

»Mladi za napredek Maribora 2013«  
30. srečanje

**SOLARNE CESTE**

Raziskovalno področje: Elektrotehnika, elektronika

Raziskovalna naloga

☺ q | kÜUSÁZÜq ĘRCP ŠÖXCE  
T ^} q | kÜUÓÜVÁŃq ðÚCEÜQ  
¥[ | kÜŃQ PÖZQZÁ qÜÓUÜ

Maribor, februar 2013

## KAZALO VSEBINE

<b>1. POVZETEK .....</b>	<b>7</b>
<b>2. ZAHVALA.....</b>	<b>8</b>
<b>3. SLOVAR.....</b>	<b>9</b>
<b>4. UVOD.....</b>	<b>10</b>
4.1. Namen naloge .....	10
4.2. Hipoteze.....	10
4.3. Opis postopka in uporabe metod dela.....	11
<b>5. TEORETIČNI DEL.....</b>	<b>12</b>
5.1. Energija sonca.....	12
5.1.1. Izkoriščanje sončne energije .....	12
5.1.2. Valovne dolžine sončnega spektra .....	13
5.2. Fotonapetostne celice .....	14
5.2.1. Zgodovina.....	14
5.2.2. Fotovoltaika.....	15
5.2.3. Vrste in sistemi.....	16
5.2.4. Izdelava .....	18
5.2.5. Delovanje .....	19
5.2.6. Električne lastnosti sončnih celic .....	20
5.2.7. Vpliv kota sončnih žarkov.....	20
5.2.8. Inovativne uporabe fotonepetostnih celic .....	21
5.3. Solarne ceste .....	22
5.3.1. Začetki.....	22
5.3.2. Prednosti pred asfaltnimi cestami .....	23
5.3.3. Zgradba.....	24
5.3.4. Prototip.....	25
5.4. Cestna mreža v Sloveniji .....	26
<b>6. PRAKTIČNI DEL .....</b>	<b>27</b>
6.1. Anketa.....	27
6.1.1. Anketni vprašalnik .....	27

6.1.2.	Rezultati .....	28
6.1.2.1.	1. vprašanje .....	28
6.1.2.2.	2. vprašanje .....	28
6.1.2.3.	3. vprašanje .....	29
6.1.2.4.	4. vprašanje .....	30
6.1.2.5.	5. vprašanje .....	31
6.1.2.6.	6. vprašanje .....	32
6.1.2.7.	7. vprašanje .....	35
6.1.2.8.	8. vprašanje .....	36
6.1.2.9.	9. vprašanje .....	37
6.1.2.10.	10. vprašanje .....	38
6.1.2.11.	11. vprašanje .....	39
6.1.3.	Ugotovitve ankete .....	40
6.2.	Izdelava makete solarne ceste.....	41
6.2.1.	Potreben material.....	41
6.2.2.	Potrebno orodje .....	42
6.2.3.	Potek dela .....	43
6.3.	Delovanje makete solarne ceste.....	45
6.4.	Solarne ceste v Sloveniji.....	46
6.5.	Družbena odgovornost.....	47
<b>7.</b>	<b>UGOTOVITVE .....</b>	<b>48</b>
<b>8.</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>50</b>
<b>9.</b>	<b>VIRI IN LITERATURA.....</b>	<b>51</b>
9.1.	Pisni viri.....	51
9.2.	Slikovni viri .....	52
9.3.	Viri tabel .....	54
9.4.	Viri grafov .....	54
<b>10.</b>	<b>PRILOGA.....</b>	<b>55</b>
10.1.	Anketa: Solarne ceste (za odrasle).....	55
10.2.	Anketa: Solarne ceste (za dijake).....	58

