svojo obliko. Debelejša žica bo naredila naš elektroskop bolj robusten, a bo tudi rokovanje z njo nekoliko težje. Pri tem ni nujno, da je žica bakrena, lahko je tudi železna ali jeklena.

En konec žice zvijemo v spiralo s približno štirimi ovoji, drug konec pa povsem zravnamo. V sredino plastičnega pokrovčka izvrtamo luknjo tako, da skozi jo potisnemo slamico. Slamica naj v notranjost kozarca sega do približno 1/5 njegove globine, izven kozarca pa naj bo dolga 5 cm. Z notranje strani pokrovčka slamico zalepimo z lepilom za vroče lepljenje, s silikonom ali Neostikom. Če je slamica zelo tanka, jo bo lepilo za vroče lepljenje povsem zmečkalo in zatesnilo luknjo, kar se ne sme zgoditi. Če tega s hlajenjem ne uspemo preprečiti vanjo predhodno potisnemo del bakrene žice ali pa uporabimo drugačen tip lepila.

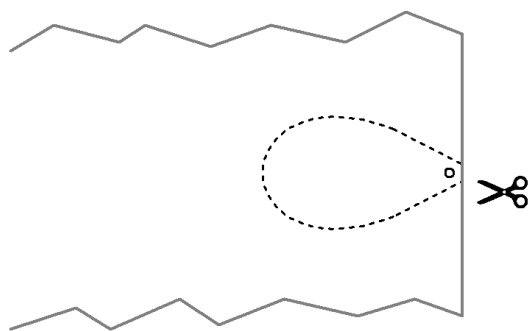
V slamico nato vstavimo pripravljeno žico, ki naj s koncem spirale gleda izven kozarca približno 2-3 cm nad slamico, kot to prikazuje Slika 2. Tako iz zgornje, kot iz spodnje strani slamice (ki se bo nahajala v kozarcu) žico prilepimo z lepilom. Pri tem lepilo za vroče lepljenje tokrat ne naredi večje škode, tudi če se slamica zmečka in deformira. Lepilo skupaj s slamico nudi mehansko stabilnost in drži žico na sredini kozarca. Čaka nas še izdelava tankih kovinskih lističev, ki bodo služili za indikacijo statične elektrike. Te najlažje izdelamo iz aluminijaste folije za živila. V trgovini najdemo dva tipa folije, tanjšo, ki je navadno cenejša in



Slika 1: Končni izgled elektroskopa.



Slika 2: Zunanji del.



Slika 3: Izrez kovinskih lističev.

je primerna za zavijanje sendvičev ter debelejšo, ki jo lahko uporabimo tudi v pekačih. Obe sta povsem primerni, le da bo rokovanje z debelejšo folijo precej lažje, saj se ne bo takoj pretrgala. Odtrgamo kos izbrane folije, ga prepognemo po sredini in iz njega izrežemo solzo, kot to prikazuje Slika 3. Zgornji del solze se nahaja na prepognjenem robu. Tako bomo dobili dve povsem enaki obliki, predvsem pa dva enako težka kovinska lističa. Kako velika naj bosta lističa je odvisno od našega kozarca. Kadar se zaradi statične

elektrike razmakneta, se ne smeta takoj dotakniti stekla kozarca, torej ne smeta biti prevelika, premajhna lističa pa bosta manj občutljiva na naelektritev. Tik pod zgornjim robom s šivanko ali škarjami naredimo luknjo, ki bo služila obešanju na kovinsko žico. Velikost luknjice prilagodimo naši žici.

Ker kozarec enostavno zopet odpremo, lahko lističa večkrat popravimo. V kolikor smo zelo nespretni z izrezovanjem solze, odrežemo raje dva povsem enaka ravna trakova. Ta naj v kozarec pri zaprtem pokrovu segata do približno 1/4 globine.

Konec žice previdno zakrivimo v obliko črke »J«. Če uporabljamo tanko žico, lahko skrivimo kar njo, v primeru debelejše pa moramo konec stanjšati. To lahko storimo tako, da prispajkamo tanko nogico žičnatega upora, še tanjšo bakreno žico, ali pa uporabimo kovinsko sponko za papir. Če pri roki nimamo spajkalnika lahko dve žici spojimo z ustreznim prepletanjem, zvijanjem ali ovijanjem. Pomembno je zgolj, da sta obe žici v dobrem električnem kontaktu, ter da se lahko obešana lističa na kaveljčku prosto gibljeta (med seboj pa morata biti v ravnovesni legi, brez električnega naboja, v kontaktu). Način obešanja lističev prikazuje Slika 4. Izdelan pokrovček skupaj z obešenima lističema privijamo na steklen kozarec.

Sedaj je čas, da prvič preizkusimo delovanje našega elektroskopa. Poiščemo volneno ali sintetično krpico (kos oblačila) in plastično cev (odtočna PVC cev ali PVC cev za nadometno električno napeljavo). Z drgnjenjem ustvarimo električni naboj na enem koncu cevi, s katero se približamo spirali elektroskopa (vendar se je ne dotaknemo). Opaziti moramo, da se lističa med seboj razmakneta.

Poiščimo še kakšen drug material, ki ga lahko naelektrimo (pokrov plastične



Slika 4: Izgled lističev in obešanje na konec žice.

posode, balon ...) in ponovimo poskus. Opazujemo kaj se dogaja z lističi, ko smo z naelektrenim predmetom bližje/dlje od naše sonde. Če želimo naš elektroskop ponovno razelektriti, se spirale dotaknimo z roko, z drugo roko pa primemo kovinski okvir mize, radiator, vodovodno pipo.

Za konec močno naelektrimo PVC cev in poskušamo na spiralo spraviti nekaj naboja tako, da se je z njo dotaknemo. Lističa se v tem primeru močno odklonita, lahko se tudi povsem skrivita in zasukata proti steku. Ko PVC cev odmaknemo morata biti lističa med seboj vsaj nekoliko odklonjena. Pustimo stati elektroskop v prostoru nekaj časa in opazujemo, kaj se zgodi z lističema. Če ostaneta "prilepljena" na steklu se moramo tako spirale kot kozarca najprej dotakniti z roko, da elektroskop razelektrimo.

Elektroskop skrbno shranimo, saj ga bomo še potrebovali!



Slika 5: Delovanje elektroskopa z uporabo naelektrene PVC cevi. Lističa sta med seboj razmaknjena.

V poletnih mesecih ali zgodaj jeseni se pogosto zgodi, da predmetov nikakor ne uspemo naelektriti. Težava tiči v veliki vlažnosti ozračja, ki je po padavinah lahko tako velika, da naš elektroskop sploh ne bo deloval. V takšnem primeru počakamo na sončen dan, ali pa poiščemo prostor, v katerem je prižgana klima. Pozimi bo poizkus deloval najbolje, saj je v ogrevanih prostorih zrak pogosto precej suh!

Nasveti

- Če ne uspemo dobiti steklenega kozarca s plastičnim pokrovom lahko uporabimo navaden steklen kozarec za vlaganje in sami izdelamo pokrov iz ostanka plastike. Da bo naš instrument odporen na mehanske premike moramo tako izdelani pokrov nanj prilepiti, to pa nam onemogoča kasnejše popravke.
- Namesto zgornje spirale iz žice bi bilo najbolje namestiti kovinsko kroglo ali disk. Če imamo to možnost ju seveda lahko uporabimo. Takrat bo elektroskop deloval še bolje. Ravna kovinska žica ima v osnovi premajhno površino, zato jo povečamo z zvijanjem v spiralo.

Dodatno

- Spremenite velikost lističev v kozarcu. Opazujte kako to vpliva na elektroskop.
- Obujte si neprevodne čevlje (z gumijastim podplatom) ali škornje ter oblecite in slecite volnen pulover / jopico iz flisa. Z elektroskopom poskusite izmeriti koliko statične elektrike ustvarite na tak način (poskus deluje samo v suhem prostoru!).

Vprašanja za razmislek

- Zakaj lističa včasih (ko odmaknemo naelektreno palico) vseeno ostaneta razmaknjena?
- Bi lahko kakorkoli povzročili, da se lističa med seboj ne bi odbijala temveč privlačila?
- Kaj bi se zgodilo, če bi namesto plastičnega pokrovčka uporabili kovinskega, namesto steklenega kozarca pa prazno pločevinko?
- Kaj se zgodi, če enega od lističev trdno pričvrstimo tako, da se ne more več premikati?

Naloge

A1. Elektroskop je naprava ki omogoča:

- a) Merjenje statične napetosti v voltih.
- b) Zaznavo električnega polja.**
- c) Merjenje magnetnega potenciala.

