Univerza *v Ljubljani*
Fakulteta *za elektrotehniko*

Tekmovanje v znanju tehnologij 2020

Bilten

Aljaž Blatnik, Marko Jankovec,

Marko Jeran, Luka Podbregar, Luka Zmrzlak

Fakulteta za elektrotehniko

Univerza v Ljubljani

2021

Predgovor

''Od ponedeljka dalje šolanje za vse učence poteka na daljavo'', se je glasilo neuradno obvestilo na novičarskem spletnem portalu. Potem pa klici, elektronska sporočila, različne ideje kako izvesti šolsko tekmovanje, ki bi se moralo odviti čez le nekaj dni. Odpovedati celotno tekmovanje in ga prestaviti za eno leto? Ampak priznanja vendarle prinašajo možnosti za pridobitev štipendij, ne smemo dovoliti, da bodo učenci prikrajšani še za to! In smo prestavili izvedbo neznano kam v prihodnost. In čakali, ter na koncu dočakali možnost izvedbe šolskega tekmovanja skoraj pet mesecev izven predvidenega termina.

Učenci so izvedli serijo treh poskusov, ki so jih lahko izvedli doma ali pod okriljem mentorjev, nato pa na šolskem tekmovanju odgovarjali na vprašanja iz danih področji. Najboljši tekmovalci iz cele Slovenije so bili povabljeni na Fakulteto za elektrotehniko na Državno tekmovanje, kjer so se udeležili predavanj o novem pojavu. Na koncu rešujejo pisna vprašanja s te tematike. Fakulteta je najboljšim podelila zlata priznanja.

Letos smo uspeli. Tekmovanje smo izvedli v celoti, v neokrnjeni obliki. Na fakulteti smo gostili učence iz vse Slovenije. Čeprav poskusi niso smeli biti takšni, da bi lahko sami prijemali in poskušali, so spoznali dve novi tehnologiji, ki krojita naš vsakdan.

Pred vami je Bilten 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 izziv, upam da bodo tudi za vas!

Aljaž Blatnik, Ljubljana, junij 2021
Predsednik tekmovalne komisije

Kazalo vsebine

Ob zadnjem znaku bo ura 7 (šolsko tekmovanje) 5

Zakasnitve pri oddaji signalov 5

Potrebni pripomočki 6

Opis poteka naloge 6

Dodatno 7

Vprašanja za razmislek 7

Naloge 8

Želatinasta optika (šolsko tekmovanje) 9

Lomni količnik 9

Potrebni pripomočki 10

Opis poteka naloge 10

Vprašanja za razmislek 14

Naloge 15

Elektrogalvanizacija (šolsko tekmovanje) 16

Galvanizacija 16

Potrebni pripomočki 17

Opis poteka naloge 17

Dodatno 21

Naloge 22

Fotovoltaika (državno tekmovanje) 23

Obnovljivi viri energije 23

Sončne celice, PV moduli in polja 24

PV elektrarne 24

Naloge 26

Radarska odmevna površina (državno tekmovanje) 28

Area 51 28

Merjenje hitrosti z elektromagnetnim valovanjem 29

Poskus 1 – Merjenje hitrosti z Dopplerjevim radarjem 30

Vremenski radar 31

Radarska površina predmeta 32

Poskus 2 – Merjenje radarske odmevne površine 33

Naloge 35

Ob zadnjem znaku bo ura 7

Zakasnitve pri oddaji signalov

Slika 1: Radijski sprejemnik s povezljivostjo v internet

»Ob zadnjem znaku bo ura 7. Beep, beep, beep, beep, beep, biiiiiiiip. Ura je 7. Radio …«

Zagotovo ste po radiu že slišali napoved točnega časa. Največkrat lahko znane piske slišimo na radijskih postajah RTV Slovenija tik pred radijskim dnevnikom ali novicami. S pomočjo objave bi lahko nastavili naše ure, ali preverili, če je naša ura v avtomobilu nastavljena pravilno. Vendar tu ni vse tako preprosto.

Pri oddaji multimedijskih vsebin »v živo«, pogosto prihaja do zakasnitev med prenosom do končnih uporabnikov. Nekatere zakasnitve so namenske, na primer nekaj minutni zamik pri oddaji, kadar želimo preprečiti, da bi nepredvidljive in neželene vsebine prišle v program, ali več urne, ko vsebino gledalcem ali poslušalcem predvajamo v njim primernejšem terminu (ponovitev tekme, koncerta naslednji dan).

Drugačen tip zakasnitev v prenos vnašajo tehnološke omejitve oddajnih sistemov. Priprava, obdelava in prenos informacij je precej odvisen od uporabljene tehnologije, zahtev končnega uporabnika ter ekonomske politike. Tako pri javljanju v živo s terena prevladuje potreba po sočasnosti in čim manjših zakasnitvah pri prenosu, medtem ko pri distribuciji signala do končnih uporabnikov igra pomembno vlogo strošek na uporabnika, zakasnitev prenosa pa ni tako kritična.

Najdaljšo zgodovino brezžičnega prenosa multimedijskih vsebin nosi radio. Danes ga je mogoče poslušati preko najrazličnejših sistemov, ki pogosto niso omejeni zgolj na določeno geografsko področje ampak na zmogljivost uporabljene tehnologije. Če je bilo radio še dve desetletji nazaj moč spremljati le preko analogne (AM in FM) oddaje, ga lahko danes poslušamo tudi preko digitalne oddaje, kabelske televizije, interneta ali satelita.

Zaradi različnih tehnologij prenosa, zakasnitev med sistemi ni konsistentna. Če moramo signal pri satelitski oddaji najprej obdelati, ga na 36 tisoč kilometrov dolgo razdaljo prenesti do geostacionarnega satelita, nato poslati nazaj proti zemlji, ga zopet ustrezno dekodirati in predvajati, s tem ustvarimo

zamik. Pri internetnem prenosu pride do zakasnitev zaradi obremenjenosti omrežja in polnjenja čakalnih vrst na napravah, ki naše podatke preko omrežja posredujejo do našega računalnika.

Kako torej s pomočjo napovedi točnega časa najbolj točno nastavimo našo uro? Kje bo radijski program do nas pripotoval z najmanjšo zakasnitvijo? »Ob zadnjem znaku je bila ura 7«, v studiu Radia Slovenija, koliko pa je ura pri nas?

Potrebni pripomočki

Za izvedbo naloge potrebujemo:

- FM radijski sprejemnik (samostojna naprava, avto radio)
- Računalnik z zvočniki in dostopom do interneta
- Mobilni telefon z dostopom do omrežja
- Televizijski sprejemnik (kabelska televizija, IPTV, DVB-T …)
- Štoparica
- Dodatno: satelitski sprejemnik (satelitska TV), DAB+ sprejemnik

Opis poteka naloge

Ugotoviti moramo kakšen je zamik pri oddaji istega radijskega programa preko različnih medijev. Izberimo si radijsko postajo, ki jo dobro sprejemamo z našim analognim FM radijskim sprejemnikom. Če je le mogoče, si izberemo radijsko postajo, ki jo oddaja RTV Slovenija (Radio Prvi, Val 202), saj lahko programe poslušamo tudi preko spleta, televizije, celo satelita. Če preko televizije ne moremo dostopati do radijskih programov, je ne uporabimo (večina ponudnikov televizijskih programov to sicer omogoča).

Hkrati na vseh napravah nastavimo in poslušamo isti radijski program (na računalniku in mobilnem telefonu radijski program poslušamo preko spletne strani ali aplikacije). Izberimo značilne točke v programu (začetek novic, glasbeni premor) in določimo katera naprava prva sprejme radijski signal (ostale za njo zaostajajo). Nato s štoparico določimo koliko sekund zaostaja radijski program na ostalih napravah. Zabeležimo si ugotovitve.

Ime radijske postaje:	
Naprava, ki prva sprejme signal:	

Naprava	Zakasnitev [s]
Računalnik (internetni radio)	
Mobilni telefon (internetni radio – Wifi)	
Mobilni telefon (internetni radio – LTE ali 3G)	

Zabeležimo si ugotovitve ter poskus ponovimo za drugo lokalno radijsko postajo.

Ime radijske postaje:	
Naprava, ki prva sprejme signal:	

Naprava	Zakasnitev [s]
Računalnik (internetni radio)	
Mobilni telefon (internetni radio – Wifi)	
Mobilni telefon (internetni radio – LTE ali 3G)	

Dodatno

Če imamo doma satelitski sprejemnik, lahko programe Radia Slovenija poslušamo tudi preko satelita. Za to potrebujemo novejši sprejemnik, ki omogoča sprejem signala DVB-S2. To so večinoma sprejemniki izdelani po letu 2008, sprožiti pa moramo novo iskanje, saj so od januarja 2020 vsi kanali na voljo le v visoki ločljivosti HD. Nastavitve sprejemnega sistema so:

Ime satelita: **Eutelsat 16A**
orbitalna pozicija: **16°E** (vzhodno)
polarizacija: **Vertikalna**
frekvenca: **11.637 MHz**
simbolna hitrost: **30.000 sym/s**
kodno razmerje (FEC): **2/3**
sistem odklepanja: **VIACCESS**

Namig: V bližini oddajnega satelita Eutelsat 16A se na nebu nahaja veliko močnejši satelit iz družine Astra, zato naš signal hitro zgrešimo. Najbolje da najprej nastavimo sprejemnik in nato poiščemo naš satelit s pomočjo opazovanja jakosti signala.

V kolikor imamo v avtomobilu ali radiu možnost sprejema radijskih postaj preko sistema DAB+, lahko opravimo tudi to meritev.

Vprašanja za razmislek

- Kako hitro se širi zvok v zraku?
- Kako hitro se širijo radijski valovi v praznem prostoru?
- Kako daleč prepotuje radijski signal če je FM oddajnik na Krimu, sprejemnik pa v Žužemberku?
- Koliko časa potuje radijski signal do letala, če je oddajnik v Domžalah usmerjen navpično proti letalu na višini 3467 m?
- Koliko radijskih postaj imamo v Sloveniji?
- Koliko različnih frekvenc uporablja radijska postaja Val 202?

(Odgovore poiščite s pomočjo spleta)

Naloge

Radijski signal hkrati poslušamo preko analognega FM radijskega sprejemnika in internetnega prenosa na računalniku. Kateri način omogoča poslušanje v živo z manjšo zakasnitvijo?

a) Radijski program na obeh napravah med seboj ni zakasnjen
b) Internetni radio na računalniku
c) FM radijski sprejemnik

Kakšna je hitrost zvoka v suhem zraku pri 20° C?

a) 300 000 000 m/s
b) 3×10^9 m/s
c) 343 m/s

Radijski oddajnik na Belem križu se nahaja na nadmorski višini 55 m. Kolikšno razdaljo prepotuje signal, oddan iz tega oddajnika, do letala nad Koprom, ki leti na višini 5 km? (Zračna razdalja med Koprom in Belim križem je 13 km)

a) $\boldsymbol{\sqrt{13000^2 + (5000 - 55)^2} = 13.91\ km}$
b) $\sqrt{13000^2 + 5000^2} = 13.93\ km$
c) $\sqrt{13000^2 + (5000 + 55)^2} = 13.95\ km$

Slovenski satelit Nemo-HD kroži v polarni tirnici, ki se nad površino Zemlje nahaja na višini 530 km. Koliko časa potrebuje video signal, ki ga pošilja visoko ločljivostna kamera na krovu satelita, da ta pripotuje do zemeljske postaje v Kopru, kadar se satelit nahaja navpično nad nami?
($c_0 = 300\ 000\ 000\ m/s$)

a) 1.766666 s
b) 0.017666 s
c) 0.001766 s

Oddajni center Krvavec oddaja Prvi program Radia Slovenija na 91,8 MHz. S hitrostjo 800 km/h ga preleti potniški Airbus A320. Na kateri frekvenci lahko radijsko postajo spremlja pilot, ki v tistem trenutku leti tik nad oddajnikom?

a) 91.7 MHz
b) 91.8 MHz
c) 91.9 MHz

Želatinasta optika

Lomni količnik

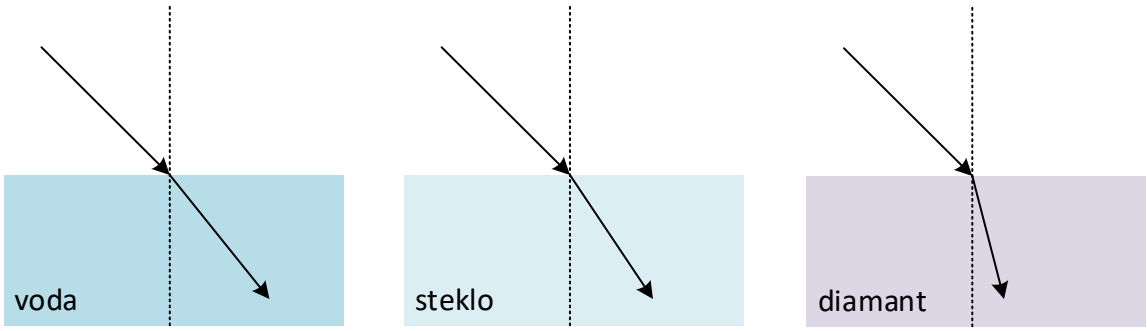
Kadar svetloba (ali valovanje) vstopa na mejo dveh različnih, a prepustnih (transparentnih) snovi pod kotom, se ta lomi. Pojav najbolje opazimo, če v kozarec napolnjen z vodo vstavimo svinčnik tako, da ga del potopimo, del pa ostane v zraku. Ker ima voda različen lomni količnik od zraka, se bo svinčnik navidezno zlomil.