## KAZALO SLIK

Slika 1: Sončni kolektorji in solarni paneli .....	12
Slika 2: Prikaz izkoristka valovne dolžine pri določeni gostoti sevanja .....	13
Slika 3: Sončna elektrarna.....	14
Slika 4: Kolektorji iz monokristalnih in plikristalnih celic .....	17
Slika 5: Izdelava PV sistema.....	19
Slika 6: Solarna kača .....	22
Slika 7: Ideja Scotta Brusowa .....	23
Slika 8: Zgradba solarne ceste.....	24
Slika 9: Prototip solarne ceste .....	25
Slika 10: Slovensko omrežje avtocest .....	26
Slika 11: Detektor kovin .....	41
Slika 12: LCD zaslon .....	41
Slika 13: Programator.....	42
Slika 14: Spajkanje vezja .....	43
Slika 15: LED trakovi .....	44
Slika 16: Prikaz delovanja LED traku.....	45
Slika 17: Koncept solarne ceste .....	47

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Vrste snovi za izdelavo solarnih panelov .....	18
Tabela 2: Prikaz učinkovitosti celice glede na vreme .....	20
Tabela 3: Prikaz naklonskih kotov .....	21
Tabela 4: Cene solarnih cest v Sloveniji .....	46

## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Kateri alternativni vir je po vašem mnenju najučinkovitejši za pridobivanje električne energije? .....	28
Graf 2: Ste že slišali za solarne ceste? (dijaki).....	29
Graf 3: Ste že slišali za solarne ceste? (odrasle osebe) .....	29
Graf 4: Kaj je po vašem mnenju solarna cesta? .....	30
Graf 5: Okolju najprijaznejša so električna vozila. Bi kupili električno vozilo in tako prispevali k ohranitvi narave? .....	31
Graf 6: Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj mislite o vožnji na stekleni površini? <i>Vožnja je varna</i> .....	32
Graf 7: Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj mislite o vožnji na stekleni površini? <i>Steklo bo zdržalo obremenitve</i> .....	33
Graf 8: Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj mislite o vožnji na stekleni površini? <i>Moteč odboj sonca od površine</i> .....	34
Graf 9: Kateri način osvetljave ceste se vam zdi boljši? (dijaki).....	35
Graf 10: Kateri način osvetljave ceste se vam zdi boljši? (odrasle osebe) .....	35
Graf 11: So boljši obcestni znaki ali znaki narisani na cesto? (dijaki) .....	36
Graf 12: So boljši obcestni znaki ali znaki narisani na cesto? (odrasle osebe).....	37
Graf 13: Vidite prihodnost Slovenije v solarnih cestah?.....	37
Graf 14: Kako bi vplivala gradnja solarnih cest v Sloveniji na okolje?.....	38
Graf 15: V kolikšnem času bi bila možna gradnja solarnih cest v Sloveniji?.....	39

## 1. POVZETEK

Solarna cesta je vozišče, kjer bi na tla položili več posebej oblikovanih solarnih panelov, po katerih bi lahko vozila cestna vozila, obenem pa bi s temi paneli proizvajali električno energijo (za javno razsvetljavo, gospodinjstva ...). Površina takšne ceste bi morala biti izdelana iz posebnega stekla, ki bi bilo dovolj trdno, da zagotovi dovolj trenja za varno vožnjo, obenem pa mora biti dovolj prepustno za svetlobo.

V raziskovalni nalogi sva raziskala omenjene možnosti solarnih cest. Zanimalo naju je, kako je zgrajena, kako deluje in kakšna je praktična uporaba v vsakdanjem življenju. Sestavila sva maketo solarne ceste in primerjala sva prednosti in slabosti klasičnih in solarnih cest. Prikazala sva teoretične možnosti zamenjave asfaltnih površin v Sloveniji s cestiščem iz solarnih panelov. Ocenila sva ozaveščenost anketirancev o solarni tehnologiji. Raziskala sva vpliv solarnih cest na okolje.

## **2. ZAHVALA**

Zahvaljujeva se mentorju za pomoč pri raziskovalni nalogi in za pridobljeno novo znanje na področju elektrotehnike in elektronike.

Zahvaljujeva se tudi najini šoli za dobavo potrebnega materiala za izdelavo makete solarne ceste in koordinatorici raziskovalnih nalog za pomoč pri izvedbi raziskovalne naloge.



### 3. SLOVAR

**Fotonapetostne celice, fotonaponske celice, fotovoltaične celice, sončne celice, solarne celice** – celice, ki svetlobno energijo pretvarjajo v električno energijo.