A2. Vedo, ki se ukvarja s preučevanjem ne-spreminjajočih se nabojev imenujemo:

- a) Elektrodinamika.
- b) Elektromagnetika.
- c) Elektrostatika.**

A3. Ko se na obeh aluminijastih lističih elektroskopa nahaja pozitivni naboj, se lističa med seboj odklonita. Kaj se zgodi, ko se na obeh lističih nahaja negativni naboj?

- a) Lističa visita v svoji začetni legi.
- b) Lističa se med seboj odklonita.**
- c) Lističa se med seboj privlačita.

A4. S sintetično krpo naelektrimo PVC odtočno cev, s cevjo pa se nato previdno dotaknemo sonde elektroskopa. Kaj se bo najverjetneje zgodilo z lističema elektroskopa, ko PVC cev odmaknemo od sonde?

- a) Lističa bosta ostala rahlo razmaknjena.**
- b) Lističa se bosta zlepila nazaj skupaj.
- c) Lističa se bosta vrnila v začetno lego.

A5. Eden izmed lističev je dvakrat večji kot drugi. Sondi elektroskopa se približamo z naelektreno PVC palico, a se je ne dotaknemo. Kako se bosta razmaknila lističa?

- a) Večji listič se bo odklonil dlje iz ravnovesne lege kot manjši.
- b) Oba lističa se bosta razmaknila za enak odklon iz ravnovesne lege.
- c) Manjši listič se bo odklonil dlje iz ravnovesne lege kot večji.**

William Thomson (Lord Kelvin)



William Thomson, oziroma kasneje Lord Kelvin (naziv Lord je dobil za svoje zasluge v znanosti; Kelvin pa se imenuje reka, ki je tekela mimo njegovega laboratorija), je bil precej zanimiv gospod. Večino svojega življenja je delal kot profesor na univerzi v Glasgow-u Združenega Kraljestva, kjer se je ukvarjal s fiziko - kot eno izmed (takrat) povsem novih ved.

Najbolj znan je po svojem prvem in drugem zakonu termodinamike, po njem pa se imenuje tudi enota za absolutno temperaturo – Kelvin. Čeprav so znanstveniki tistega časa že prej vedeli za obstoj absolutne ničle, je šele Lord Kelvin določil njeno točno vrednost, ki znaša $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Manj znano je, da se je Kelvin ukvarjal tudi s telekomunikacijami (danes IKT), kjer je kot inženir in izumitelj vodil projekt čezatlantskega telegrafa. Ta mu je prinesel zajeten kup denarja, zanj pa ga je odlikovala celo kraljica!

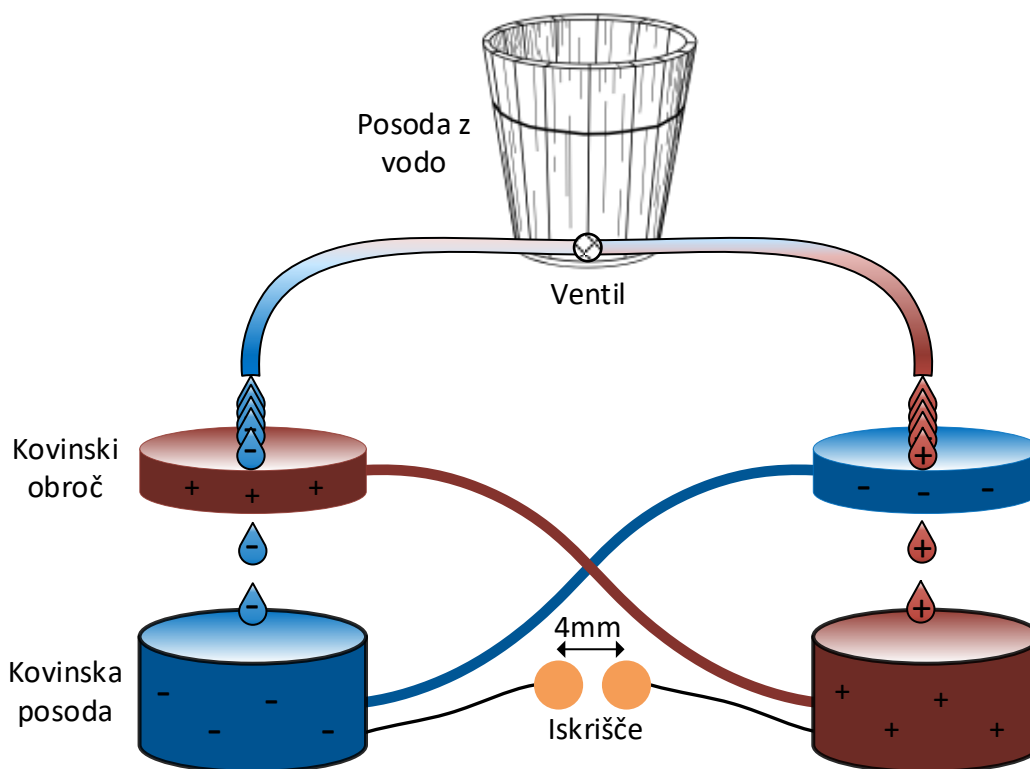
Še manj poznano je njegovo zanimanje za atmosfersko elektriko. Gre za preučevanje pojavov povezanih s premikanjem naboja med površjem zemlje, atmosfero ter ionosfero, kjer najizrazitejši pojav nastopi ob nevihti (pri udaru strele). Čeprav se je z raziskavami ukvarjal

precej malo časa (okoli leta 1859), je prinesel kar nekaj napredka. Na podlagi svojih ugotovitev pri projektu čezatlantskega telegrafa je razvil vrsto naprav za merjenje atmosferskega električnega polja. Med počitnicami na sosednjem otoku Arran je s svojimi instrumenti lahko meril onesnaženost ozračja iz Glasgow-a, zaradi vpliva prašnih delcev na jakost električnega polja atmosfere. Njegov vodni kapalnik je bil dolga leta uporabljen kot elektromer za atmosfersko polje, na Japonskem celo do leta 2021.

Pri tem poskusu bomo pustvarili Kelvinov vodni kapalnik za opazovanje električnega polja atmosfere. Skozi zgodovino so se za njegov aparat uporabljala številna imena, naprimer Kelvinov hidroelektrični generator, Kelvinov elektrostatični generator in verjetno najbolj zanimivo: "Nevihta Lorda Kelvina".

Slika na naslovnici predstavlja nevihto Lorda Kelvina, kot si jo predstavlja umetna inteligenca.

Kelvinov vodni kapalnik



Slika 1: Poenostavljena shema Kelvinovega vodnega kapalnika

V osnovi je Kelvinov kapalnik zgolj ena izmed različic elektrostatičnega generatorja. Naprava uporablja padajoče kapljice vode, za ustvarjanje napetostne razlike s pomočjo elektrostatične indukcije, ki se pojavi med dvema, nasprotno naelektrenima deloma naprave. Napetostna razlika lahko s časoma postane tako velika, da pride do preboja zraka v obliki električne iskre.

Poenostavljeno zasnovo naprave prikazuje slika 1. Posoda z vodo je povezana z dvema cevema za proizvodnjo dveh curkov kapljic, ki jih na dnu ulovita kovinski posodi. Oba curka se na poti proti posodi srečata s kovinskim obročem (brez da bi se ga dotaknila), ta pa je električno povezan z nasprotno kovinsko posodo. Rdeč obroč na levi je povezan z rdečo posodo na desni, moder obroč na desni pa z rdečo posodo na levi strani. Obe posodi in obroč morata biti medsebojno električno izolirana, tudi od ničelnega potenciala (tal) ter preostalih sestavnih delov naprave. Pomembno je, da se curek vode zlomi v posamezne kapljice predno doseže dno posode, najbolj ugodno je, da se to zgodi v področju kovinskega obroča. Povezava med

posodo in obročem je navadno izvedena kar z navadno žico, le redko pa jo tvori namenski kovinski nosilec.

Kako se torej obe posodi uspeša naelektriti s (precej velikim) nabojem? Ker sta med seboj dobro izolirani, na začetku med njima vedno obstajala drobna razlika v električnem potencialu. Predpostavimo, da je rdeča (desna) posoda za začetku malce bolj pozitivno naelektrena kot modra. Sedaj ima tudi rdeči (levi) obroč nekaj pozitivnega naboja, saj je galvansko povezan z desno posodo. Naboj na levem obroču bo privlačil negativne naboje v vodi (ione) v levem, curku zaradi Coulombove elektrostatične sile. Kapljica se odlomi od konca curka in s seboj nosi negativni naboj. Ko jo sila gravitacije (ki je precej močnejša od elektrostatične) potegne v modro posodo, le to s svojim nabojem rahlo negativno naelektri, kar se prenese tudi na desni obroč.