Slika 1: Primer lomljenja svetlobe na preprostem poskusu

Lastnost optične snovi lahko opišemo z lomnim količnikom, ki pove, za koliko se hitrost svetlobe zmanjša v snovi, v primerjavi z razširjanjem po vakuumu. Z drugimi besedami je lomni količnik v optiki razmerje med hitrostjo elektromagnetnega valovanja v praznem prostoru c in hitrostjo elektromagnetnega valovanja v snovi v_f.

$$n = \frac{c}{v_f}$$

Lomni količnik je brezrazsežna količina (brez enote). Največkrat za prazen prostor uporabimo hitrost razširjanja svetlobe v vakumu. Lomni količnik običajnega stekla znaša približno 1.5, kar pomeni, da svetloba v steklu potuje za faktor 1/1.5 = 0.67x počasneje kot svetloba v praznem prostoru. To lastnost izkoriščajo leče, saj se žarek pri prehodu iz stekla v zrak (ali obratno) lomi.



Slika 2: Lom vpadnega žarka iz zraka v različnih snoveh

Pogosto napačna predpostavka, da je lomni količnik vedno večji od 1, ne drži. Primer so rentgenski žarki, kjer je lomni količnik manjši od ena, kar lahko s pridom izkoriščamo pri ustvarjanju leč s pomočjo popolnega zunanjega odboja. S tem fokusiramo rentgenske žarke.

V zadnjem času znanstveniki odkrivajo, da obstaja možnost negativnega lomnega količnika, ki pa se v naravi najverjetneje ne pojavlja. Lahko nastopi v metamaterialih in omogoča izdelavo leč, ki jih danes še ne poznamo (popolnih leč).

Podatke o lomnih količnikih snovi poiščemo v učbenikih, knjigah ali na internetu. Če tega podatka ne najdemo, pa lahko lomni količnik za nekatere snovi dokaj preprosto tudi izmerimo.

Pri tem poskusu bomo izmerili lomni količnik želatine za sladice in s pomočjo kalupa izdelali zbiralno lečo, ter poskusili določiti njeno goriščno razdaljo.

Potrebni pripomočki

Za izvedbo naloge potrebujemo:

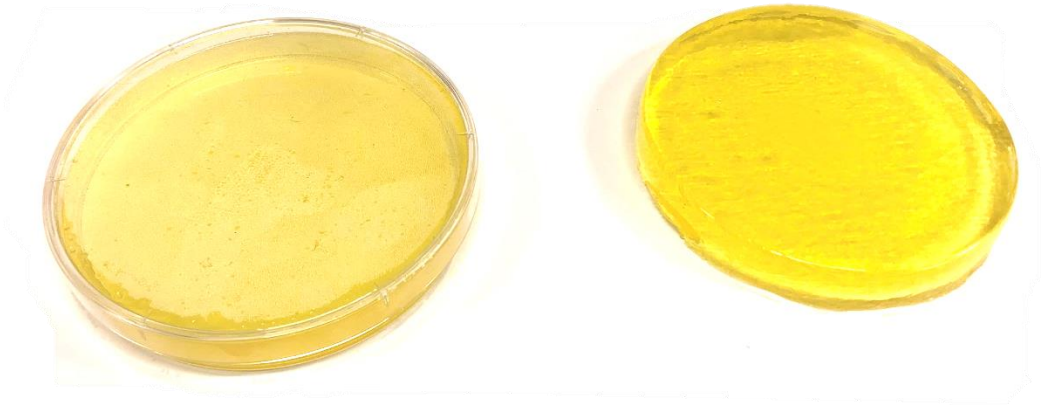
- Želatino v prahu (brez okusa, ali okus ananas/mailna)
- Laser (rdeč ali zelen – najdemo jih v kazalnikih za tablo, igračah)
- Geotrikotnik ali kotomer
- A4 list (mali karo)
- Povoščen papir, karton ali prozorno folijo
- Vroče lepilo s pištolo za lepljenje (ang. Hot Glue Gun)
- Hladilnik
- Jedilno olje
- Lepilni trak

Opis poteka naloge

Najprej bomo izmerili lomni količnik naše želatine. Za ta namen potrebujemo vsaj eno stranico želatine, ki bo ravna in pravokotna na površino mize. Tu imamo dve možnosti. Lahko izdelamo pravokotni kalup, bazenček, kamor vlijemo želatino; ali pa želatino vlijemo v kalup drugačne oblike, nato pa jo z ostrim nožem previdno zarežemo tako, da dobimo vsaj eno ravno stranico.

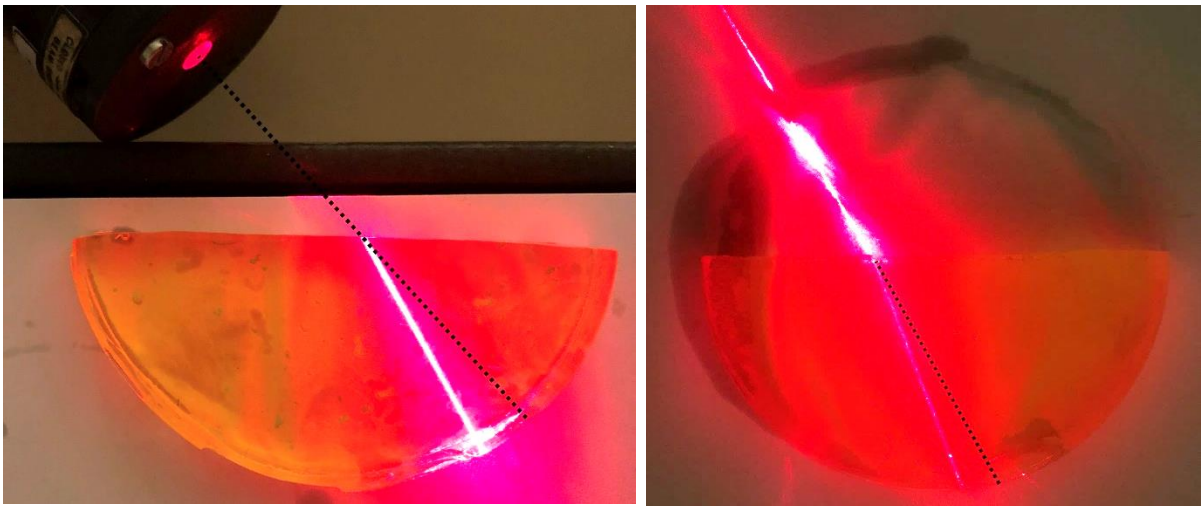
Neglede na izbiro načina, kalup najprej premažemo z oljem, tako bomo želatino lažje spravili iz njega. Želatino pripravimo po navodilih proizvajalca, a zmanjšamo količino vode na ½! S tem bomo dobili gostejšo zmes, s katero bomo lažje rokovali. Hkrati napolnimo več kalupov, saj se bo pri odstranjevanju želatine kakšna zagotovo ponesrečila! Tekočo zmes bomo v hladilniku pustili nekaj ur, najbolje čez noč, da se dodobra strdi. Nato jo odstranimo iz kalupa. S prsti po celotni dolžini previdno odmaknimo želatino od roba kalupa in jo s sunkom obrnemo na ravno površino (karton, deska, trši list papirja). Če nimamo ravnega robu, ga z nožem previdno izdelamo (razrežemo kos na dva dela)

Nasvet: Če sami izdelamo kalup, poskrbimo, da ta dobro tesni, saj je želatina sprva zelo tekoča. Za tesnjenje lahko izberemo ustrezno silikonsko tesnilno maso ali pa uporabimo pištolo za vroče lepljenje.

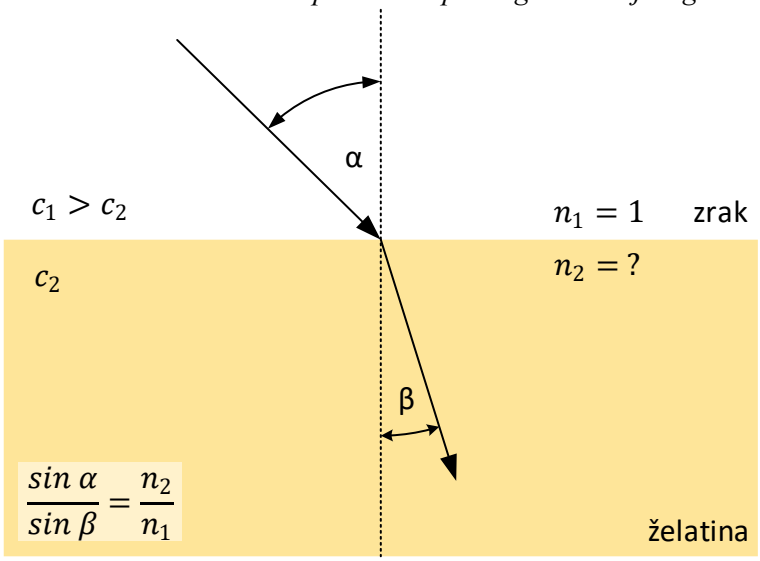


Slika 3: Želatina v kalupu (levo) in vzeta iz kalupa (desno)

V ravni rob želatine usmerimo laserski žarek. S pomočjo kotomera izmerimo vpadni in lomljeni kot, ter na podlagi meritev izračunajmo lomni količnik želatine. Meritev ponovimo večkrat, za različne vpadne kote na različnih vstopnih točkah želatine, a vedno na ravnem robu. Pomagajmo si s spodnjimi slikami.



Slika 4: Odrezana želatina s prikazom vpadnega in lomljenega žarka



Slika 5: Izračun lomnega količnika želatine

Meritev	Vstopni kolt **α**	Lomljeni kot **β**	Izračunani lomni količnik **n**
1			
2			
3			
4			
5			
		Povprečje:	

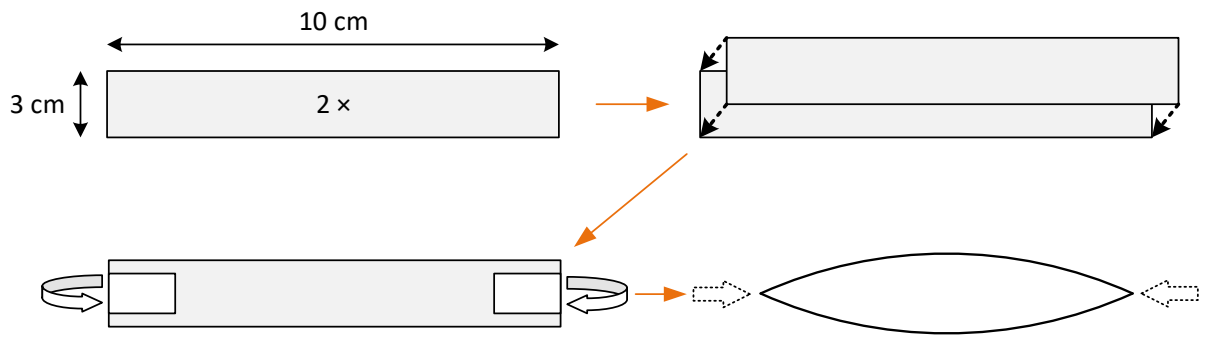
Tabela 1: Rezultati meritev želatina 1

Poskus ponovimo še z drugo želatino, iz drugega kalupa in primerjajmo rezultat. Ponovimo lahko tudi celoten postopek od začetka in pripravimo želatino drugačne gostote (več ali manj vode).