**Fotovoltaika** – veja tehnike, ki se ukvarja s pridobivanjem električne energije iz sončnih celic.

**PV** – angleška kratica za fotovoltaiko (Photovoltaic cells).

**Solarni panel, solarni modul** – več električno povezanih solarnih celic.

## 4. UVOD

Zamenjava asfaltne površine ceste in parkirišča s solarnimi paneli bi bil velik korak k ustavitvi klimatskih sprememb. Električna vozila bi se lahko polnila na cestah in parkiriščih, končno bi bilo možno ustvarjanje električnega avtomobila za daljša potovanja. Del energije bi se lahko uporabil v hladnejšem delu leta za ogrevanje cest, tako da ne bi bilo snega ali ledu na cestišču.

Ideja najine raziskovalne naloge je, da se v Sloveniji nadomestijo vse asfaltne ceste, dovozi, parkirišča in počivališča s solarnimi cestami. Pridobljena električna energija, ki bi jo ustvarjale sončne celice, bi se sproti porabila za svetlobno signalizacijo na cestah. Del energije pa bi shranjevali v akumulatorjih za kasnejšo uporabo v naših domovih in podjetjih. Ta obnovljiv vir energije bi nadomestil pridobivanje električne energije iz fosilnih goriv. Praktični izdelek bo prikazal nekaj možnosti uporabe.

### 4.1. Namen naloge

Namen naše naloge je raziskati delovanje in učinkovitost solarne ceste, prednosti in slabosti pred asfaltno cesto. Izdelala bova maketo solarne ceste in prikazala njeno delovanje. Izračunala in ugotovila bova, ali je gradnja solarnih cest v Sloveniji možna in kakšen je dobiček ali izguba države z gradnjo teh cest. Ocenila bova ozaveščenost anketirancev o solarni tehnologiji. Raziskala bova vpliv solarnih cest na okolje.

### 4.2. Hipoteze

- Izgradnja solarnih cest v Sloveniji je mogoča v bližnji prihodnosti.
- Solarna cesta je sposobna sama sebe čez čas odplačati.
- Solarna cesta zagotavlja večjo varnost v prometu.
- Večina ljudi ne pozna solarnih cest.

### 4.3. Opis postopka in uporabe metod dela

S pomočjo literature sva preučila zgodovino fotonapetostnih celic, njihovo delovanje in uporabo danes. Osredotočila sva se na delo Scotta Brusawa, katerega želja je uvedba solarnih cest v Ameriki.

Ocenila sva ozaveščenost anketirancev o solarni tehnologiji in raziskala sva vpliv solarnih cest na okolje.

Izdelala sva maketo solarne ceste, s pomočjo katero bova natančneje opisala sisteme in delovanje solarne ceste.

Izračunala sva, kakšne so možnosti za uvedbo solarnih cest v Sloveniji, kakšni bi bili stroški in v kolikšnem času bi se ti stroški povrnili.

## 5. TEORETIČNI DEL

### 5.1. Energija sonca

Sonce je nam najbližja zvezda in njegova energija je ključna za življenje na Zemlji. Sončna energija izvira iz nuklearnih reakcij v središču Sonca, kjer temperatura dosega 15 milijonov stopinj Celzija. Ta proces se imenuje fuzija, pri kateri z združitvijo vodikovih atomov nastaja helij od sproščanju velike količine energije. Vsako sekundo v helij preide okrog 600 milijonov ton vodika, pri čemer se masa približno 4 milijonov ton vodika spremeni v energijo. Ta energija se v obliki elektromagnetnega sevanja razširja v vesolje in manjši del energije pride do Zemlje. Nuklearna fuzija se na Soncu dogaja že okrog 5 milijard let in po izračunih znanstvenikov se bo dogajala še naslednjih 5 milijard let.

#### 5.1.1. Izkoriščanje sončne energije

Na površini Zemlje se pod optimalnimi pogoji lahko dobi približno 1 kW energije na kvadratni meter. Temeljni način izkoriščanja sončne energije Sonca so naslednji:

- solarni kolektorji – za segrevanje sanitarne vode in ogrevanje prostorov,
- fotonapetostne celice – direktna sprememba sončne energije v električno,
- fokusiranje sončne energije – uporaba v velikih energetske objekti.