Sedaj je desni obroč že negativno naelektren in podobno kot levi (le da z obratnim predznakom) privlači pozitivni naboj v desni curek. Ko se od njega odlomi kapljica, je ta pozitivno naelektrena in pade v desno posodo, ki jo še bolj naelektri. Pozitivne naboje privlači desni obroč, ti pa padejo v pozitivno naelektreno rdečo posodo. Negativne naboje vodnega curka privlači levi obroč, kapljice pa padejo v modro, negativno naelektreno posodo. Takšnemu pojavu ločevanja naboja, ki se zgodi v vodi, pravimo elektrostatična indukcija. Bolj kot sta obe posodi naelektreni, večja je razlika med napetostjo obeh obročev in bolj učinkovit je proces elektrostatične indukcije. Med samim postopkom indukcije teče električni tok v obliki pozitivnih in negativnih ionov vode, ki ni nujno enak smeri pretoka tekočine. Tako lahko električni tok brez težav teče iz desne proti levi strani (preko vodovodne cevi), stran od območja, kjer se curek zlomi v kapljice in v nasprotni smeri toka vode!

Sčasoma bosta naboja na obeh posodah postala tako velika, da bo prišlo do preboja izolatorja (zraka). Videli in slišali bomo preskok električne iskre. Naboj se bosta v hipu izenačila, postopek pa bo stekel od začetka.

Nasprotna predznaka nabojev, ki se nabereta na posodah, predstavljata električno potencialno energijo, ki se sprosti v obliki svetlobe in toplote ob preskoku električne iskre. Energija prihaja iz gravitacijske potencialne energije, ki se ustvari ob padcu kapljice. Enaka naboja se med seboj odbijata, zato bo posoda kapljico želela odbiti, kar se odraža v sili nasprotne smeri od smeri padca. Gravitacijska potencialna energija se tako pretvarja v električno potencialno energijo in kinetično energijo gibanja, ta pa se sprosti v obliki toplote, ko kapljica zadane posodo. Z vidika učinkovitosti je Kelvinov generator silno neučinkovit, zato se za proizvodnjo električne energije seveda ne uporablja.

Pri nalogi bomo iz široko dobavljivih sestavnih delov sestavili svoj elektrostatični generator po načrtih Lorda Kelvina in preizkusili njegovo delovanje. Kapljanje vode predstavlja dež, iskrenje pa strele. Tako si bomo doma ustvarili čisto pravo malo nevihto!

Potrebni pripomočki

Za izvedbo naloge potrebujemo:

- Dve kovinski posodi (posoda za kuhanje, solato, kovinski zabojnik za smeti ...)
- Dva kovinska obroča (dve prazni konzervi)
- Posodo z vodo (velika plastenka, plastična posoda, namenska posoda z ventilom)
- PVC cev za nadometno električno napeljavo
- PVC odtočno cev

- Cevko za namakanje (dolžina ~2m, \varnothing 8 mm)
- T-člen za spajanje gumijaste cevi za namakanje
- Plastičen obešalnik
- Dve sklepni sponi (univerzalni pant za vrata)
- Vijake, podložke in matice velikosti M4
- Odsluženo leseno desko in dva L kotnika
- Ostanek ravne plastike za podlogo iskrišča (CD/DVD ovitek, plastični pokrov)
- Plastično slamico ali trdo plastično cev
- Dve kovinski kroglici (ročaja za omaro)
- Bakreno žico za povezovanje (če je le mogoče s krokodilčki za lažjo pritrditev)
- Silikon
- Lepilo za vroče lepljenje
- Vrtalni stroj, fen za vroči zrak, klešče, izvijač, škarje, zaščitna očala

Opis poteka naloge

Nalogo lahko izvedemo na različne načine, z različnimi pripomočki in tehnikami izdelave. Navodila so zasnovana tako, da zagotavljajo čim enostavnejšo izvedbo, rokovanje in ponovljivost hkrati. V kolikor kakšnega izmed sestavnih delov nimamo, ga lahko nadomestimo s podobnim gradnikom. V pomoč so nam tudi video navodila.

Največ preglavic nam bo povzročala povezava iz skupnega rezervoarja z vodo, razcep na dva curka in nadzor pretoka vode. Kot rezervoar lahko uporabimo kar nam je pri roki; velik škaf, 10L plastenko za vodo, ali pa namensko posodo z ventilom.

V trgovini poiščemo gumijasto (prozorno) cev premera med \varnothing 6 mm – \varnothing 12 mm. Za izvedbo naloge potrebujemo približno 2 m cevi. Najlažje je, da v trgovini poiščemo še T-člen za združevanje treh cevi, ki se pogosto uporabljajo v sistemih za namakanje. T-členom nato prilagodimo dimenzijo cevi. Če imamo na voljo 3D tiskalnik lahko T-člen tudi natisnemo (3D model je na voljo v elektronski obliki).



Slika 2: T - člen

Plastični obešalnik razrežemo, da nam ostane približna oblika, kot jo prikazuje slika 3. Na obeh koncih z vrvico ali lepilom za vroče lepljenje pričvrstimo gumijasto cevko tako, da le ta gleda navzdol.

Na sredini obešalnika obe cevki združimo s tretjo (preostanek naše cevi dolžine vsaj 1 m) z uporabo T-člena. Spoj po potrebi dodatno zatesnimo s silikonom. Nato na sredino obeh cevk namestimo sklepno spono (pant za nihajna vrata), ki jo skozi eno izmed izvrtanih lukenj stisnemo s primerno dolgim vijakom M4 in pripadajočo matico. Ko bomo vijak močneje privili, bo spona stisnila gumijasto cevko in tako zmanjšala pretok. Na ta način izdelamo preprost in cenen ventil, ki omogoča nastavljanje neodvisno od debeline naše cevke.



Slika 3: Razdelitev cevi s pomočjo obešalnika in neodvisno nastavljanje pretoka s sklepno spono.

Način priključitve na rezervoar z vodo je odvisen od naše izbire posode. Če gre za preprost vrč vanj od strani (na spodnjem koncu proti dnu) izvrtamo manjšo luknjo s primernim svedrom, ki ustreza debelini naše cevke. Skupaj ju zalepimo s silikonom. Tega pustimo sušiti vsaj 6 h. Po potrebi uporabimo še eno sklepno spono za naš glavni ventil. V kolikor uporabljamo posodo z že izdelanim ventilom ali pipo, moramo le tej ustrezno prilagoditi postopek pritrditve.

Silikon lahko nadomestimo z lepilom za vroče lepljenje, a bo postavitvev manj robustna.



Slika 4: Zbirni posodi in kovinska obroča, povezani z laboratorijsko žico na krokodilčke.

Najpomembnejša naloga pri izgradnji Kelvinovega elektrostatičnega generatorja je v izolaciji med posodama in obročema. Kovinski obroč je najlažje pridobiti iz konzerve, ki ji odstranimo

vsebino, pokrov in dno, ter jo dobro umijemo. Veliko konzerv je z notranje strani prevlečenih s plastiko, a nas to ne ovira. Pomembno je zgolj, da je prevodna njena zunanost.

Kot kovinsko posodo lahko uporabimo karkoli nam je pri roki; lonec za kuhanje, kovinsko skledo za solato, koš za smeti ali večjo konzervo. Pri tem ni nujno, da sta obe posodi enako veliki. Slika 4 prikazuje primer postavitve z uporabo kovinskih pisarniških držal za svinčnike (z odrezanim dnom) in dveh okrasnih (kovinskih) košev za smeti.

Hitro bo nastopila težava kako obroček iz konzerve držati nad posodo, brez da bi bila med seboj v električnem stiku. Stojalo ne sme biti leseno, kovinsko ali stekleno. V splošnem mora biti zelo dober izolator. To omogočajo najosnovnejše trde PVC cevi za nadometno montažo električne napeljave, ki jih dobimo v domala vseh tehničnih trgovinah. Cev odrežemo z ročno žago ali namenskimi škarjami na izbrano dolžino in jo enostavno krivimo, ko jo segrejemo s fenom na vroči zrak (približno 200 °C), ali nad plamenom sveče.

V konzervo zvrtno dve luknji velikosti 4.5 mm, v enakem razmaku pa zvrtno tudi dve luknji v plastični cevi. Skozi luknji potisnemo M4 vijak in ga na drugi strani pričvrstimo z matico. Cev nato zvijemo s segrevanjem v obliko črke Z. Plastika je gibka dokler je topla, hlajenje pa lahko pospešimo s potapljanjem v vodo. Postopek ponovimo še za obroček (konzervo) na drugi strani.