Meritev	Vstopni kolt **α**	Lomljeni kot **β**	Izračunani lomni količnik **n**
1			
2			
3			
4			
5			
		Povprečje:	

Tabela 2: Rezultati meritev želatina 2

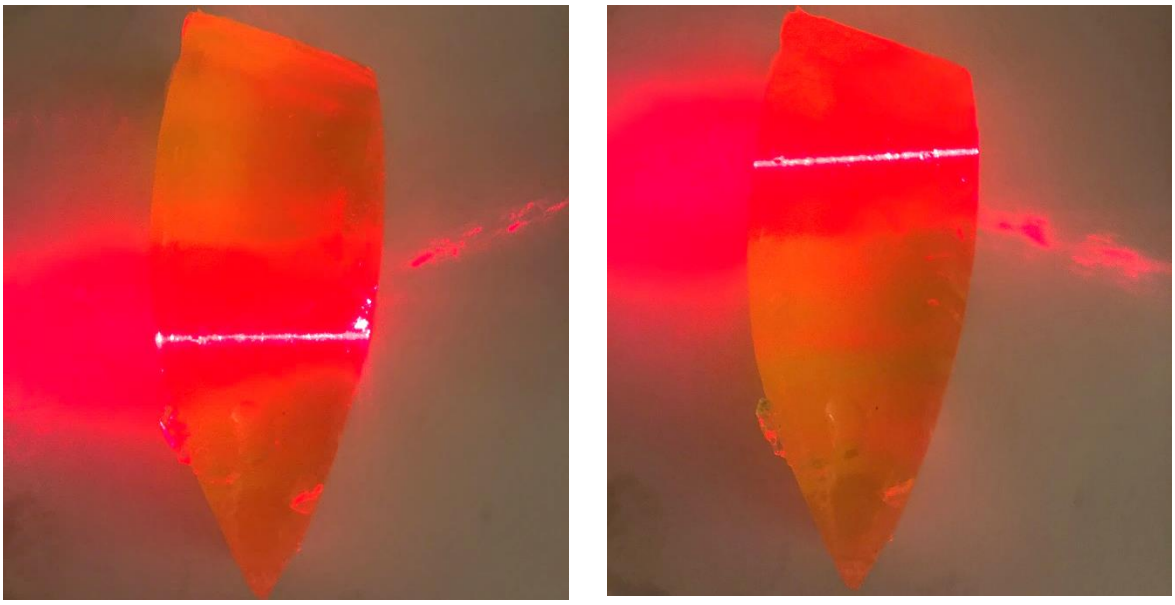
V drugem delu bomo iz želatine izdelali zbiralno lečo. Za ta namen izdelajmo svoj kalup. Iz povoščenega kartona ali folije za plastificiranje izrežemo dva pravokotnika s stranico 10 cm in 3 cm. Tako izrezana traka položimo drug na drugega in ju na krajših stranicah zalepimo skupaj z lepilnim trakom.



Slika 6: Postopek izdelave kalupa zbiralne leče

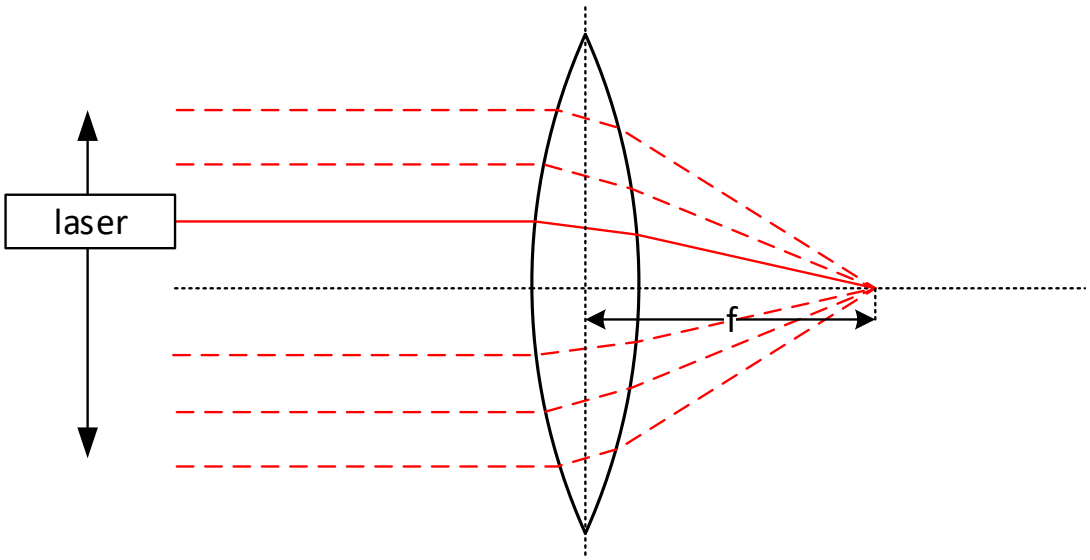
Ko zlepljena trakova ob straneh rahlo stisnemo skupaj, se razpreta in tvorita kalup zbiralne leče. S tem ko stiskamo trakova skupaj določamo tudi lastnosti leče. Izbira je poljubna, a pazimo da bo leča dovolj velika, saj se le tako ne bo zlomila pri odstranjevanju iz kalupa.

Tako izdelani okvir kalupa namestimo na ravno plastično ali kovinsko površino in ga začasno pričvrstimo v položaju s pomočjo lepilnega traku. Ker bo želatina na začetku precej tekoča, moramo poskrbeti za ustrezno tesnjenje. Stike z zunanje strani zatesnimo s silikonom ali pa uporabimo pištolo za vroče lepljenje (pri tem pazimo le, da ne stopimo plastične površine). Nato pripravimo želatino po enakem postopku kot v prvem delu in jo vlijemo v namaščen kalup. Po nekaj urah v hladilniku jo previdno odstranimo iz kalupa ter položimo na mali karo papir.



Slika 7: Rezultat leče iz kalupa (zgornji del se je odlomil med odstranjevanjem)

Z laserskim žarkom, ki ga pomikamo pravokotno na želatinasto lečo poskušamo določiti goriščno razdaljo. Pomagamo si z risanjem črt po papirju. Laserski žarek lahko nekoliko nagnemo, da ga vidimo tudi na papirju. Zabeležimo si rezultate.



Slika 8: Določanje goriščne razdalje želatinaste leče

Poskusimo previdno stiskati želatinasto lečo in tako spreminjati njeno obliko. Ob tem opazujemo kaj se dogaja z laserskim žarkom. Poskus lahko ponovimo z drugačno gostoto želatine in enakim kalupom, ali pa z drugačnim kalupom in enako gostoto želatine.

Nasveti:

- Kalupe lahko namesto z oljem oplaknemo z mrzlo vodo, a se želatina navadno sprime na kalup, zato jo bo težko odstraniti. Če imamo vse površine iz gladke plastike, zadostuje tudi hladna voda.
- Laser namestimo na težak podstavek. Tako ga bomo lažje premikali po mizi in nadzorovali njegov žarek. Nikar ne glejmo direktno v laserski žarek, saj lahko ta poškoduje naš vid!
- Pri obeh poskusih je zelo pomembno, da so naši robovi gladki in enakomerni, brez vdolbin in razpok. Ti bodo povzročili lomljenje ter odbijanje laserskega žarka, kar bo dalo nesmiseln rezultat.
- Lahko uporabimo tudi želatino v lističih, a jo moramo dovolj segreti, da pri mešanju postane popolnoma tekoča.
- Če goriščne razdalje ne moremo določiti (ne uspemo izdelati lepe leče), opazujmo le, kako se odklanja žarek, kadar lečo stiskamo skupaj.
- Za lep raven rez želatine nekoliko segrejmo nož in počasi zarežimo v želatino. Želatina se bo takrat lepše rezala.
- Poskus lepo deluje z želatino okusa ananas ali malina, kjer je laserski žarek v notranjosti lepo viden.

Vprašanja za razmislek

- Ali bi poskus deloval tudi z zračno lečo? (laserski žarek vstopa iz želatine v lečo iz zraka – prazen prostor – nato nazaj v želatino)
- Kaj se zgodi z laserskim žarkom, ki ga iz optično gostejše snovi (večji lomni količnik) usmerimo proti optično redkejši snovi (nižji lomni količnik), pod dovolj majhnim kotom glede na mejo dveh snovi?
- Kje vse opazimo lom svetlobe v naravi?
- Kje v naravi srečamo primer zbiralne leče, ki se lahko krči in razteza, ter spominja na želatino?

Naloge

Navadna želatina, ki jo lahko v obliki prahu kupimo v trgovini in jo pripravimo po navodilih proizvajalca, ima lomni količnik:

a) Manjši od zraka
b) Večji od zraka
c) Enak kot zrak

Laserski žarek v želatino vstopi pod kotom 20° (glede na navpičnico). Kaj se zgodi z laserskim žarkom?

a) Laserski žarek se lomi
b) Laserski žarek se popolnoma odbije na prehodu zrak-želatina
c) Laserski žarek se v želatini takoj absorbira

Za koliko odstotkov (%) se zmanjša hitrost svetlobe v steklu (lomni količnik 1,5) v primerjavi s hitrostjo v vakuumu (lomni količnik 1)?

a) 33%
b) 66%
c) 1.5%

S pomočjo kalupa vlijemo zbiralno lečo iz želatine. Z laserskim žarkom določimo goriščno razdaljo. Kako se spremeni goriščna razdalja, če želatinasto lečo prečno stisnemo tako, da postane bolj izbočena?

a) Goriščna razdalja se poveča
b) Goriščna razdalja ostane nespremenjena
c) Goriščna razdalja se zmanjša

Kalup za vlivanje zbiralne leče uporabimo tako, da izdelamo zračno lečo (želatino vlijemo okoli modelčka, na njegovem mestu pa ostane zrak). Laserski žarek bo tako prehajal najprej iz želatine v zrak, nato pa iz zraka v želatino. Kakšen tip leče izdelamo?

a) Plan konveksno lečo
b) Zbiralno lečo
c) Razpršilno lečo

Elektrogalvanizacija

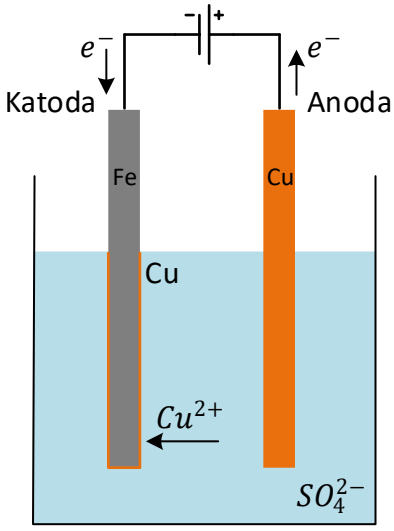
Galvanizacija

Galvanizacija je postopek, s katerim na površino predmeta (ta je običajno iz kovine) nanesemo drugo kovino. S tem ustvarimo kovinsko prevleko, da ga zaščitimo pred zunanjimi vplivi ali spremenimo lastnosti površine predmeta. Največkrat uporabljamo kromiranje železa (pipe, oprema kopalnic), nikljanje železa (cenejše kot kromiranje, a manj odporno), cinkanje železa (zaščita proti rjavenju, železni profili, cevi). Na primeru pocinkanega železa deluje zaščita na sledeče načine:

- Sloj cinka preprečuje zunanjim korozivnim snovem, da bi dosegle železo,
- Rja najprej napade cink, ki je na površini,
- Tudi če cinka na mestu ni več, ter je železo že izpostavljeno, zaščita proti rji deluje tako dolgo, dokler je v bližini izpostavljenega mesta dovolj cinka.

Slika 1: Pocinkani zapojni elementi za vodovodne cevi

Postopek se imenuje po Italijanskem znanstveniku (it. *Luigi Galvani*), čeprav Luigi s postopkom nanašanja cinka na železo ni imel nič. (Znan je tudi po odkritju, da mišične in živčne celice proizvajajo elektriko.) Pojav so na pobudo njegovega prijatelja, Alessandra Volte, poimenovali galvanizem.



Slika 2: Poenostavljen diagram elektrogalvanizacije bakra (oranžna barva) na prevodno kovino (Fe). Elektrolit je raztopina bakrovega sulfata $CuSO_4$. Bakrena palica (anoda) se uporablja za polnjene elektrolita z bakrovimi kationi, ko se ti nanesejo na površino katode.

Potapljanje železa v vroč stopljen cink obda površino kovine z robustnim debelim slojem, ki pa estetsko ni najlepši. Kadar končen izdelek prekriva dodatna barva, ali pa želimo poceniti postopek izdelave, uporabimo postopek elektrogalvanizacije. Pri tem nanesemo kovinsko plast ene kovine na predmet iz druge kovine s pomočjo elektrolize. Kovinski predmet, ki prevaja električni tok, priključimo v elektrolizni celici kot negativno elektordo (-). Nanjo potujejo po raztopini kationi kovine, na njej oddajo elektrone in se izločijo v obliki tanke kovinske plasti. Katione se dodaja v galvansko kad kot topne soli, ali pa izhajajo iz pozitivne elektrode (+), ki je ravno tako potopljena v kadi in se pri elektrolizi počasi raztaplja ter sprošča v raztopino katione kovine – elektrolit (raztopina soli kovine, ki jo nanašamo).