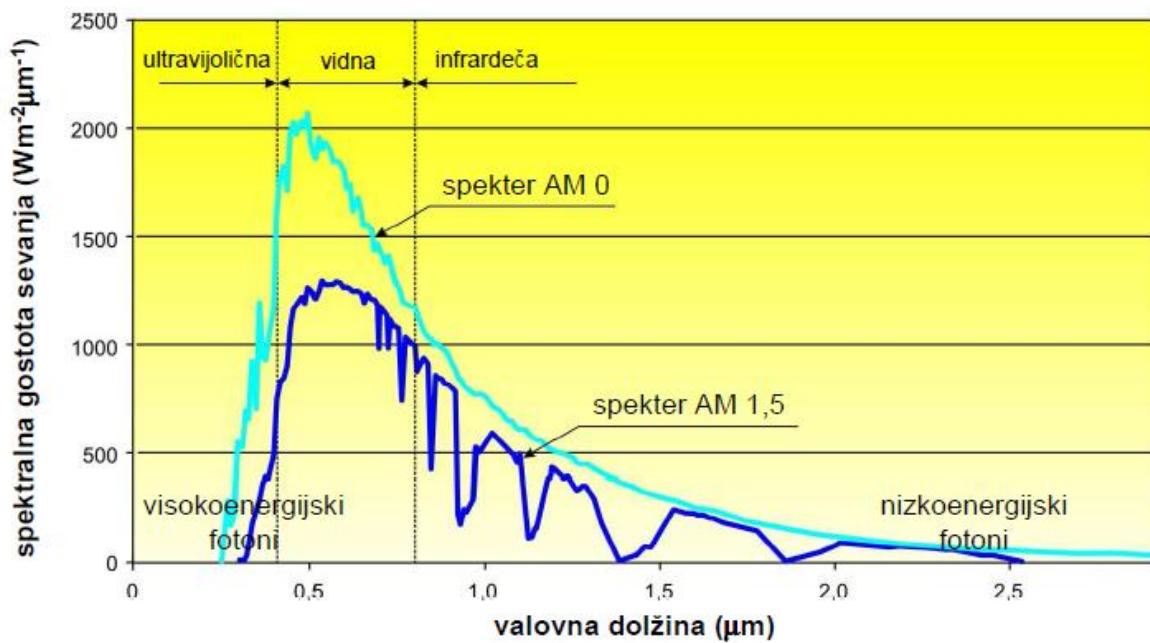
Največja ovira pri uporabi fotonapetostne celic je cena, ki je kar 6000 ameriških dolarjev po kWh, učinkovitost sončnih celic pa znaša od 10 do 30 odstotkov.



Slika 1: Sončni kolektorji in solarni paneli (VIR: [toplotnatehnika.blog.siol.net](http://toplotnatehnika.blog.siol.net))

### 5.1.2. Valovne dolžine sončnega spektra

Učinkovitost fotonapetostnih celic je odvisna od številnih dejavnikov. Eden od teh je količina fotonov, ki padejo na celico. Foton je osnovni delec elektromagnetnega polja. Energija fotonov z večanjem valovne dolžine pada. Največja valovna dolžina, pri kateri imajo fotoni še dovolj veliko energijo za fotonapetostne celice, je  $1,15 \mu\text{m}$ . Sevanje z večjo valovno dolžino povzroči le segrevanje celice. Pri sevanju z manjšo valovno dolžino od mejne pa se pojavi višek fotonov, ki segrevajo celico.



Slika 2: Prikaz izkoristka valovne dolžine pri določeni gostoti sevanja (VIR: mladiraziskovalci.scv.si)

## 5.2. Fotonapetostne celice

Fotonapetostna celica je najmanjši element solarnega panela, ki pretvarja sončno energijo v električno. Za višjo napetost so celice v panelu med seboj zaporedno povezane. Pri uporabi ni stranskih produktov in omogoča uporabo električnih naprav tam, kjer električno omrežje ni dostopno. (Vpliv odklona na moč fotonapetostnega modula, 21. 1. 2013)



Slika 3: Sončna elektrarna (VIR: [upload.wikimedia.org](https://upload.wikimedia.org))

### 5.2.1. Zgodovina

Prvi je leta 1839 odkril fotonapetostni pojav, ki omogoča pretvorbo svetlobe v elektriko, francoski eksperimentalni fizik Alexandre Edmond Becquerel. Pri eksperimentu z dvema kovinskima elektrodama, potopljenima v elektrolit, je ugotovil, da prevodnost narašča z osvetljenostjo.