Nekoliko debelejšo PVC cev odrežemo na dolžino tako, da bo spodnji rob kovinskega obroča (konzerve) segal nad posodo približno 10-20 cm. Na odsluženo desko jo pritrdimo z dvema L kotnikoma, pri čemer en del kotnika vijačimo v leseno desko, drugega pa s pomočjo M4 vijakov in predhodno izvrtanih lukenj v PVC cev. Obe roki z našima obročema privijačimo na tako izdelani plastični steber, kot to prikazuje slika 4.

Namesto vrtanja lukenj in pritrdjevanja z M4 vijaki lahko uporabimo tudi lepilo za vroče lepljenje, a moramo delati previdno, saj bo takšna postavitve manj trdna.

Namesto vijakov lahko uporabimo najlonske vezice ali zatezne objemke.

Struktura stojala zavisi od uporabljenih gradnikov in jo lahko poljubno prilagodimo. Pomembna je le dobra izolacija med zankama, kjer bo PVC cev zagotovo varna izbira.

Ne smemo pozabiti na izolacijo obeh spodnjih posod od tal. Večina talnih oblog je preveč prevodnih in naša naloga ne bo uspela. Uporabimo lahko stiropor, vendar se ta ne sme napiti z vodo. Iz PVC odtočne cevi lahko izrežemo tudi nekaj 10 cm kolobarjev, ki jih postavimo pod posodo in jo tako izoliramo od tal.



Slika 5: Izolacija posode od tal.



Slika 6: Končna postavitve Kelvinovega generatorja.

biti bližje stranicam, a še dovolj daleč, da curek in kapljice ne tečejo po kovini. Opazujemo kaj se dogaja na elektroskopu in ustrezno popravimo pretok vode ter razdaljo do zank. Lističa elektroskopa se morata počasi razmakniti. V kolikor s to ne zgodi, je težava lahko sledeča:

- Izolacija med posodama, tlom ter med obročema ni zadostna. Dodatno izoliraj s PVC.
- Navzkrižna vezava med obročema in posodama ni vzpostavljena. Preveri povezave.
- Elektroskop ne deluje. Preveri njegovo delovanje z naelektritvijo PVC cevi.
- Curek vode se loči na kapljice izven območja obročev. Vsak curek vode se bo slej kot prej ločil na posamezne kapljice. To navadno vidimo kot moten curek, ki ni več enakomeren in svetleče gladek. Ločitev na kapljice se mora zgoditi znotraj obroča, da bo poskus deloval najbolje. Če se to zgodi prehitro, lahko povečamo pretok vode, če se to sploh ne zgodi, pa ga bo potrebno zmanjšati.

V osnovi ni potrebno, da je pretok vode v obeh curkih povsem enak, a se temu poskušamo čim bolj približati.

Ob zelo visoki relativni vlažnosti ozračja poskus ne bo deloval, saj bo do razelektritve prihajalo preko vlažnega zraka. Poskus prestavimo v klimatiziran in suh prostor.

Za konec izdelamo še preprosto iskrišče za ustvarjanje preboja v zraku. Najbolje bo nalogi služila kovinska krogla. Večja kot bo, lažje bomo izvedli poskus. Kovinske krogle (vsaj votle in lahke) ni tako enostavno dobiti, saj gre za precej namenske izdelke. Najlažje jih najdemo v obliki ročajev za vrata omar v trgovinah za domače mojstre. Med seboj ju moramo ustrezno izolirati s plastičnim podstavkom, kjer za izgradnjo uporabimo ostanke PVC cevi iz prvega dela naloge, ali pa trše plastične slamice za večkratno uporabo. Slika 7 prikazuje izdelano iskrišče na dveh podstavkih iz ostanka plastike, pritrjeno z lepilom za vroče lepljenje, s kroglicami približno 10 cm nad tlemi. Iskrišče naj bo razdeljeno na dva dela, da lahko razmak med kroglicama poljubno spreminjamo. Povezavo med kroglico in ustrezno posodo zagotovimo s krajšim kosom bakrene žice.

Kroglico lahko oblikujemo tudi s tesnim mečkanjem ALU folije za živila, ali pa uporabimo debelejša kosa žice, ki ju na koncu skrivimo v obliki črke J in približamo na razdaljo 3 mm.



Slika 7: Preprosto iskrišče

Sedaj lahko iskrišče uporabimo, da s Kevinovim generatorjem ustvarimo (drobno) strelco. S krajšim kosom žice na en del iskrišča povežemo levo posodo, desno pa povežemo na drug del. Kroglice med seboj najprej razmaknemo za 3 mm in pričnemo s spuščanjem vodnih kapljic. Ko bo elektroskop pokazal dovolj veliko naelektritev, bo tudi med kroglicami preskočila drobna iskrica. Razdaljo iskrišča nato povečujemo toliko časa, da iskra komaj še uspe preskočiti. Tedaj bomo slišali najglasnejši pok, v temi pa bomo videli tudi droben blisk.

- Opazujemo kaj se dogaja z vodnim curkom tik preden preskoči iskra.
- Spremenimo pretok vode in opazujemo kako se to odraža na hitrosti preskoka iskre ter razmaku lističev elektroskopa.
- Poskusimo se dotakniti naelektrenih spodnjih posod z roko in opazujemo dogajanje na elektroskopu.

Lord Kelvin je s svojim pripomočkom meril hitrost naelektritve in vpliv na vodni curek, s tem pa opazoval zemljino statično električno polje in njene spremembe. Z našim poskusom lahko njegovo teorijo enostavno ponazorimo, bi pa se morali precej bolj potruditi pri izdelavi, da bi to postal uporaben merilni instrument.

Nasveti

- Poskus lahko sestavimo precej enostavneje tudi brez uporabe gumijastih cevi. V dve plastični posodi (banjica od sladoleda) proti dnu iz strani zvrtno drobno luknjico, ju postavimo na primerno višino in galvansko povežemo s kosom aluminijaste folije. V obe posodi nalijemo vodo. Konzerve, ki tvorijo obroč prilagodimo po višini tako, da se točka drobitve curka v kaplje nahaja na sredini konzerve (obroč).
- Namesto izgradnje nosilca obročev, lahko konzerve prilepimo viseče z robu police, kjer naj konzerva pod rob police sega vsaj 20 cm. Lepilni trak je slabo prevoden in se bo obnašal kot zadosten izolator za naše potrebe. Celoten poskus lahko sestavimo precej hitreje, a žal ne prinaša enostavne ponovljivosti, ter ni odporen na dolgotrajne poskuse saj lepilo pod vodo hitro popusti.
- Če se vodni curek zlomi v kaplice takoj pri izstopu iz gumijaste cevi, cevko preprosto postavimo v sredino obroča iz konzerve.

Dodatno

- Če se curek vode zlomi v kapljice tik nad kovinskim obročem, kapljice pa nato potujejo skozi njegovo središče, lahko opazimo še dodatno razpršitev drobnih kapljic v smeri proti obroču - zaradi privlačne sile med dvema nasprotno naelektrenima delcema (vodna kaplja in obroč).
- Za spodnji posodi ni nujno, da sta kovinski. Lahko uporabimo tudi plastično posodo, vendar moramo žico takrat potopiti v vodo, z odjemom tik na površini vode (plovec). Poskus bo v tem primeru bolje deloval s slano vodo.

Vprašanja za razmislek

- Kdaj je tempo preskakovanja iskre najhitrejši?
- Zakaj se curek vode, če ta ne teče povsem po sredini zanke, vidno odkloni tik pred preskokom iskre?
- Kaj se zgodi, če se ene izmed posod držimo z roko? Kaj se zgodi, če se držimo obeh hkrati? (posodi sta kovinski)
- Kako bi nalogo razširili na več vodnih curkov?
- Zakaj takšna statična elektrika za nas ni nevarna?
- Kakšni pogoji v prostoru bodo najboljši za delovanje Kelvinovega generatorja?
- Ali bi poskus deloval tudi z destilirano vodo, oljem ali Cockto?
- Kaj je potrebno pri vaši postavitvi spremeniti, če bi želeli, da generator postane merilni instrument?

Naloge

B1. Katero fizikalno enoto so poimenovali po Lordu Kelvinu (William Thomson)?

- a) **Enoto za absolutno temperaturo.**
- b) Enoto za statično elektriko.
- c) Enoto za jakost padavin.

B2. Kdaj, pri poskusu Kelvinove nevihte, med dvema kovinskima kroglicama preskoči iskra?