Elektrogalvanizacijo izvajamo s pomočjo enosmernega toka (takšnega, ki ga dobimo iz baterije), z njegovo jakostjo pa nadzorujemo hitrost postopka, s tem pa tudi kakovost končnega nanosa. Nižji kot bo tok, počasnejša bo reakcija, a bomo dobili lepši ter enakomernejši nanos. Obratno nam višji tok lahko prinese prihranek pri času, če le nismo občutljivi na enakomernost nanosa.

Postopek spremeni kemične, fizične in mehanske lastnosti obdelovanca. Primer kemične spremembe je, ko nikljanje predmeta izboljša odpornost proti koroziji. Primer fizične spremembe je sprememba zunanjega videza. Primer mehanske spremembe je povečanje natezne trdnosti ali površinske trdote, ki je ključna lastnost v orodjarski industriji.

Potrebni pripomočki

Za izvedbo naloge potrebujemo:

- Vir bakra: trda bakrena žica (ki se uporablja za električno stensko napeljavo)
- Vir železa: železni žebelj, vijak ali kovinska palica
- 500 mL steklena posoda (na primer kozarec za vlaganje)
- 100g sode bikarbone (natrijev hidrogenkarbonat $NaHCO_3$)
- 9V in 4,5V baterijo ali nastavljiv laboratorijski napajalnik
- Povezovalni kabel s krokodilčki
- Brusilni papir ali brusilna gobica
- Osebna varovalna oprema (zaščitne rokavice, očala, zaščita za obleko)

Opis poteka naloge

Za uspešen nanos kovine na prevoden material s pomočjo elektrogalvanizacije, proizvajalci uporabljajo zmesi različnih soli, kislin in kemijskih dodatkov, da ustvarijo elektrolit, ki bo zanesljivo, ponovljivo in enakomerno nanašal želeno kovino na površino uporabljenega materiala. Takšni elektroliti nam niso dostopni v prosti prodaji, saj le-ti uporabljajo posebne primesi, ali pa so preveč nevarni za rokovanje v domačem laboratoriju. Tudi elektrolit z bakrovim sulfatom pentahidratom - modro galico in žveplovo(VI) kislino je prenevaren za poskuse v domačem okolju, čeprav vse potrebno lahko kupimo v trgovini.

Naš poskus bomo zaradi ekološkega vidika in varnosti poenostavili in poskusili poiskati alternativni vir. Kemijsko "čist" bakrov sulfat pentahidrat bomo nadomestili le z uporabo sode bikarbone in vode kot tekoč medij. Na našo izbrano kovino bomo v nadaljevanju nanesli tanek sloj bakra.

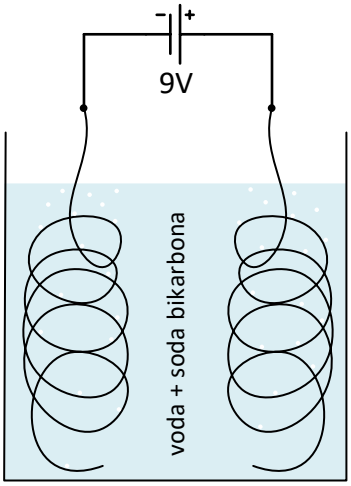
Za poskus si izberemo dovolj zračen prostor (kemijska učilnica) ali pa ga izvajamo zunaj, saj se bodo iz naše raztopine sproščali plini. Poskrbimo za vso zaščitno opremo! Nosimo zaščitne rokavice, varnostna očala in obleko, ki jo lahko umažemo.

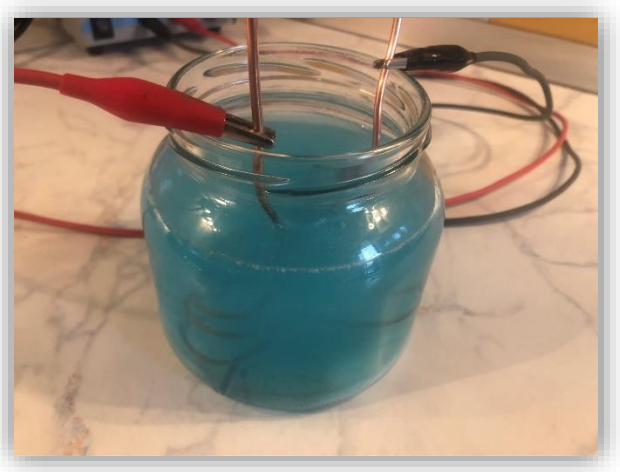
Vzemimo pol litrski steklen kozarec za vlaganje in ga do ¾ napolnimo z navadno vodo. Vanj stresemo 100 g sode bikarbone, ter jo dobro premešamo. Želimo dobiti nasičeno raztopino sode bikarbone, kar pomeni, da po koncu mešanja vidimo preostanek, ki potone na dno. To je dober znak!

Slika 3: Elektrodi v obliki spirale in nasičena raztopina sode bikarbone

Previdno odstranimo izolacijo iz bakrene žice namenjene električni napeljavi po stenah (trda električna žica, ki jo lahko kupimo v vseh trgovinah s tehničnim blagom). Pomagajmo si z lupilnimi kleščami ali pa prosimo odraslo osebo za pomoč pri uporabi noža za lupljenje. Bakreno žico zvijemo v spiralo, kot prikazuje spodnja slika. Eno spiralo z povezovalno žico povežemo na negativen (-) pol 9 V baterije, drugo pa na pozitiven (+) pol. Obe bakreni spirali previdno vstavimo v raztopino sode bikarbone tako, da se med seboj ne dotikata! Pri nameščanju si lahko pomagamo z lepilnim trakom. Reakcija bo stekla takoj, opazili bomo rahlo penjenje površine tekočine, ter izstopanje plina ob obeh elektrodah. Celotno reakcijo pustimo teči 45 min. Ob tem si vestno beležimo opazovanja in jih vpisujmo v spodnjo tabelo. Po koncu reakcije mora naša raztopina postati modra (reakcijo lahko podaljšamo, če se je raztopina po 45 min obarvala le svetlo modro).

- Naša baterija se bo praznila, zato bo reakcija najprej potekala hitro, nato pa vse počasneje. Če bi postopek radi začeli ponovno, bomo najverjetneje morali zamenjati baterijo.
- Izberimo debelo žico (2.5 mm), saj želimo imeti čim večjo površino bakra, ki bo izpostavljena raztopini. Površino povečamo tudi tako, da žico zvijemo v spiralo.
- Če opazimo preveliko penjenje in izhajanje plina, spirali razmaknemo. Tako bomo zmanjšali tok in upočasnili reakcijo.





Slika 4: Vezava spiral na baterijo

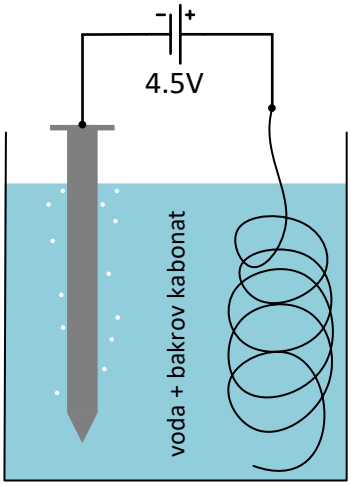
Čas	Barva raztopine	Hitrost izstopanja mehurčkov
1 min		
2 min		
3 min		
4 min		
5 min		
10 min		
20 min		
30 min		
45 min		

Tabela 1: Rezultati opazovanj

Ko preteče 45 min, je raztopina obarvana modro, odstranimo obe bakreni spirali in izključimo baterijo. Naš elektrolit sedaj vsebuje raztopino bakrovih(2+) ionov, ki jih bomo v nadaljevanju lahko nanesli na izbrano kovino. Zaradi bakrovih ionov se raztopina obarva modro.

Sedaj je čas da izberemo kovinski del, na katerega bomo nanesli tanek sloj bakra. Tu bomo imeli največ uspeha, če izberemo železne vijake ali žeblje, na katere še ni bila nanešena druga kovina (danes je velika večina vijakov in žebljev prevlečena z zaščitno kovino, ki preprečuje rjavenje). Kovino dobro očistimo. Najprej s kuhinjskim detergentom za pomivanje posode, da ostranimo vso maščobo, nato vzamemo brusilni papir ali gobico, ter celotno površino rahlo pobrusimo do leska. Tako bomo dobili najboljši rezultat elektro-galvanizacije.

Vzamemo 4.5 V baterijo. Na pozitivni pol (+) s povezovalnim kablom priključimo eno izmed bakrenih spiral (tisto, na kateri ni nastala trdna snov). Na negativni pol (-) povežemo izbrano kovino (žebelj ali vijak). Obe elektrodi sedaj pomočimo v predhodno modro obarvano raztopino, kot to prikazuje spodnja slika. Pri tem pazimo, da kabla ne pomočimo v raztopino, če seveda ne želimo, da tudi nanj nanesemo baker!



Slika 5: Priključitev žeblja na 4.5 V baterijo in vmesni nanos

Za nanos bakra primerne debeline potrebujemo približno 20 min. V vmesnem času lahko iz raztopine previdno izvlečemo žebelj in preverimo napredek. Po 20 min postopek ponovimo še za kakšen drug vijak, žebelj ali kovino. Opazujemo rezultat. Poskusimo nanesti baker tudi na vijak, ki ga nismo očistili oziroma zbrusili. V kolikor raztopina postaja svetlo modra, ponovimo postopek z 9 V baterijo.

Ko s poskusom zaključimo, izključimo baterijo. Odstranimo bakreno spiralo in kovino, na katero smo nanašali baker. Modro raztopino razredčimo z vodo in zavržemo. Ostanki preizkusa po končanem procesu niso koncentrirani v tolikšni meri, da bi bremenili okolje. Pozorni moramo biti le, da naša koža ne pride v stik z raztopino, saj bi lahko dolgotrajna izpostavljenost povzročila lokalno vnetje (rdečico).

Nasveti:

- Med poskusom lahko večkrat premešamo raztopino, s tem bomo pospešili celoten proces. Pri tem pazimo, da za mešanje uporabljamo izključno plastične pripomočke!
- Za poskus je mogoče uporabiti tudi napajalnik, ki mu lahko spreminjamo napetost izhoda (laboratorijski usmernik), s tem se izognemo uporabi baterij. A pri tem bodimo izjemno previdni! Baterija nas ne bo poškodovala, napajalnik pa je priključen v električno omrežje, z elektrodami potopljenimi v prevodno raztopino! Pri delu nas mora obvezno nadzorovati odrasla oseba.
- Nanos bakra na kovino bo najbolj učinkovita z nižjimi napetostmi, zato lahko uporabimo tudi dve AA bateriji vezani zaporedno, da dobimo 3 V. Če reakcija teče prepočasi, približamo obe elektrodi in s tem povečamo tok. Obratno razmaknemo elektrodi ob preveč burnem dogajanju (močno penjenje). 9 V baterijo lahko zamenjamo s tako z nižjo napetostjo, a bo začetna reakcija tekla bistveno počasneje, tako bomo morali podaljšati čas na 45 min.
- Na bakrenih spiralah (odvisno od priključitve) nastane trdna snov, ki jo preprosto odstranimo tako, da jo potopimo v alkoholni kis. Glede na proces raztapljanja poskušajmo ugotoviti, katera snov je to in kaj pri tem nastane.

Dodatno

Za radovedne. Kaj se dogaja na kemijskem nivoju. Kako lahko nanesemo baker na našo kovino?