Leta 1873 je podobno odkritje, le da je šlo tokrat za selen, uspelo Willoughbyu Smithu. William G. Adams je skupaj s svojim študentom Richardom E. Dayem leta 1876 odkril, da

tudi osvetljen spoj selena in platine izkazuje podoben pojav. To odkritje je pomenilo osnovo za izdelavo prve selenske sončne celice, ki so jo izdelali leta 1877.

Albert Einstein je pojav teoretično opisal leta 1904. Za svoje delo je bil leta 1921 nagrajen z Nobelovo nagrado. Njegova teoretična predvidevanja je leta 1916 praktično dokazal Robert Millikan.

Poljak Jan Czohralski je leta 1918 razvil metodo za pridobivanje monokristalnega silicija, ki je omogočala izdelavo prvih silicijevih monokristalnih sončnih celic. Prva silicijeva sončna celica je bila izdelana leta 1941.

Fotonapetostni pojav v drugih materialih so leta 1932 opazili tudi v kadmijevem selenidu, ki danes, poleg silicija, sodi med pomembnejše polprevodniške materiale pri izdelavi sončnih celic.

Leta 1976 je NASA Lewis Reserach Center začel z inštalacijami fotonapetostnih sistemov, ki so potekale do leta 1985 in kasneje še od 1992 do 1995 leta. Sistemi so bili namenjeni napajanju hladilnikov, telekomunikacijske opreme, medicinske opreme, razsvetljavi, črpanju vode in drugim porabnikom. Leta 1976 so v laboratorijih RCA izdelali prvo amorfno silicijevo sončno celico. (Sprehod skozi čas, 20. 1. 2013)

### **5.2.2. Fotovoltaika**

Fotovoltaika ali PV nam omogoča pretvorbo sončne energije v električno s postopkom, ki je bil opisan pri poglavju o delovanju sončne celice. Najprej so s fotovoltaiko oskrbovali satelite, dandanes pa zaradi tega procesa ne potrebujemo več baterij, akumulatorjev ali drugih sredstev za napajanje skoraj vseh predmetov, ki potrebujejo električno energijo za delovanje. Fotovoltaiko pa moramo ločiti od postopka, kjer sončno energijo uporabljamo kot toploto, ki jo uporabljamo za ogrevanje. Fotovoltaična celica je sestavljena iz dveh ali več plasti polprevodnika (v večini primerov je to silicij), ki s tem, ko je izpostavljen svetlobi, spusti svoje naboje in ti potujejo enosmerno v obliki električne energije do porabnika.

### 5.2.3. Vrste in sistemi

Ločimo dve vrsti fotovoltaične tehnologije, tanko-plastno in kristalno, slednjo pa lahko razdelimo še na dve podvrsti.

Kristalno vrsto fotovoltaične tehnologije delimo na dve podvrsti, to so monokristalne celice in polikristalne celice. Monokristalne celice pridobimo z rezanjem celic posameznih valjastih silicijev. Te celice imajo najvišjo učinkovitost, kar pa posledično podraži njihovo prodajno ceno. Pri polikristalnih celicah je učinkovitost celic nižja, ampak je zato tudi prodajna cena nižja. Pridobimo jih z rezanjem mikro finih ploskev iz mešanice topljenega in rekristaliziranega silicija.

Tanke sloje teh plošč, največkrat naredijo iz amorfne silicija, tako da nizajo ultra tanke sloje tega fotovoltaičnega materiala enega na drugega. Za to se uporablja tudi CIGS (baker indija / galijevega diselenida), CIS (bakrov indij selenid), CdTe (Kadmijev Telur), barvno-občutljive celice in organske sončne celice.