- a) Ko se na kovinskih obročih nabere toliko naboja, da se curek vidno odkloni.
- b) Ko se v obe vedri nateče toliko vode, da prekrije njuno dno.
- c) **Ko se na obeh kroglicah nabere dovolj naboja, da na dani razdalji pride do preboja zraka.**

B3. Curek vode se v Kelvinovem generatorju razlomi v posamezne kapljice točno v področju kovinskega obroča. Kaj velja tedaj za naboja kapljice in obroča?

- a) **Predznaka nabojev sta med seboj nasprotna.**
- b) Predznaka obeh nabojev sta pozitivna.
- c) Predznaka obeh nabojev sta negativna.

B4. Kaj od navedenega NE zviša tempa preskakovanja iskre Kelvinovega generatorja?

- a) Večji pretok obeh curkov vode.
- b) **Manjša razdalja med vedrom in zanko.**
- c) Manjša razdalja med kovinskima kroglicama.

B5. Obujemo gumijaste škornje in se z eno roko dotaknemo levega vedra. Ne dotikamo se ničesar drugega. Kaj se zgodi z elektrostatičnem generatorjem?

- a) Poskus poteka nemoteno naprej.
- b) Poskus ne deluje več.
- c) **Poskus poteka naprej, a nekoliko počasneje.**

B6. Vodni curek spremenimo tako, da skozi desni obroč teče dvakrat (2x) več vode kot skozi levi obroč, kar pomeni tudi večje število vodnih kapljic skozi desni obroč. Ostalega ne spreminjamo. Kaj lahko trdimo?

- a) **Tempo preskakovanja iskre se zviša.**
- b) Poskus ne deluje več.
- c) Desni obroč postane 2x bolj naelektren od levega.

B7. Levi curek začne teči po levem kovinskem obroču. Kaj se zgodi z nabojem desnega vedra?

- a) Naboj na vedru ostane nespremenjen.
- b) Naboj na vedru se zmanjša.**
- c) Naboj na vedru se poveča.

B8. Zakaj se vodne kapljice v območju obroča, kadar te ne potujejo skozi njegovo sredino, rahlo odklonijo od padca v navpični legi?

- a) Ker imajo zaporedne kapljice enak predznak naboja.
- b) Ker imata obroč in vedro nasproten predznak naboja.
- c) Ker imata obroč in kapljica nasproten predznak naboja.**

B9. Do električnega preboja v zraku pride najhitreje pri:

- a) Zelo visoki napetosti med elektrodama.**
- b) Zelo nizkem električnem toku med elektrodama.
- c) Zelo visokem električnem toku med elektrodama.

B10. Lord Kelvin je svoj elektrostatični generator uporabljal za opazovanje stanja:

- a) Atmosfere.**
- b) Aktivnosti ionosfere.
- c) Trdih delcev v zraku.

Sončne celice in fotonapetostni moduli

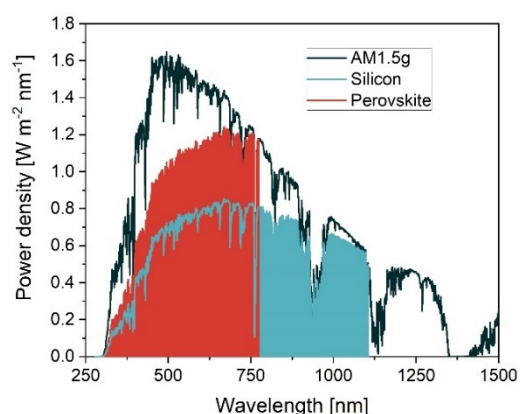
Fotovoltaika v današnjem svetu predstavlja enega izmed najbolj zanesljivih in cenovno ugodnih virov obnovljive energije. V zadnjih letih smo priča velikemu porastu njene uporabe po vsem svetu – v letu 2022 je skupna maksimalna moč nameščenih sončnih elektrarn prvič preseгла 1 TWP, kar predstavlja približno 4,6 % svetovne proizvodnje električne energije.

Najširše uporabljeni konvencionalni fotonapetostni moduli so sestavljeni iz sončnih celic, katerih izhodiščni material je rezina silicija debeline med 200 in 500 μm . Večinoma se uporablja monokristalni silicij, ki zaradi svoje kristalne urejenosti zagotavlja najboljše delovanje sončnih celic. Poleg silicija v celicah nastopajo še nekateri drugi materiali, ki so namenjeni izboljšanju ekstrakcije nosilcev električnega naboja, pasivaciji površine, realizaciji sprednjih in zadnjih električnih kontaktov itd. Mehansko trdnost fotonapetostnega modula in zaščito pred zunanjimi vplivi pa zagotavljajo enkapsulacijske plasti, tipično so to visokoprosojno steklo na sprednji strani, zaščitna folija na zadnji strani ter prosojna etil-vinil-acetatna (EVA) folija, ki obliva celice in medsebojno povezuje vse plasti modula.

Električne karakteristike fotonapetostnih modulov je potrebno izmeriti pod točno določenimi standardnimi testnimi pogoji. Prva dva pogoja sta vezana na svetlobni vir: ta mora zagotavljati homogeno osvetlitev po celotni površini modula z gostoto svetlobne moči 1000 W/m^2 . Porazdelitev moči preko različnih valovnih dolžin oz. spekter vira mora posnemati spekter sonca, ki je označen kot spekter AM1.5 in že upošteva povprečni kot potovanja svetlobe skozi atmosfero in s tem povezane izgube zaradi absorpcije določenih spektralnih komponent. Tretji pogoj pa je vezan na temperaturo: ta mora biti ves čas meritve konstantna in enaka 25 °C. To najpogosteje dosežemo tako, da osvetlitev in meritev modula izvedemo zelo hitro, tipično v času manj kot 100 ms, znotraj katerega se temperatura modula še ne uspe bistveno spremeniti.

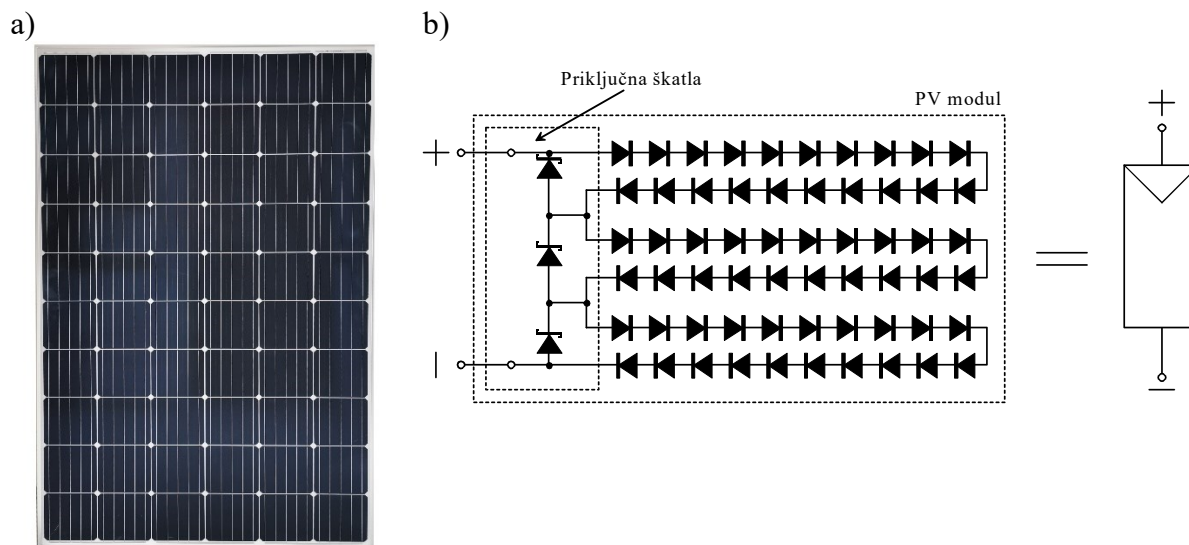
Pod osvetlitvijo pri standardnih testnih pogojih ena tipična silicijeva sončna celica generira električni tok reda 10 A in napetost okoli 0,6 V. Celice v moduli vežemo zaporedno, najpogosteje v nize po 60 ali 72 celic, pri čemer skupna napetost modula ustreza vsoti napetosti posameznih celic, skupni tok modula pa ostane enak toku ene celice. Modul, sestavljen iz 60 zaporedno vezanih celic, bi tako generiral 10 A električnega toka in 36 V električne napetosti, oz. 360 W električne moči. Če upoštevamo še tipično površino modula 1.6 m^2 , ki pod referenčnimi pogoji osvetlitve sprejme 1600 W svetlobne moči, takšen modul izkazuje učinkovitost pretvorbe sončne energije v električno 22,5 % (360 W / 1600 W).