Natrijev hidrogenkarbonat ($NaHCO_3$) ali soda bikarbona pri raztapljanju v vodi disociira oz. razpade na ione:

$$NaHCO_3 \rightleftharpoons Na^+(aq) + HCO_3^-(aq)$$

Kemijsko čista voda zelo slabo prevaja električni tok. To kaže, da so tudi v čisti vodi prisotni ioni. Med molekulami vode lahko pride do ionizacije, in sicer tako, da ena molekula vode drugi molekuli odvzame vodikov ion. Pri tem nastaneta pozitivni oksonijev in negativni hidroksidni ion:

$$H_2O(l) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + OH^-(aq)$$

Pri elektrolizi vodnih raztopin se na elektrodah lahko izločita vodik in kisik. V primeru natrijevih, kalijevih in drugih soli, pride najprej do redukcije vode kot tvorjenja omenjenih ionov, pri tem pa nastane vodik:

Katoda (–): $4H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 2H_2(g) + 4OH^-(aq)$

Podobno lahko na anodi pride prej do oksidacije vode, tako da nastaja kisik, kot do oksidacije nekaterih anionov (primer NO_3^-, SO_4^{2-} in podobno):

Anoda (+): $6H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H_3O^+(aq) + 4e^-$

V omenjenem primeru govorimo o elektrolizi vode, in predstavlja celokupno reakcijo:

$$2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$$

Elementarni baker (Cu0) se pri prvem procesu oksidira v bakrove(2+) ione, ki v raztopini tvorijo modro obarvanje:

$$Cu^0(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + e^-$$

V drugem delu poskusa se bakrovi(2+) ioni reducirajo v elementarni baker, ki ga opazimo ob nanosu na površino izbranega predmeta:

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu^0(s)$$

Naloge

Elektrogalvanizacija je: (izberi pravilno trditev)

a) Postopek, s katerim lahko na površino predmeta nanesemo zgolj tanek sloj bakra
b) **Postopek, s katerim na površino predmeta nanesemo drugo kovino**
c) Postopek, kjer s pomočjo elektrike tvorimo bakreno žico

Česa ne zagotavlja cinkanje železa? (izberi napačen odgovor)

a) Preprečuje zunanjim korozivnim snovem, da bi dosegle železo.
b) Železu poveča natezno trdnost
c) Varuje železo pred rjo, saj ta najprej napade cink

Kaj obarva raztopino sode bikarbone in vode modro, kadar v njo potopimo dve bakreni elektrodi in ju priključimo na baterijo?

a) Natrijev karbonat
b) Raztopljeni bakrovi ioni
c) Ostanek zaščitne izolacije bakra

Kadar sta obe elektrodi potopljeni v čisto vodo in priključeni na baterijo, se ob elektrodah nabirajo mehurčki, ki se iz tekočine izločijo v zrak. Katera dva plina se izločata?

a) Kisik in ogljikov dioksid
b) Vodik in ogljikov dioksid
c) Kisik in vodik

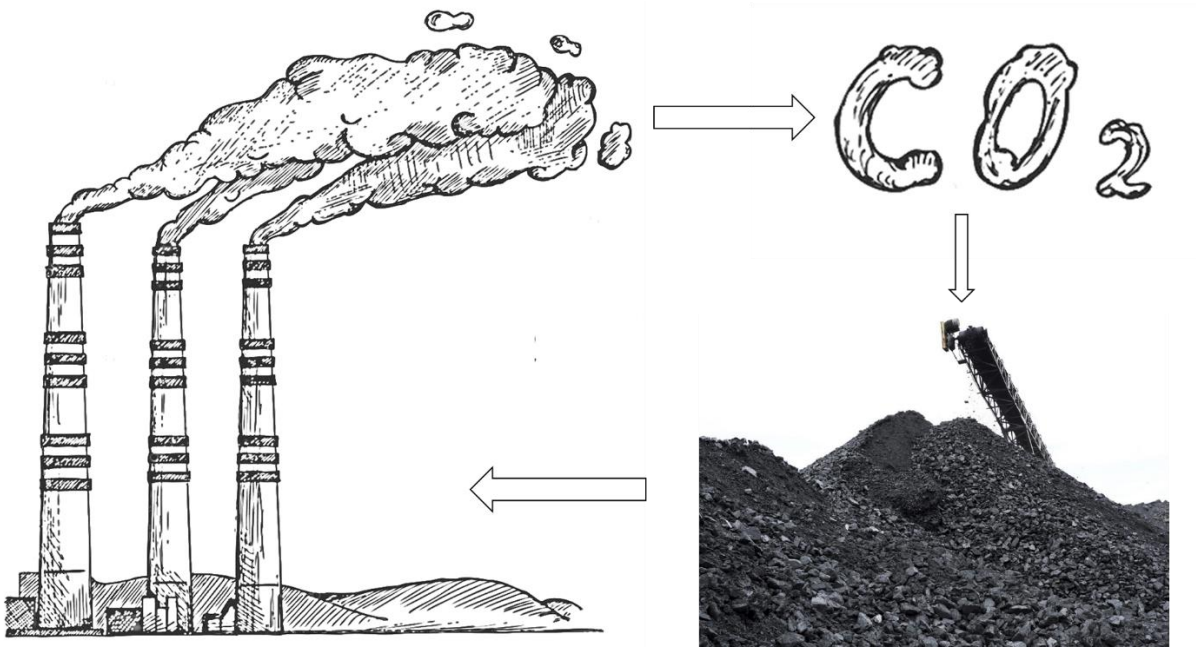
Na žebelj iz čistega železa želimo nanesti tanek sloj bakra. Uporabimo novo baterijo in žebelj skupaj z elektrodo potopimo v temno modro raztopino, ki smo jo predhodno pripravili. Vidimo izhajanje mehurčkov. Kaj je najverjetnejši razlog, da nanos po pol ure ni uspel?

a) Žeblja nismo dovolj očistili, zato se na njem nahaja tanek sloj zaščitnega olja
b) Raztopina ni dovolj nasičena s sodo bikarbono, saj je temno modra
c) Napetost baterije je prenizka, kar povzroči šibko reakcijo, ki onemogoča nanos bakra

Fotovoltaika

Obnovljivi viri energije

Človeštvo je skozi vso svojo zgodovino za svoj obstanek in razvoj izkoriščalo vire energije v različnih oblikah. Dolgo časa je vir energije predstavljal les, dokler ni množično izkoriščanje fosilnih goriv omogočilo industrijsko revolucijo, ki je prinesla blagostanje in kakovostnejše življenje širši množici ljudi. Tako smo ogljikovodike, ki jih je narava s pomočjo fotosinteze pretvarjala iz CO2 v atmosferi in skladiščila pod zemljo milijone let, v pičlih nekaj sto letih intenzivno kurili. S tem smo povečevali povprečno koncentracijo CO2 v zraku, ki deluje kot toplogredni plin. Posledica tega so klimatske spremembe, saj se je v zadnjih 170 letih povprečna temperatura na zemlji povečala za več kot 1 °C.



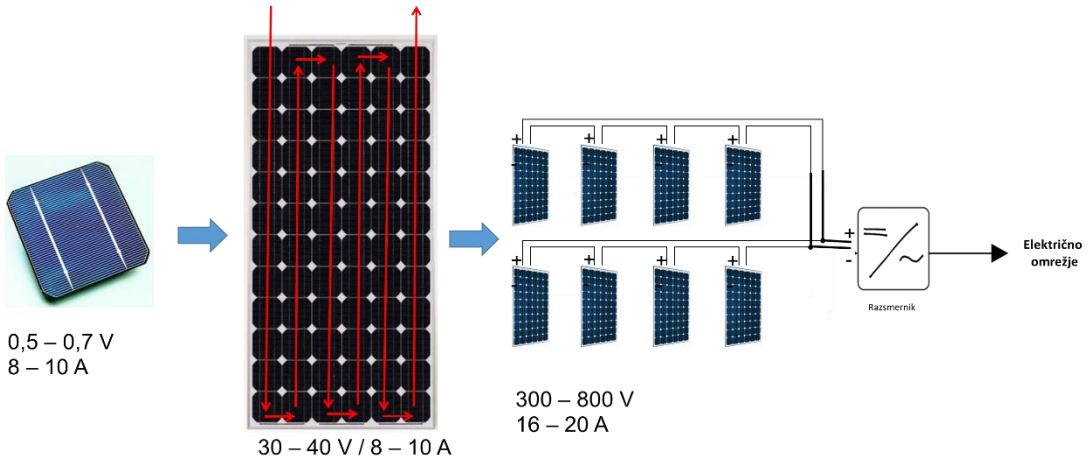
Slika 1: Izkoriščanje fosilnih virov energije

Medvladni odbor za klimatske spremembe (IPCC) pravi, da če človeštvo ne bo drastično zmanjšalo izpustov toplogrednih plinov, bo taljenje ledenikov do konca stoletja povzročilo občutno zvišanje gladine oceanov in stotine milijonov ljudi prisililo v selitev. Klimatskih sprememb ne moremo več zavrteti nazaj, lahko pa jih omilimo. V ta namen je IPCC pripravil različne scenarije glede na pričakovano povišanje temperature. Če želimo omejiti dvig temperatur do konca stoletja pod 2°C je potrebno do leta 2070 doseči ničelne neto emisije CO2. To pomeni, da naj bi toliko CO2, kot ga zaradi človeške dejavnosti generiramo tudi aktivno pretvorili nazaj v ogljikovodike.

Ena od ključnih tehnologij k rešitvi problema so obnovljivi viri energije, ki v procesu proizvodnje energije ne generirajo dodatnih dolgoročnih CO2 izpustov. Primer: biomasa se šteje pod obnovljive vire energije, če kurimo drva in hkrati v enaki meri pogozdujemo. Še bolj to velja za hidro, vetrne in sončne elektrarne. Prav sončne elektrarne v zadnjem času kažejo največji potencial, saj predstavljajo neposredno pretvorbo sončne v električno energijo.

Sončne celice, PV moduli in polja

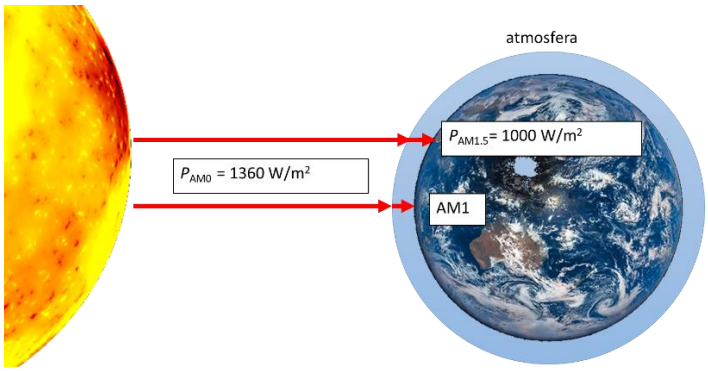
Najpogostejši osnovni material za sončne celice je silicij v različnih oblikah, predvsem monokristalni in polikristalni obliki. V manjšini se uporabljajo tudi tankoplastne izvedbe, kjer se poleg amorfnega silicija uporabljajo tudi drugi materiali, kot so CdTe in CIGS. Tipična silicijeva sončna celica pri standardni osvetlitvi 1000 W/m^2 generira relativno nizko napetost okrog 0,6 V in električni tok reda 9 A. Sončne celice združujemo v PV module, ki jim nudijo mehansko trdnost in zaščito pred vplivi okolja. Celice vežemo zaporedno, zato je glede na posamezno celico izhodna napetost modula ustrezno višja pri enakem izhodnem toku. PV module v kombinaciji zaporedne in vzporedne vezave združujemo v PV polja, tako da dosežemo optimalno napetost in tok. Napetost je enosmerna in za vključitev v električno omrežje potrebujemo še razsmernik, ki jo pretvori izmenično napetost in sinhronizira z napetostjo omrežja tako, da vsak trenutek pošilja maksimalno razpoložljivo energijo v omrežje.



Slika 2: Sončne celice vežemo zaporedno v PV module, ki sestavljajo PV polja, ki jih prek razsmernika povežemo v električno omrežje

PV elektrarne

Pojavlja se vprašanja, koliko energije taka PV elektrarna generira v svoji življenjski dobi. To je zelo odvisno od lokacije (sončno obsevanje, vremenski pogoji), orientacija PV modulov in izkoristka PV sistema. Izkoristki sončnih celic se gibljejo nekje med 18 in 25 %, merijo pa se pri standardnih testnih pogojih, ki so: moč sončnega sevanja 1000 W/m^2, spekter AM1.5 in temperatura celice 25°C. Spekter sončnega sevanja na zemlji je odvisen od zračne mase, ki jo svetlobni žarek prepotuje, preden doseže površino zemlje. Za Evropo uporabljamo spekter AM 1.5, kar pomeni da sončni žarek prepotuje 1,5-kratno debelino zračne mase.



Slika 3: Moč sončnega sevanja v vesolju na površini zemlji

Če vzamemo za primer Slovenijo, ki leži na lokaciji 46° severne geografske širine, je optimalna orientacija PV modulov proti jugu z nagibom 30°glede na vodoravnico. Tak sistem seveda v celotnem letu zelo malo časa dela pod standardnimi testnimi pogoji. Običajno je temperatura PV modulov višja od 25 °C, sončno sevanje je zaradi navideznega gibanja sonca in vremenskih vplivov nižje in sončna elektrarna očitno ne dela ponoči. Vse to moramo upoštevati pri napovedovanju letnega energijskega izplena elektrarne. Izkaže se, da za slovenske podnebne razmere sončne elektrarne v povprečju proizvedejo toliko energije, kot če bi približno 1/8 časa delovale z nazivno močjo.