Pri fotovoltaičnih sistemih pa ločimo tudi dva sistema, mrežno povezani fotovoltaični sistem ter ne-mrežni sistem.

Mrežno povezani fotovoltaični sistemi so namenjeni večjim električnim omrežjem. Vso zbrano energijo, ki jo sistemi zberejo podnevi, lahko uporabimo ali pa jo prodamo družbam za dobavo električne energije. V večernih urah pa lahko to energijo odkupimo, če sistem ne more zagotoviti energije.

Ne-mrežne sisteme ("samostojne" sisteme) lahko uporabljamo na vseh mestih: za dobavo energije ulični razsvetljavi, transformatorjem in drugim stvarjem. Ti sistemi vzbujaajo zanimanje za mobilno fotovoltaiko na navtičnem trgu ter za potovalne prikolice. Ti sistemi so veliko pripomogli državam, ki so v razvoju, saj so tam navadna električna omrežja nezanesljiva.





Slika 4: Kolektorji iz monokristalnih in plikristalnih celic (VIR: [www.bisol.com](http://www.bisol.com))

Lastnosti različnih materialov fotonapetostnih celic:

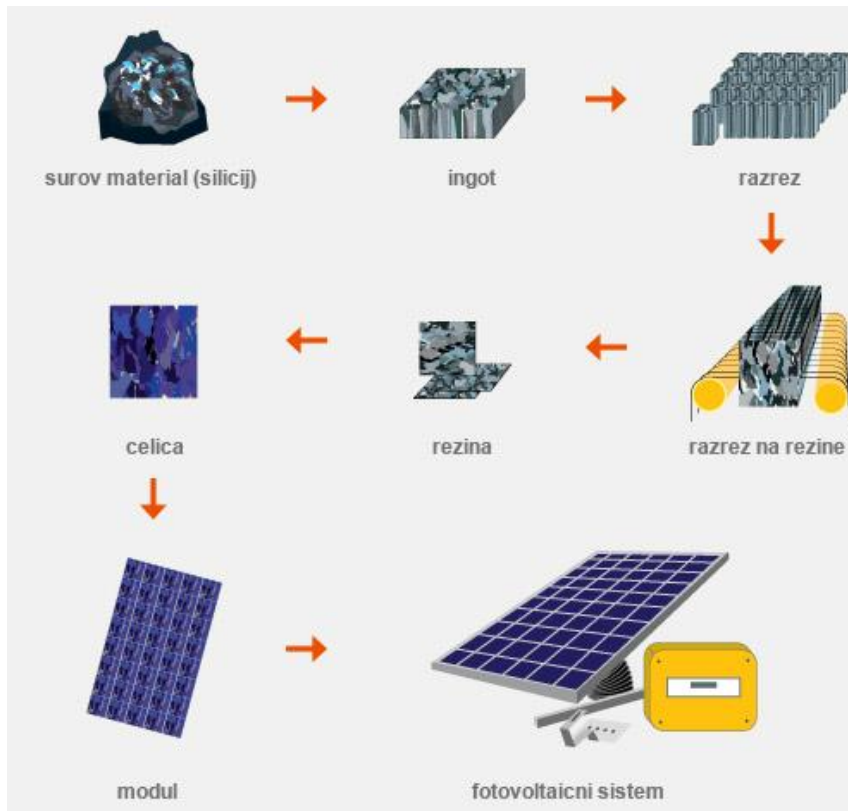
Material	Debelina	Izkoristek %	Barva	Slabosti	Prednosti in perspektive
Monokristalne Si sočne celice	0,3 mm	15–18 %	Temno modre, črne z AR plastjo, sive brez AR plasti	Dolgotrajni proizvodni postopki, potrebno žaganje rezin.	Najbolj raziskan material. Tudi v prihodnjih letih bo prevladoval na tržišč, posebej tam, kjer je potrebno veliko razmerje moč/površina.
Polikristalne Si sončne celice	0,3 mm	13–15 %	Modre z AR plastjo, srebrno-sive brez AR plasti	V primerjavi s tankoplastnimi tehnologijami daljši proizvodnji postopki, potrebno žaganje rezin.	Najpomembnejši material vsaj v naslednjih nekaj letih.
Polikristalne transparentne sončne celice	0,3 mm	10 %	Modre z AR plastjo, srebrno-sive brez AR plasti	Nižji izkoristek, posebni proizvodni postopki za doseganje prosojnosti celic.	Celice zanimive za BIPV aplikacije. Možna tudi proizvodnja dvostranskih celic.
EFG	0,28 mm	14 %	Modre z AR plastjo	Omejena uporaba proizvodnih postopkov.	Možnost znižanja proizvodnih stroškov v prehodnosti. Ni žaganja rezin. Zelo hitra rast kristala.
Polikristalne Si celice v obliki traku	0,3 mm	12 %	Modre z AR plastjo, srebrno-sive brez AR plasti	Omejena uporaba proizvodnih postopkov.	Možnost znatnega znižanja proizvodnih stroškov v prehodnosti. Ni žaganja rezin.