Pomanjkljivost zaporedne vezave sončnih celic v fotonapetostnih moduli se izkazuje pri delnem senčenju, saj že ena senčena celica v modulu lahko prekine delovanje celotnega niza, hkrati pa se sama začne prekomerno segrevati. Ta problem rešujemo z uporabo dodatnih premostitvenih diod v modulu, ki v takšnih pogojih premoščajo senčene celice in pomagajo črpati električno energijo iz modula iz preostalih delujočih celic. Pri alternativni vzporedni



Slika 1: Gostota moči spektra sončnega sevanja (črna) v odvisnosti od valovne dolžine ter uporabna moč silicijevih (modro) in perovskitnih sončnih celic (rdeče).

vezavi celic te pomanjkljivosti zaradi delnega senčenja sicer ni, vendar pa si vzporedne vezave zaradi povečevanja že tako visokega električnega toka pri relativno nizki napetosti ne želimo in se zato praviloma ne uporablja.



Slika 2: a) Fotografija silicijevega modula s 60 celicami. b) Shema vezave posameznih celic v takšnem modulu. Celice so med seboj vezane zaporedno, v priključni škatli so 3 premostitvene diode.

Procesi izdelave

Perovskitne sončne celice so nova tehnologija na področju pretvorbe sončne energije v električno. Osnova zanje je inorganski-organski kovinski halogenid, absorpcijski material perovskitne kristalne zgradbe. Njegova direktna energijska reža zagotavlja učinkovito pretvorbo fotonov v elektrone že pri tankih plasteh, debeline 500 nm. Perovskitne sončne celice dosegajo visoko učinkovitost pretvorbe nad 26 %, zaradi komplementarne energijske reže s silicijevimi sončnimi celicami pa jih lahko uporabljamo tudi v tandemskih sončnih celicah. V tandemskih sončnih celicah sta podcelici tipično zaporedno povezani med seboj. Pri tem se spekter sončne svetlobe razdeli na polovico. Zgornja perovskitna celica absorbira UV in vidni del svetlobe, spodnja silicijeva celica pa infrardeči. Čeprav se zaradi tega električni tok zmanjša za polovico, se napetost tandemskih sončnih celic poveča skoraj za faktor 3. Učinkovitost pretvorbe je tako višja, v teoriji lahko tandemske sončne celice dosežejo 45 %, rekordna izdelana celica pa ima učinkovitost pretvorbe 33,9 %.

Izdelava perovskitnih sončnih celic poteka v suhih komorah z rokavicami, ki zagotavljajo inertno atmosfero brez vode in kisika. Predvsem voda (oz. vlaga) je snov, ki kritično vpliva na kvaliteto izdelave zaradi perovskitove občutljivosti nanjo. Najenostavnejši in zaenkrat tudi najučinkovitejši nanos perovskita je s spinskim nanašanjem. Pri tem najprej pripravimo raztopino, kjer so perovskitni prekursorji raztopljeni v organskem topilu. Raztopino naneseemo na substrat in zavrtimo spinski nanašalec. Med vrtenjem pri 4000 obratih na minuto se zaradi sile vrtenja raztopina enakomerno porazdeli po substratu. Debelino plasti najbolj določa koncentracija raztopine, lahko pa jo nastavljamo tudi s hitrostjo in časom vrtenja. Za nanos perovskita je značilen še brizg t.i. antitopila na substrat, ki pospeši odstranjevanje topila iz nanešene raztopine in pospeši kristalizacijo. Po nanosu sledi 30 minutno žarčenje pri 100 °C na gredni plošči, kjer se dokonča kristalizacija, topilo pa v celoti izhlapi.

a)



b)



Slika 3: a) Dušikove komore z rokavicami, kjer poteka izdelava perovskitnih sončnih celic v laboratoriju LPVO na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. b) Spinski nanašalec.

Preostale plasti perovskitnih sončnih celic naneseemo z atomsko enoslojno depozicijo in naprevanjem. Atomska enoslojna depozicija poteka v posebni komori v vakumu pri temperaturah med 100 in 300 °C. Zaradi perovskitove občutljivosti na visoke temperature je območje uporabe omejeno na 130 °C. Pri atomski depoziciji poteka nanos posameznih atomskih plasti v štirih korakih, tipični snovi pa sta aluminijev in kositrov oksid. V prvem koraku se nanese prvi prekursor, npr. voda. Ena plast molekul vode se oprime vseh površin v komori, preostanek pa se v drugem koraku spiha iz komore z dušikom. V tretjem koraku se v komoro doda trimetilaluminij. Aluminij reagira s kisikom iz vode ter tvori eno plast aluminijevega oksida. Metilne skupine trimetilaluminija pa reagirajo z vodikovimi atomi vode, pri čemer tvorijo metan, ki je v četrtem koraku izpihan iz komore. V enem ciklu, sestavljenem iz štirih korakov, se tako nanese ena plast aluminijevega oksida. Debelino plasti nadzorujemo s številom ciklov. Tipične debeline so ranga od 1 do 30 nm, hitrost nanosa pa približno 1 Å/cikel.

Naprevanje poteka v visokem vakumu 10^{-6} mbar in se največkrat uporablja za nanos kovinskih kontaktnih plasti. Nanos poteka tako, da v čolničkih segrejemo koščke kovine nad temperature tališča, ki je za večino kovin nad 800 °C. Kovina izpari in se nanese na substrat. Uniformnost nanosa zagotavljamo z rotacijo nosilca za vzorce, debelino merimo s senzorji na osnovi piezokristalov. Senzor vibrira z določeno frekvenco, ki se zaradi teže nanešenega materiala spremeni. Če poznamo kalibracijski faktor ter gostoto materiala, lahko na podlagi spremembe frekvence določimo debelino plasti.

Naloge

C1. Kolikšna je v teoriji največja dosegljiva učinkovitost pretvorbe enospojnih sončnih celic?

- a) 50%
- b) 33%**
- c) 86%

C2. Meritve sončnih celic in modulov potekajo v laboratoriju pod standardnimi testnimi pogoji:

- a) osvetlitev 10 W/m^2 , temperatura $15 \text{ }^\circ\text{C}$, spekter AM1.
- b) osvetlitev 100 W/m^2 , temperatura $20 \text{ }^\circ\text{C}$, spekter AM1.25.
- c) osvetlitev 1000 W/m^2 , temperatura $25 \text{ }^\circ\text{C}$, spekter AM1.5.**

C3. Kolikšna je dolžina impulza osvetlitve pri merjenju PV modula na bliskovnem simulatorju?

- a) 100 ms**
- b) 1 s
- c) 1 ms

C4. Kolikšna sta napetost in tok silicijevega PV modula, če je sestavljen iz 80 sončnih celic, od katerih vsaka generira 10 A in 0,6 V?

- a) 10 A in 48 V**
- b) 80 A in 48 V
- c) 800 A in 0,6 V

C5. Kolikšna bi bila nazivna električna moč silicijevega PV modula s površino 2 m^2 in učinkovitostjo pretvorbe 25 %?

- a) 500 W**
- b) 250 W
- c) 125 W

C6. Čemu služijo zaščitne diode v PV modulih?

- a) Zaščiti PV modula pred udarom strele.
- b) Zaščiti PV modula pri preveliki jakosti sončnega sevanja.
- c) Zaščiti PV modula pri delnem senčenju.**

C7. Kateri tip silicija se uporablja v najbolj učinkovitih PV modulih?

- a) Amorfn
- b) Monokristalni**
- c) Polikristalni

C8. Kakšno je razmerje debelin med perovskitno in silicijevo celico?

- a) 1:20
- b) 200:1
- c) **1:200**

C9. V perovskitno-silicijevi tandemski sončni celici velja:

- a) Perovskitna sončna celica absorbira UV in vidni del svetlobe, silicijeva pa infrardeči.
- b) Perovskitna sončna celica absorbira UV del svetlobe, silicijeva pa vidni in infrardeči.
- c) Perovskitna sončna celica absorbira infrardeči del svetlobe, silicijeva pa UV in vidni.

C10. Tandemska sončna celica ima v primerjavi s silicijevo višjo učinkovitost pretvorbe, a ima:

- a) **nižji tok.**
- b) nižjo napetost.
- c) nižjo moč.

C11. Kateri plin zagotovo NE sestavlja atmosfere v suhi komori z rokavicami?

- a) Argon
- b) Dušik
- c) **Vodik**

C12. S katerim postopkom lahko najnatančneje naneseemo plast snovi?