Pogosto vprašanje, ki si ga postavljajo skeptiki do novih tehnologij je, koliko energije se porabi za izdelavo PV elektrarne vključujoč vse uporabljene materiale in v kolikšnem času PV elektrarna generira toliko energije, da se energijsko vložek povrne in kolik energije proizvede v celotni življenjski dobi. To je izredno pomemben podatek za vsako tehnologijo, saj višje razmerje med generirano in vloženo energijo omogoča boljši življenjski standard družbe, ki jo napaja. Pri fotovoltaiki se izkaže, da se odvisno od tipa in lokacije inštaliranega sistema energetsko povrne že v 1 - 2 letih, ekonomsko pa v 5 - 10 letih. Z upoštevanjem garancije na izhodno moč PV modulov 20 - 25 let in življenjske dobe 30 - 50 let razmerje med generirano in vloženo energijo doseže vrednosti med 20 in 50. Danes je fotovoltaika najcenejši in najčistejši vir električne energije, ki ima v svetu ogromen potencial, saj imamo veliko primernih površin na objektih (strehe, fasade), objektov v javni rabi (protihrupne ograje), kmetijskih objektov (senčniki, pašne ograje), degradiranih območij za velike sisteme (opuščeni rudniki, industrijske površine, puščave) in vodnih površin (plavajoče elektrarne na akumulacijskih jezerih).

Naloge

Kateri plin je glavni povzročitelj globalnih klimatskih sprememb?

a) Ogljikov hidroksid.
b) Ogljikov dioksid.
c) Di-vodikov monoksid.

Do kdaj moramo izničiti človeške emisije toplogrednih plinov, če želimo obvladati globalno segrevanje pod 2 °C?

a) Do leta 2030.
b) Do leta 2050.
c) **Do leta 2070.**

Kaj je najpogostejša surovina za izdelavo sončnih celic

a) Ogljik.
b) Silicij.
c) Aluminij.

Katera tehnologija sončnih celic trenutno prevladuje na trgu?

a) Tankoplastne.
b) Kristalne.
c) Perovskitne.

Kako so običajno vezane sončne celice v PV modulu?

a) Vse celice so vezane vzporedno.
b) Vse celice so vezane zaporedno.
c) Celice so vezane zaporedno v tri skupine, ki so med seboj vezane vzporedno.

Pri vzporedni vezavi PV modulov se seštevajo

a) Tokovi modulov.
b) Napetosti modulov.
c) Upornosti modulov.

Kolikšna je tipično moč vpadnega sončnega sevanja na kvadratni meter površine v Sloveniji opoldne ob jasnem vremenu?

a) 10 W/m^2.
b) 100 W/m^2.
c) 1000 W/m^2.

Kolikšna sta električni tok in napetost tipične kristalne sončne celice?

a) 9 A / 0,6 V.
b) 900 mA / 6 V.
c) 90 mA / 60 V.

Kolikšna bi bila nazivna električna moč PV modula s površino 1,5 m^2 in izkoristkom 20%?

a) 300 W.
b) 200 W.
c) 150 W.

Koliko energije proizvede sončna elektrarna z nazivno močjo 1 kW v enem letu v Sloveniji?

a) 110 kWh.
b) 1,1 MWh.
c) 11 MWh.

Kaj počne razsmernik?

a) Uravnava smer pretoka energije v električnem omrežju.
b) Pretvarja enosmerne napetosti v izmenično.
c) Skrbi za dobavo električne energije, ko ni sonca.

V koliko letih proizvede sončna elektrarna toliko energije, kolikor smo jo porabili za njeno izdelavo.

a) V 2 letih.
b) V 10 letih.
c) V 30 letih.

Kakšna je najoptimalnejša postavitev PV modulov v Avstraliji?

a) Vodoravna.
b) Nagib 30°proti jugu.
c) Nagib 30°proti severu.

Kolikšna je tipično garancijska doba za PV module?

a) 25 let.
b) 15 let.
c) 5 let.

V koliko letih se trenutno v Sloveniji ekonomično izplača postavitev sončne elektrarne na strehi domače hiše?

a) V 7 letih.
b) V 15 letih.
c) V 30 letih.

Radarska odmevna površina

Area 51

Marsovci? Nezemljani? Skrivni vesoljski program? Območje nekdanjega jezera v ameriški puščavi v Nevadi je vrsto let burilo duhove med domačini, kasneje pa tudi preostalih ljudi, ki jih je zanimalo, kaj se skriva na strogo varovanem in pred očmi javnosti skritem Območju 51 (Area 51). Pri tem ni pomagalo niti dejstvo, da so zaposleni v bazi ameriške obveščevalne agencije CIA delali v največji možni tajnosti. O svojem delu niso smeli govoriti z nikomer, pogosto so dobili novo identiteto, kaj točno delajo njihovi kolegi niso smeli razpravljati. Pogled na ravno dno izsušenega jezera so zakrivali okoliški griči, daleč stran od oči radovednežev je bila postavljena ograja z vstopno točko, ki so jo varovali do zob oboroženi stražarji. Če fizične ovire niso odvrnile nepovabljenih gostov, so pogumneže hitro prestregle patrulje in v srečnih primerih zgolj pospremile iz varovanega območja.

Pri tem se niti ne čudimo, da so ljudje zaradi skrivnostne tančice, ki je obdajala območje, napletli svoje zgodbe. Videli so bliske svetlobe, hitro leteče objekte, zaprte velikanske lesene zaboje, ki so jih vozili v strogo varovano območje. Kaj drugega, kot da skrivajo Nezemljane in na njih izvajajo poskuse! Kar vemo danes, po uradno dostopnih informacijah, lahko preberemo v poročilih ameriške obveščevalne agencije. Po 50 letih nekateri dokumenti ne nosijo več oznake tajno, inženirji, ki so na območju delali, so lahko spregovorili in povedali del zgodbe. Ni bilo marsovcev, vsaj tega nam še niso povedali, pač pa so razvijali novo vohunsko letalo. In tu se zgodba o radarski odmevni površini šele začne.

V vse bolj napetih odnosih med hladno vojno z Rusijo, so se Američani želeli dokopati do kar se da veliko informacij o svojem nasprotniku. Nekaj informacij so iz tujine prinesli tajni agentje, ki so delali pod krinko, a tudi ti niso imeli dostopa do vseh vojaških območji, kjer se skriva resnična grožnja. Veliko več so povedale fotografije območja, a takrat v vesolje še ni bil izstreljen noben satelit. Zelo kakovostne fotoaparate z ogromnim objektivom in optično povečavo so namestili na vohunska letala, ki so imela nalogo letenja nad območjem in nazaj prinesti kakovostne fotografije površja. Da nasprotnik ne bi odkril letal, so ta letela zelo visoko, izven dometa tedanjih radarjev, kar je pomenilo, da so piloti morali nositi posebne kompresijske obleke, ki so vzdrževale tak tlak, da človek ni izgubil zavesti. Od daleč so res izgledali kot bitja z drugega planeta.

Kmalu višina letenja ni bila dovolj. Radarska tehnika je napredovala in letala so lahko odkrili. Leteti še višje predstavlja težavo, tako v sami zasnovi lahkega plovila, kot v optiki z mehanskim nosilcem za stabilizacijo slike. CIA je zato naročila izdelavo nove generacije letal. Takšna, ki se bodo lahko skrila radarju, hitro zbežala in posnela kakovostne fotografije. Kako izdelati konstrukcijo letala, da bo ta čim bolj razpršila radarski žarek, kakšno barvo uporabiti, kaj z izpušnimi plini, kako te vidi sovražnik? S tem so se ukvarjali inženirji na Območju 51. Ravno suho dno jezera je kot nalašč za pristajanje s poskusnimi letali, saj je možno varno pristajanje ne glede na smer vetra. Tudi pristajalna steza je bila dovolj dolga za vsak izdelan prototip. Tako se je začel dolg proces razvoja nevidnega vohunskega letala A-12.

Pojdimo po vrsti, kako sploh deluje radar? S tehnologijo se srečujemo praktično vsak dan. Ko se vozimo po cesti in nas informacijska tabla opozarja, da vozimo prehitro, ko želimo v trgovino in se nam vrata samodejno odprejo, tudi številna vozila imajo pod plastičnimi okrasnimi odbijači nameščen radar za aktivni tempomat. Skupno je, da želimo zaznati premikanje in določiti hitrost objekta, vozila pred nami. To nam omogoča Doppler-jev pojav.

Merjenje hitrosti z elektromagnetnim valovanjem

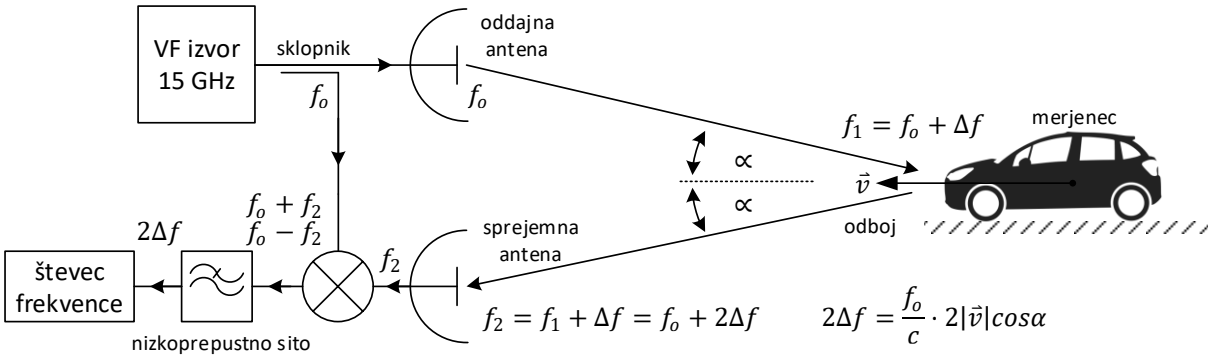
Doppler-jev pomik imenujemo pojav, ko se zaradi premikanja sprejemnika, oddajnika ali obeh, spremeni navidezna frekvenca valovanja v sprejemni točki. Doppler-jev pomik je sorazmeren z razmerjem med hitrostjo premikanja sprejemnika/oddajnika ter hitrostjo razširjanja valovanja. Frekvenca valovanja se navidezno zviša, če se sprejemnik in oddajnik približujeta drug k drugemu. Če se drug od drugega oddaljujeta, se frekvenca v sprejemni točki zniža.

Elektromagnetno (radijsko, svetlobno) valovanje se običajno razširja po skoraj povsem praznem prostoru. Doppler-jev pojav je tedaj izključno odvisen od medsebojne hitrosti sprejemnika in oddajnika, kar je eno od osnovnih načel relativnostne teorije, ki pravi, da lahko izmerimo le relativno hitrost, nikakor pa ne moremo izmeriti absolutne hitrosti.

Pojav lahko slišimo vsak dan, ko stojimo ob cesti, mimo nas pa se pelje reševalno vozilo s prižgano sireno. Ko bo vozilo zapeljalo mimo nas, bomo slišali Dopplerjev-pomik frekvence, sireni se bo ton znižal. Seveda voznik reševalnega vozila ves čas sliši enak ton svoje sirene, saj se glede na njo ne premika. Poskus lahko opravimo tudi sami. Poprosimo voznika osebnega vozila, da z enakomerno hitrostjo vozi proti nam po cesti in pri tem hupa. Zadostuje že hitrost okoli 30 km/h.

Kljub temu, da je Doppler-jev pomik razmeroma majhen, lahko predstavlja nadležen pojav v radijskih zvezah na visokih frekvencah, še posebno v slučaju vesoljskih zvez, kjer so hitrosti nekaj velikostnih razredov višje. Po drugi strani pa lahko Doppler-jev pojav pridoma izkoristimo za merjenje hitrosti oziroma za razlikovanje različnih signalov glede na različne hitrosti izvorov oziroma odbojnikov valovanja.

Običajna izvedba Doppler-jevega radarja za merjenje hitrosti (vozil) je prikazana na Sliki 1. Oddajnik stalno oddaja ne-moduliran (angl. Continuous Wave – CW) nosilec s frekvenco f_0. Če se merjenec premika proti oddajni anteni, se na mestu odboja frekvenca navidezno poviša na f_1 za vrednost Doppler-jevega pomika. Ker pa se odbojnik valovanja približuje tudi sprejemni anteni, se frekvenca še enkrat poviša za Doppler-jev pomik na vrednost f_2.



Slika 1: Običajna izvedba Doppler-jevega radarja.