- a) Z evaporacijo.
- b) S spinskim nanašanjem.
- c) **Z atomsko enoslojno depozicijo.**

C13. Kateri parameter ima največji vpliv na debelino nanosa pri spinskem nanašanju?

- a) Hitrost vrtenja
- b) **Koncentracija**
- c) Čas vrtenja

C14. Meritev debeline snovi nanešene v naparjevalniku, je mogoča z opazovanjem spremembe:

- a) Napetosti
- b) Temperature
- c) **Frekvence**

C15. Hitrost nanosa srebra v evaporatorju poteka s hitrostjo $0,5 \text{ \AA/s}$. V kolikšnem času bomo nanесли 30 nm srebra?

- a) 150 sekund
- b) **10 minut**
- c) 1 ura

KarTrak

S črtnimi kodami se srečujemo domala vsak dan. V trgovini ne moremo opraviti nakupa izdelka, ki nebi vseboval črtne kode. Te najdemo na naših zdravilih, računalniških delih, pošiljkah in paketih. S pomočjo črtnih kod delujejo vsi sodobni proizvodni procesi. So enostavne za proizvodnjo, izjemno poceni in zanesljive.

A začetek črtnih kod ne sega na področje trgovine ali proizvodnje, temveč na precej nepričakovano področje. Železnico. V začetku 50. let prejšnjega stoletja, se je Amerika začela prebujati. Ljudje so si lahko privoščili svoje avtomobile, pospešeno so se gradile številne avtoceste, začel se je razmah letalskega prometa. Vse to je vodilo v zaton železniškega prometa, ki je še desetletje nazaj cvetel z zagotavljanjem potniškega prometa. Zaradi tega so se močna podjetja, ki so z železnico upravljala preusmerila v izvajanje tovarnega prometa.

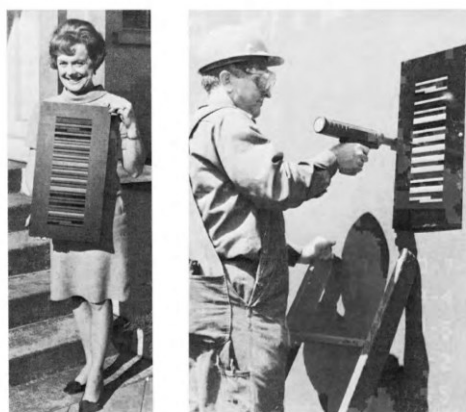
Vendar pri tako veliki državi, je upravljanje z vagoni, ki potujejo iz enega konca države na drugega, logistična nočna mora. Vlakovne kompozicije je na vmesnih vozliščih širom države potrebno večkrat razpeti (ločiti na posamezne vagon), združiti v skupine in ustvariti novo vlakovno kompozicijo, ki potuje naprej v željeni smeri. Vsaka minuta, ko vlak stoji pomeni izgubo, a ročno popisovanje vsakega vagona in vodenje evidenc počne ravno to, ustavlja vlak.

David Jarrett Collins tako leta 1959 pride na zamisel, o uporabi sveže razvitega računalniškega sistema podjetja GTE Sylvania za elektronsko označevanje in sledenje vagonov. Tako se rodi sistem KarTrak. Črtne kode sestavljajo visokoodsevni trakovi treh različnih barv, ki se namestijo na stranico vagona. Kamera skupaj z bliskavico nato zajema slike in razbere številsko kodo, ki jo prenese na teleprinter (prvi tipi tiskalnikov). Vse to lahko opravi pri izjemni hitrosti vlakov, več kot 100 km/h, kar je za tisti čas izjemen dosežek.

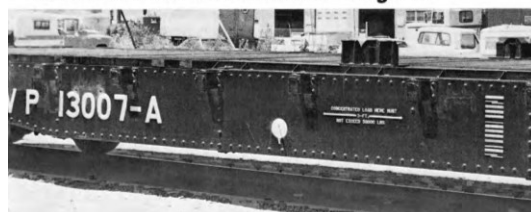
Kljub odločitvi združenja železničarjev, da morajo biti prav vsi vagoni opremljeni s KarTrak nalepkami, sistem nikoli ne zaživi v celoti, saj se železniška podjetja uprejo. Nalepke, čeprav silno poceni, niso dovolj robustne in odporne na umazanijo ter poškodbe (kamenje, toča, sneg). Tako jih je potrebno neprestano pregledovati, čistiti in menjati. Po desetih letih uporabe kar 20% kod ni več pravilno berljivih, kar povzroči še dodatne težave pri razvrščanju tovarnih vagonov.

Finančna kriza ki sledi v 70. letih dokončno ustavi razvoj in uporabo sistema KarTrak, železnica nekaj časa uporablja ročno vodenje vagonov, danes pa uporablja elektronsko identifikacijo s sistemom podobnim brezstičnim bančnim karticam, ki je precej bolj odporen na umazanijo in vremenske dejavnike.