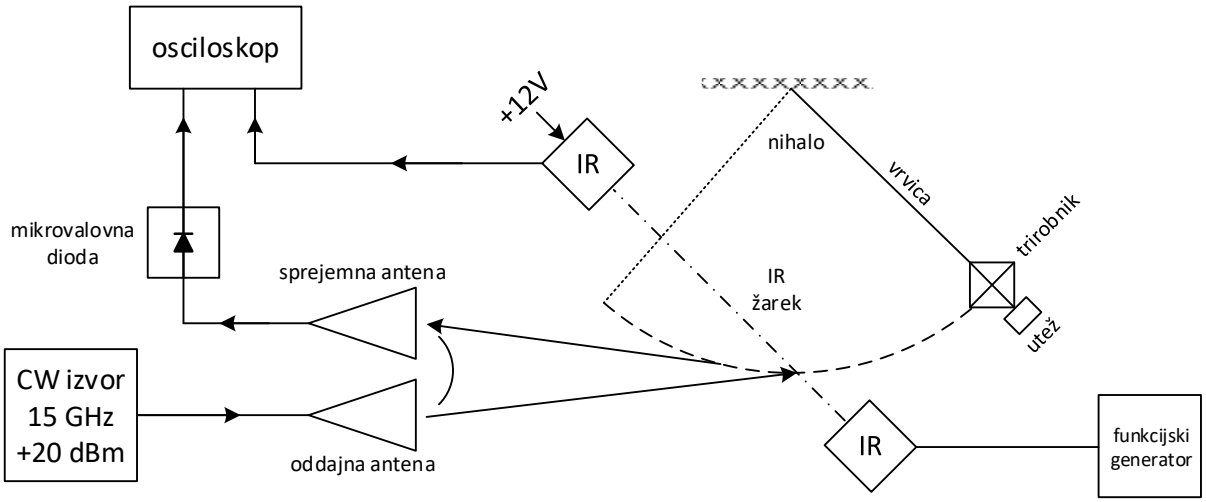
Frekvenca sprejetega valovanja f_2 torej vsebuje dvakratni Doppler-jev pomik glede na frekvenco oddajnika. Kljub temu neposredna meritev f_2 ni smiselna, saj je tudi dvakratni pomik še vedno razmeroma majhen (manj kot ena milijoninka) glede na frekvenco oddajnika f_0. Doppler-jev radar zato vsebuje mešalnik (množilnik) iz katerega dobimo vsoto $f_0 + f_2$ in razliko $f_0 - f_2$ obeh frekvenc. Razliko izluščimo z nizkoprepustnim sitom in jo peljemo na števec frekvence.

Ker merimo razliko frekvenc, se majhna odstopanja frekvence oddajnika f_0 v približku prvega reda odštejejo in bistveno ne kazijo točnosti meritve. Namesto sklopnika za signal oddajnika f_0 pogosto zadošča že presluh med sprejemno in oddajno anteno.

Z uporabo dveh mešalnikov (dveh množilnikov ali dveh diod), ki delujejo z zamikom signala za četrt periode, lahko razlikujemo tudi smer Doppler-jevega pomika, to se pravi ugotovimo, ali je frekvenca f_2 višja ali nižja od frekvence f_0. Pojav koristno izrabimo na primer v radarskem detektorju za samodejno odpiranje vrat (vrata se odpirajo samo takrat, ko se nekdo približuje in ostanejo zaprta, ko se oddaljuje), oziroma za razlikovanje smeri vožnje vozil na cesti.

Poskus 1 – Merjenje hitrosti z Dopplerjevim radarjem

Za vajo izmerimo Doppler-jev pomik na odboju od tarče z znano hitrostjo. Kot premikajočo tarčo uporabimo matematično nihalo, kjer razmeroma enostavno in točno določimo hitrost uteži iz odmika nihala. Odboj radijskih valov od uteži povečamo tako, da na utež namestimo trirobnik. Trirobnik se obnaša podobno kot kresnička za valovne dolžine v območju vidne svetlobe. Vpadni žarek se odbije od kresničke v nasprotni smeri, zato voznik ponoči dobro vidi naše odsevno telo.



Slika 2: Skica vezave merilnih pripomočkov

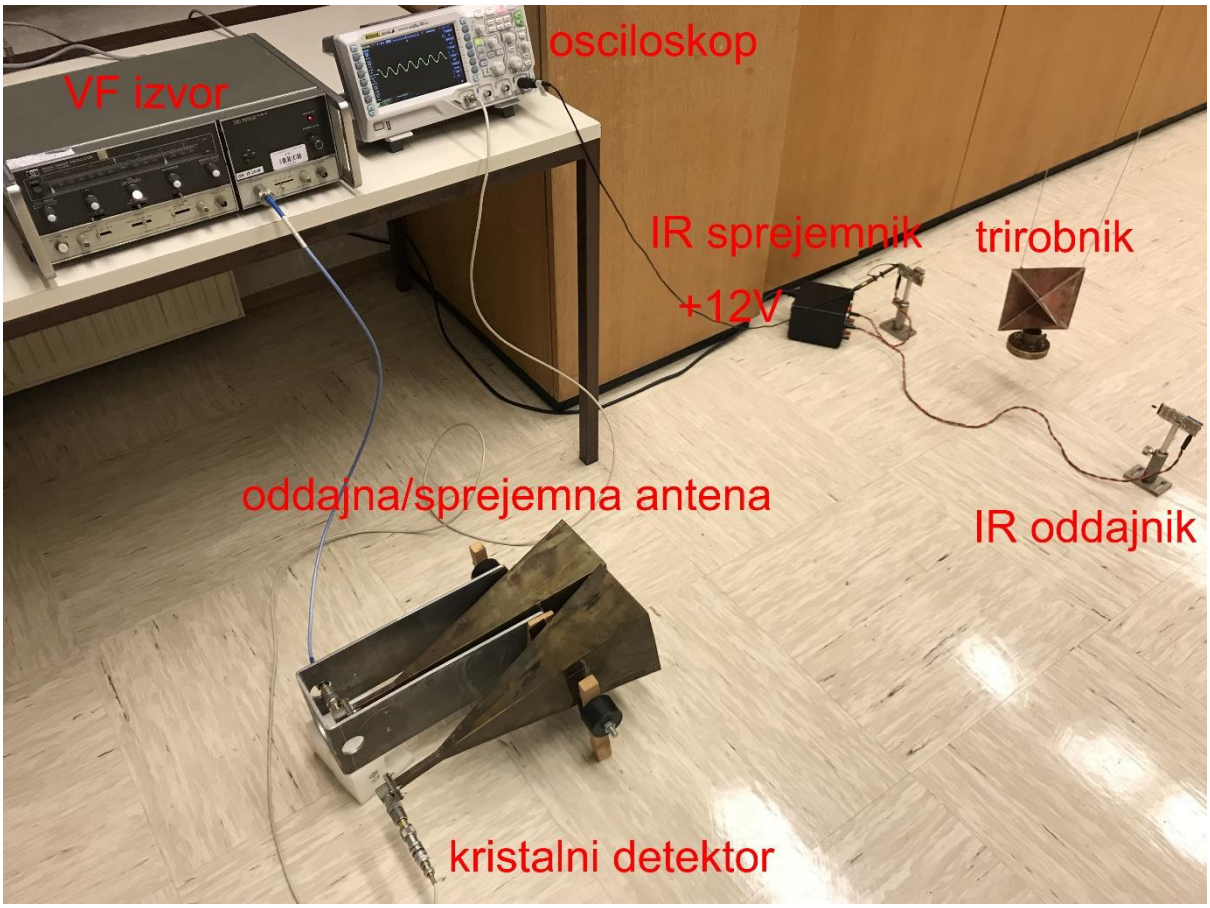
Poskus izvedemo v sobnih razmerah na čim višji frekvenci, kjer je Doppler-jev pomik večji in so izmere anten ter odbojnika sorazmerno manjše. Praktična izbira je frekvenca 15 GHz oziroma valovna dolžina 2 cm. Na tej frekvenci razpolagamo z razmeroma močnimi (100 mW) polprevodniškimi izvori, ki jih lahko uporabimo kot oddajnik radarja. Zaradi enostavnosti izvedemo poskus z ločenima sprejemno in oddajno anteno. Sklopnika za signal s frekvenco oddajnika ne potrebujemo, saj zadošča presluh med antenama oziroma bolj točno odboji od številnih mirujočih predmetov v sobi.

Produkt mešanja, ki ustreza dvojnemu Doppler-jevemu pomiku frekvence, najlažje opazujemo na osciloskopu. Osciloskop že vsebuje ojačevalnik z dovolj velikim ojačenjem, da lahko merimo milivolte na izhodu detektorske diode. Na osciloskopu seveda ne moremo opazovati frekvence oddajnika 15 GHz kot tudi ne vsote frekvenc, saj je zgornja frekvenčna meja osciloskopa za vsaj tri velikostne razrede prenizka!

Ker odbojnik (tarča) niha, se njegova hitrost stalno spreminja, kar lahko takoj opazimo tudi na osciloskopu. Da sploh lahko izmerimo hitrost odbojnika v takšnih razmerah, osciloskop prožimo v točno določeni točki nihanja nihala, ko nihalo preseka pot infrardečemu žarku med LED in IR sprejemnikom (fotocelica, podobna tisti, ki se nahaja pri parkiriščni zapornici in preprečuje zapiranje v primeru prisotne ovire).

Pri poskusu izmerimo hitrost nihala na dva načina in na koncu primerjamo rezultate. Hitrost v obeh slučajih določamo v najnižji točki nihala, ko je ta največja. Pri matematičnem nihalu hitrost preprosto izračunamo iz odmika nihala, saj se potencialna energija uteži povsem pretvori v kinetično energijo. Zračni upor upoštevamo tako, da izmerimo upadanje amplitude v enem celem nihaju in potem vzamemo povprečno vrednost za energijo.

Hitrost seveda izračunamo tudi iz odčitka dvojnega Doppler-jevega pomika na osciloskopu. En nihaj dvojne Doppler-jeve razlike ustreza poti ene polovice valovne dolžine odbojnika v prostoru. Pri valovni dolžini 2 cm torej en nihaj dvojne razlike ustreza poti 1 cm.



Slika 3: Slika vezave merilnih pripomočkov

Vremenski radar

Vremenoslovci se pri napovedovanju krajevnih padavin in izdajanju opozoril pred točo pogosto naslanjajo na vremenski radar. V Sloveniji trenutno delujeta dva, na Pasji ravni in Lisci. Radarski žarek se vrti v vse smeri neba, z različnimi odkloni od tal, tako da določi oddaljenost padavin in jakost. Vendar se pogosto zgodi, da radarska slika padavin nad našim krajem kaže dež, pri nas pa sploh ne dežuje, ali pa pri nas rahlo dežuje, radar pa ne kaže ničesar. V prvem primeru se v višjih zračnih plasteh vlaga kondenzira do rosišča, a padavine ne dosežejo tal, saj pred tem že izhlapijo. V drugem primeru so padavine tako šibke, da jih radar sploh ne zazna. Zelo dobro na sliki vidimo točo, predvsem plasti v ozračju, kjer se vodne kapljice tvorijo v ledene kristale. Podobno vidimo tudi močan naliv dežja, kjer so dežne kapljice velike in pogoste. Obratno zelo težko zaznamo snežinke. Te so po velikosti sicer lahko večje od dežnih kapljic, a niso lepe okrogle oblike, kar onemogoča radijskim valovom, da bi se odbili nazaj proti sprejemniku. Kljub sodobni tehnologiji vremenski radar še vedno predstavlja precejšen izziv pri interpretaciji zajetih podatkov.

Podatke o vremenu pa ne potrebujejo le vremenoslovci, ampak si jih želijo tudi piloti. Večina sodobnih letal ima v nosu vgrajen radar, ki daje pilotu tudi poročilo o padavinah, s čimer lahko potniško letalo zaobide nevihtno celico, spremeni višino leta, se s tem izogne neprijetni turbolenci ali pa celo pristane na drugem letališču!

Sedaj vemo kako deluje Dopplerjev radar, ki je tudi tehnološko precej preprost za izdelavo, vendar se naš objekt vedno ne premika, da bi pojav lahko izkoriščali za radarsko detekcijo. Če tarča stoji pri miru, moramo položaj ugotoviti kako drugače. Proti objektu lahko pošljemo kratek impulz visoke frekvence, nato pa povsem izključimo oddajo in čakamo da nekaj signala sprejmemo nazaj. V povsem praznem prostoru seveda tega ne bomo dočakali. Tudi če smo naglušni (imamo slab sprejemnik) odboja ne bomo slišali. V kolikor uspemo dobiti nekaj signala nazaj, lahko iz časovne zakasnitve in jakosti našega signala ocenimo kako daleč in kako velik objekt je pred nami. (Obstajajo še druge radarske tehnike, a teh mi ne bomo spoznavali, saj je razlaga delovanja težja).

Nazaj k Območju 51. Načrtujemo vohunsko letalo, vemo kako deluje radar, želimo biti snežinka nepravilnih oblik in ne okrogla dežna kaplja. Kako sedaj načrtovati letalo? Simulacij nimamo, saj tako zmogljivi računalniki ne obstajajo, nenazadnje to delamo leta 1956! Preostane nam zgolj izdelava prototipov in izvedba meritev. Z majhnimi spremembami lahko nato opazujemo, kaj »vidi« radar v vseh smereh letala.

Radarska površina predmeta

Vpliv predmeta na valovanje najenostavneje opišemo z odmevno površino predmeta. V slučaju radijskih valov imenujemo odmevno površino tudi **radarska površina predmeta** (ang. Radar cross-section - RCS). Odmevna površina je seveda funkcija več spremenljivk: valovne dolžine valovanja, snovi iz katere je predmet izdelan, smeri vpadnega valovanja in smeri, v kateri opazujemo odbito valovanje. (Tudi od polarizacije vpadnega in odbitega valovanja v odvisnosti od orientacije predmeta.)

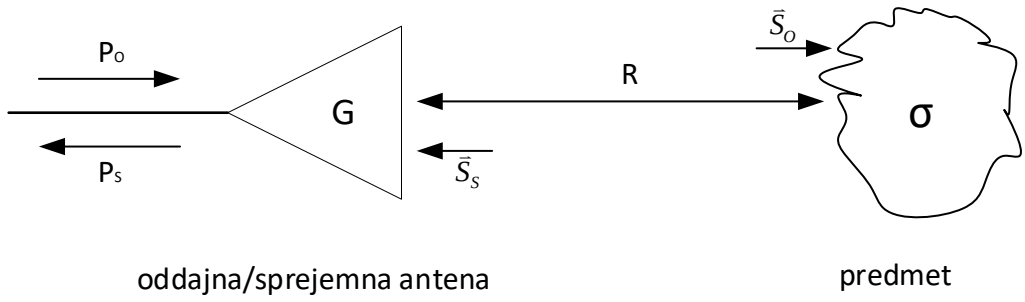
Radarska površina predmeta je tudi osnova za zaznavo letal v različnih primerih. Nevidna letala kot so na primer *B-2 Spirit*, *F-117 Nighthawk* ali *F-22 Raptor* (ki so namensko načrtovana za nizko zaznavnost), bodo imela takšno strukturo, da bo njihova radarska površina čim manjša (absorpcijska barva, ravne površine, površine pod takšnim kotom, da prejeti signal odbijejo v drugo smer od vpadne). Komercialna potniška letala bodo po drugi strani imela veliko radarsko površino (gola kovina, zaobljena površina, ki poskrbi, da se nekaj signala v vsakem slučaju odbije nazaj, veliko izboklin – motor, antene …). Odmevna radarska površina je tako ena izmed najbolj varovanih vojaških podatkov.

Najzanimivejši primer je opazovanje radarske površine takrat, ko za oddajo in sprejem valovanja uporabljamo isto anteno, kot je to prikazano na Sliki 4. Smer opazovanja odbitega valovanja je tedaj natančno nasprotno enaka smeri vpadnega valovanja na predmet. V tem primeru je radarska površina odvisna le od ene smeri oziroma od orientacije predmeta, kar hkrati poenostavi obravnavo.

Definicija radarske površine je naslednja: če bi predmet enakomerno razpršil vpadno valovanje v vse smeri, bi navidezno razpršeno moč dobili kot produkt gostote moči vpadnega valovanja S_o in radarske površine predmeta. Radarska površina predmeta je zato lahko tudi dosti manjša ali dosti večja od fizičnega preseka predmeta.

Radarsko površino lahko enostavno izračunamo za nekaj preprostih geometrijskih oblik, če je predmet precej večji od valovne dolžine in je izdelan iz znane snovi, najenostavneje iz kovine. Radarska površina velike kovinske krogle je na primer natančno enaka preseku krogle. Ker lahko s kroglo ponazorimo precej resničnih predmetov, je odmevnost kovinske krogle smiseln razlog za opisano definicijo radarske površine. Odmevnost nekaterih predmetov je lahko tudi precej večja, kot bi to lahko sklepali

iz njihovih fizičnih dimenzij. Na primer, radarska površina ravne kovinske plošče je dosti večja od svoje fizične površine, če je le plošča pravilno orientirana proti sprejemno/oddajni anteni.

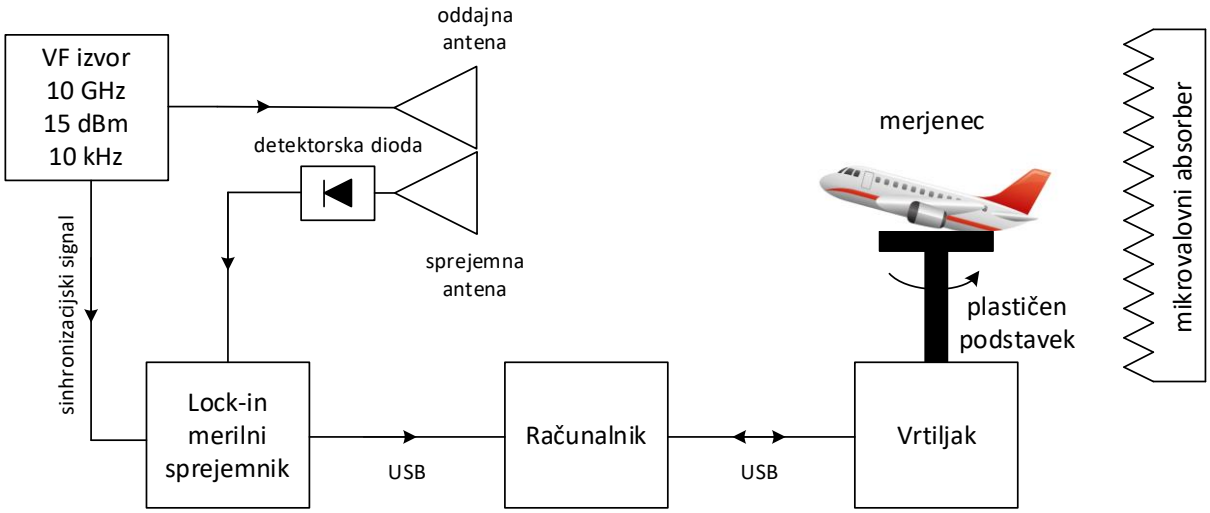


Slika 4: Radarska (odmevna) površina.

Iz treh kovinskih plošč, postavljenih pod pravim kotom, izdelamo napravo, imenovano trirobnik ali radarski odbojnik. Takšna naprava ima zelo veliko radarsko površino ne glede na orientacijo, saj vsakršno vpadno valovanje odbije natančno v isti smeri nazaj. V optiki poznamo enako napravo pod imenom "mačje oko" oziroma kresnička.

Poskus 2 – Merjenje radarske odmevne površine

Zaradi lažje izvedbe bomo za meritev radarske odmevne površine uporabili dve anteni, za oddajo in sprejem ločeno. Ker se nahajamo v zaprtem prostoru smo z izvedbo omejeni na razmeroma visoke frekvence okoli 10 GHz, kjer imamo na razpolago vrsto anten in merilnih inštrumentov, hkrati pa so naši absorberji (ki dušijo neželen odboj), učinkoviti.



Slika 5: Merilna postavitev za merjenje radarske odmevne površine.

Anteni (korugirana lijaka) postavimo na primerno stojalo in poskrbimo, da sta usmerjeni v isto točko na vrtiljaku. Na oddajno anteno pripeljemo 10 GHz CW signal iz našega visokofrekvenčnega izvora, sprejemno anteno pa povežemo na diodni merilnik moči, skupaj s pripadajočim Lock-in sprejemnikom. Ta je sinhroniziran z oddajnikom tako, da morebitni motilci v prostoru ne kazijo meritve. Merilni sprejemnik in vrtiljak preko USB povezave priključimo na računalnik, kjer imamo nameščen posebni program, ki hkrati skrbi za vrtenje merjenca in izris sprejete moči. Na vrtiljak namestimo namenski plastični podstavek. Tako bo naš merjenec dovolj daleč stran od kovinske konstrukcije vrtiljaka, ki bi negativno vplivala na naš rezultat.

Sedaj lahko pričnemo z meritvami. Na podstavek previdno položimo modele plastičnih letal v razmerju 1:144, ki smo jih predhodno prebarvali s posebno kovinsko barvo. Sam plastični model pri teh frekvencah ne bi povzročil dovolj močnega odboja, da bi ga lahko zaznali z našim merilnikom. Na plastiko zato nanesemo tri sloje posebne prevodne barve, ki jo dobimo v obliki spreja. Barva se obnaša kot tanka kovinska plast. To lahko potrdimo tudi z Ohm metrom, ki nam pokaže zelo majhno upornost med krili letala.

Slika 6: Slika merilnega kota kjer izvajamo meritve.

Izmerimo lahko več letal, najbolj zanimiva pa so komercialna potniška letala Airbus A380 in Airbus A320neo, ter vojaško letalo Eurofighter typhoon. Vsa letala so v enakem merilu, torej lahko radarski odziv primerjamo tudi po velikosti.

Slika 7: Modeli letal.

Računalniški program bo zavrtel model našega letala za 360 stopinj, hkrati pa nam bo na graf izrisoval sprejeto moč. Ker sistem ni umerjen, opazujemo zgolj spreminjanje vrednosti normirane na enoto. Določimo lahko položaj letala, ki da največjo in najmanjšo odmevno radarsko površino. Rezultat prikazujemo v polarnem načinu in linearni skali. Če bi želeli sistem umeriti, bi za tarčo uporabili znan objekt, ki ima matematično preprosto določljivo odmevno površino (na primer kovinsko kroglo), vrednost referenčne meritve pa bi uporabili za izračun vrednosti pri naših merjencih.

Naloge

Na kateri frekvenci navadno delujejo radarji za merjenje hitrosti vozil v coni 30?

a) 10 kHz
b) 10 GHz
c) 10 MHz

Katero tehnologijo merjenja hitrosti uporabljajo sodobne policijske radarske pištole?

a) Lasersko merjenje hitrosti
b) Sistem z vgrajeno ročno štoparico
c) Radarsko merjenje hitrosti s pomočjo visokofrekvenčnih signalov

Katera izmed spodaj naštetih tehnologij ne uporablja radarske tehnike zaznave objekta?

a) Modul za odpiranje vrat v trgovskih centrih
b) Modul za detekcijo vozila pred zapornico
c) Modul za zaznavo prometa na semaforjih

Policist vozi po avtocesti s hitrostjo 130 km/h. Mimo njega pridrvi osebno vozilo, ki vozi 200 km/h. Policist se požene za njim in izvleče ročni merilnik hitrosti. V trenutku ko izmeri hitrost avtomobila na svojem števcu hitrosti vidi 160 km/h. Kakšno vrednost pokaže policistov ročni merilnik hitrosti?

a) 160 km/h
b) 200 km/h
c) 40 km/h

Kaj lahko brez težav določimo s pomočjo Dopplerjevega radarja?

a) Hitrost in smer gibanja
b) Hitrost, smer gibanja in razdaljo
c) Samo hitrost

Najmanj koliko anten potrebujemo za delovanje visokofrekvenčnega radarja?

a) Vsaj eno: za oddajo in sprejem hkrati
b) Vsaj dve: eno za oddajo, drugo za sprejem
c) Vsaj tri: eno za oddajo, drugo za sprejem, tretjo za določanje smeri

Modeli letal pri poskusu merjenja radarske odmevne površine so iz kakšnega materiala?

a) Plastike
b) Kovine
c) Plastike na katero je nanešena tanka plast kovine

Kater ukrep pri konstrukciji letal poveča radarsko odmevno površino plovila?

a) Nanos posebne prevodne barve
b) Manjše ravne površine
c) Velike zaobljene površine

V primerjavi s povsem kovinskim potniškim letalom bo imelo letalo iz kompozitnih materialov (ojačana steklena vlakna) kakšno radarsko odmevno površino?

a) Večjo
b) Manjšo
c) Enako

S kakšnim manevrom letenja se najučinkoviteje izognemo radarski detekciji?

a) Delamo hitre zavoje s spremembo smeri
b) Izklopimo vse oddajnike signalov na krovu letala
c) Letimo hitro blizu tlom

Kater tip padavin bo dal najmočnejši radarski odziv vremenskega radarja na Pasji ravni?

a) Megla
b) Nevihta s točo
c) Snežni metež

Letalo Boeing 737max strmoglavlja z nosom naravnost proti nam. Kakšna je radarska odmevna površina v takem položaju letala?

a) Najmanjša
b) Največja
c) Radarska odmevna površina ni odvisna od položaja letala glede na radar

Kaj je bil prvi ukrep za izogibanje detekciji radarja kmalu po 2. svetovni vojni, ki so ga uporabljala prva vohunska letala?

a) Letalo je letelo zelo visoko
b) Letalo je bilo prebarvano s posebno absorpcijsko barvo
c) Letalo je bilo jadralno (brez motorja)

Največji radarski odziv bo pri bočnem merjenju z radarjem na primerni razdalji imelo katero letalo?

a) Airbus A380
b) Airbus A321 neo
c) Eurofighter typhoon

Kaj je ameriška obveščevalna agencija CIA med drugim skrivala na strogo varovanem območju Area 51 (Območje 51)?

a) Razvoj novega vohunskega letala
b) Izdelavo rakete Saturn 5, ki je kasneje ponesla prvo človeško posadko na luno
c) Ključne sestavne dele nove generacije letalonosilk