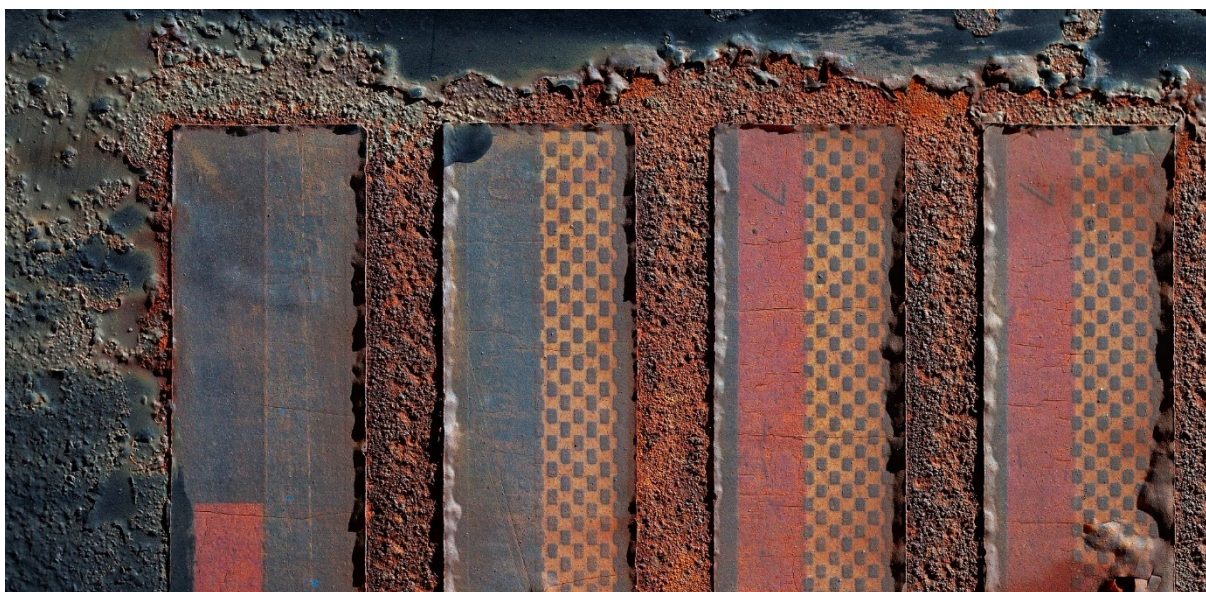
WESTERN PACIFIC
Mileposts JUNE 1969



Automatic car identification—Page 3

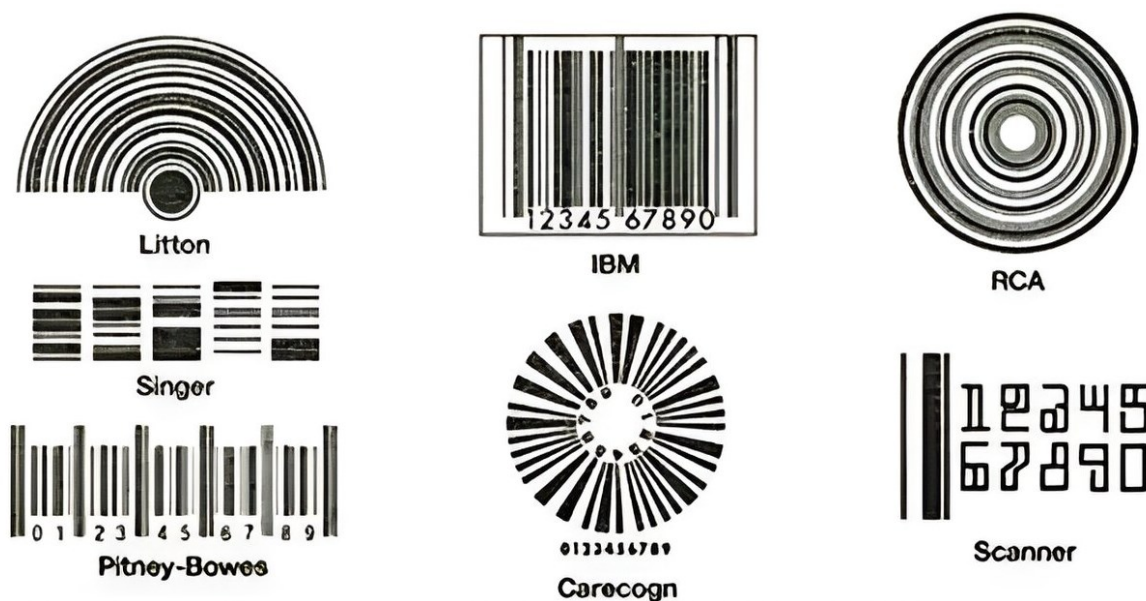


Slika 1: Sistem KarTrak iz oglasa v reviji



Slika 2: Ostanke nekoč delujočega sistema KarTrak so vidni še danes

Vendar pa razvoj ni bil zaman! Odpravljanje težav so inženirje vodile v razvoj prvega laserskega čitalnika in številnih črtnih kod, ki jih je naprej začela uporabljati avtomobilska industrija za sledenje proizvodnega procesa v tovarnah. Šele leta 1974 je bila v trgovini elektronsko prebrana prva črna koda, kar 25 let pa je industrija potrebovala, da je črtne kode vpeljala prav na vse izdelke.



Slika 3: Predlogi črtnih kod za univerzalno uporabo. Izbran je bil IBM-ov predlog.

Danes je najbolj razširjena črna koda zagotovo UPC (angleško **U**niversal **P**roduct **C**ode) ali EAN (angleško **E**uropean **A**rticle **N**umber). Sestavljena je iz več navpičnih črt različnih debelin in različno debelih presledkov med njimi. Zaporedje 7 različnih kombinacij praznega prostora in polne črte označuje številko med 0 in 7 (vse možnosti niso kodirane, zaradi zagotavljanja večje robustnosti). Koda se loči na levi in desni del, kjer je kodiranje števil drugačno (da lahko čitalnik loči v katero smer je potrebno prebrati kodo, če je ta obrnjena na glavo, na koncu pa se nahaja kontrolna vsota, ki čitalniku omogoča preverjanje uspešnega branja kode.

Potrebni pripomočki

Za izvedbo naloge potrebujemo:

- Laserske bralnike črtnih kod z dostopom do analognih signalov
- Dvokanalni osciloskop
- Termični tiskalnik nalepk z ustreznim programom
- Nekaj primerov črtnih kod
- Industrijski 3D tiskalnik

Opis poteka naloge

Tekmovalci so se spoznali z različnimi vrstami 2D in 3D črtnih kod, najcenejšim načinom izdelave nalepk s termalnim papirjem, kodiranjem informacije v črtno kodo ter načinom branja z laserskim čitalnikom, kjer si je bilo mogoče ogledati signale, ki jih vidi ročni bralnik. Na enostavnem primeru so določili kontrolno vsoto EAN nalepke, ter prejeli 4. tipe različnih oblik črtnih kod, ki so jih lahko vzeli domov. Na koncu so se spoznali z delovanjem 3D skenerja, ki ga uporabljajo v trgovinah in načinu goljufanja pri izdelavi nalepk na oddelkih sadja in zelenjave.



Naloge

- D1. Čemu je služil sistem črtnih kod KarTrak, ki so ga leta 1967 začele uporabljati Ameriške železnice?**
- a) Digitalnemu sledenju lokomotiv.
 - b) Digitalnem zapisu končnega cilja vagona.
 - c) **Računalniškemu popisu vagonov.**
- D2. Kaj je bila glavna tehnična težava, ki je pestila sistem KarTrak ob njegovem zatonu leta 1977?**
- a) **Črtne kode so brez rednega vzdrževanja postale neberljive.**
 - b) Računalniška tehnika je bila v povojih, čitalniki pa niso zmogli brati hitrih električnih vlakov.
 - c) Pomanjkanje rezervnih delov za iztrošene računalnike, ki so dekodirali kode.
- D3. Kateri format črtne kode se po standardu večinoma uporablja na embalaži živilskih izdelkov proizvedenih znotraj Evropske Unije?**
- a) UPC-A
 - b) Codabar-14
 - c) **EAN-13**
- D4. 1D laserski čitalnik kod preletava področje v obliki ravne črte s frekvenco 67 Hz. Koliko različnih črtnih kod lahko tak čitalnik brez omejitev prebere v 5 sekundah?**
- a) 335
 - b) **670**
 - c) 50
- D5. Zakaj je simbol v črtni kodi UPC-A določen z razmerjem med črnimi črtami in belimi presledki, ter ne zgolj z debelino črnih črt?**
- a) Spreminjanje številke ne kvira razmerja dolžin simbolov med levim in desnim delom kode.
 - b) **Razpoznavanje je bolj odporno na spreminjanje razdalje med čitalnikom in kodo.**
 - c) Bralnik lahko za vsak simbol preveri, ali je ta veljaven.
- D6. Kako blagajniški 2D laserski čitalnik črtnih kod preprečuje, da bi bil isti izdelek po nesreči prebran dvakrat?**
- a) Naslednja koda izdelka mora biti obvezno drugačna od trenutne.
 - b) Po uspešni detekciji kode za hip ugasne laserski žarek in s tem onemogoči ponovno branje.
 - c) **Med dvema zaporednima detekcijama kode mora miniti vsaj 1 s.**

D7. Kaj vzorči čitalnik črtnih kod, ki uporablja tehnologijo z vgrajeno kamero (CCD)?

- a) **Izsevano okoliško svetlobo.**
- b) Odbito svetlobo s površine črtne kode.
- c) Absorbirano svetlobo na področju črne barve.

D8. Koliko je minimalna potrebna višina črtne kode, da jo še uspešno razbere 1D laserski čitalnik?

- a) Večja ali enaka širini najmanjšega belega presledka v črtni kodi.
- b) Večja ali enaka $\frac{1}{4}$ širine črtne kode.
- c) **Večja ali enaka premeru laserskega žarka.**

D9. Kako čitalnik črtnih kod UPC-A ve, da je koda prebrana v napačno smer?

- a) Začetek kode označujeta dve tanki črni črti, konec pa tri tanke črte.
- b) **Številke so levo od sredinskega ločila kodirane drugače, kot številke desno od tega ločila.**
- c) Branje v nasprotno smer prinese neveljavne vrednosti kodiranja števil.

D10. Kaj je najizrazitejša tehnična prednost formata črtnih kod poimenovanega CODABAR?

- a) **Branje kode je uspešno tudi pri natisu s slabimi, matričnimi tiskalniki.**
- b) Poleg števil omogoča kodiranje vseh črk.
- c) Ne potrebuje zapisa kontrolne vsote na koncu kode.

D11. Kateri tip čitalnika črtnih kod NE uspe prebrati fotografije kartice zvestobe na telefonu?

- a) **Laserski 1D čitalnik**
- b) Svetlobno pero
- c) CCD 1D čitalnik

D12. QR koda ima vgrajen mehanizem popravljanja napak pri branju. Koliko odstotkov QR kode lahko manjka, če je stopnja zaščite izbrana za najvišjo možno in so vsi trije robni označevalci položaja vidni?

- a) 25%
- b) 15%
- c) **30%**

D13. 1D čitalniku črtnih kod zamenjamo laser z zelenim. Najmanj kaj moramo poleg tega še spremeniti v čitalniku, da bo branje kod uspešno?

- a) Samo optični filter za zbiralno lečo.
- b) **Optični filter za zbiralno lečo in fotodiodo.**
- c) Samo fotodiodo.

D14. Na kakšen način so natisnjene črtne kode, ki se uporabljajo v medicini in so odporne na alkoholne hlape ter primerne za shranjevanje na izjemno nizkih temperaturah?

- a) **S topljenjem črnega voska na površino nalepke.**
- b) S segrevanjem termalno občutljive površine nalepke.
- c) Z laserskim tiskom na plastično nalepko.

D15. Izdelku z EAN-13 kodo želimo spremeniti državo porekla iz Slovenije (s predpono 383) na Ukrajino (s predpono 482). Kaj moramo pri dani EAN-13 kodi popraviti, če spreminjamo zgolj državo?

- a) Prvo številko, tretjo številko in kontrolno vsoto na zadnjem mestu.
- b) **Samo prvo in tretjo številko.**
- c) Prve tri številke in kontrolno vsoto na zadnjem mestu.