Apex (polikristalne Si) sončne celice	0,03 do 0,1 mm + keramični substrat	9,5 %	Modre z AR plastjo, srebrno-sive brez	Omejena uporaba proizvodnih postopkov.	Možna proizvodnja v obliki traku, ni žaganja rezin, material veliko obeta. Možnost
Monokristalne Si celice v obliki dendritne mreže	0,13 mm vključno s kontakti	13 %	Modra z AR plastjo	Omejena uporaba proizvodnih postopkov.	Možna proizvodnja v obliki traku, ni žaganja rezin.
Amorfne sončne celice	0,0001 mm + 1 do 3 mm substrat	5–8 %	Rdeče-modra, črna	Manjša učinkovitost, krajša življenjska doba.	Možna proizvodnja v obliki traku, ni žaganja rezin. Ob izboljšanju dolgoročnih lastnosti (izkoristek, življenjska doba) najbolj perspektiven material.
Kadmijev telurid (CdTe)	0,008 mm + 3 mm steklen substrat	6–9 % (modul)	Temno zelene, črne	Strupene surovine.	Možnost znatnega znižanja proizvodnih stroškov v prihodnosti.
Bakrov indijev diselenid (CIS)	0,003 mm + 3 mm steklen substrat	7,5–9,5 % (modul)	Črna	Omejene zaloge indija v naravi.	Možnost znatnega znižanja proizvodnih stroškov v prihodnosti.
Hibridne (HIT) sončne celice	0,02 mm	18 %	Temno modra, črna	Omejena uporaba proizvodnih postopkov.	Višja učinkovitost, boljši temperaturni koeficient in manjša debelina.

Tabela 1: Vrste snovi za izdelavo solarnih panelov (VIR: mladiraziskovalci.scv.si)

#### 5.2.4. Izdelava

Izdelava fotonapetostnih celic se prične s surovim materialom (npr. silicij). Material razrežejo na manjše kose in kasneje še na rezine. Ena rezina je ena fotonapetostna celica, ki proizvede napetost okrog 0,5 V in tok okrog 200 A/m<sup>2</sup>. Fotonapetostne celice se sestavljajo v sončne panele. Lahko so povezane zaporedno ali vzporedno, pri čemer spreminjamo napetost ali tok panela. Več sončnih panelov sestavlja fotonapetostni sistem ali sončno elektrarno. (Fotovoltaika, 4. 2. 2013)



Slika 5: Izdelava PV sistema (VIR: [www2.kostak.si](http://www2.kostak.si))

### 5.2.5. Delovanje

Delovanje sončnih celic se v glavnem deli na tri dele:

- absorpcija sončne svetlobe in s tem prehajanje elektronov v vzbujeno stanje,
- ločevanje negativno nabitih elektronov od pozitivno nabitih protonov,
- pretok nabojev do zunanjega porabnika (pretok električne energije na porabnik).

Pri prvem delu, sončne celice absorbirajo sončno energijo v obliki paketov ("fotonov"), ki jih absorbira pol prevodnik, v našem primeru silicij, in s tem sprostijo svoje elektrone, da preidejo v vzbujeno stanje. Danes se v večini primerov uporablja kristalni silicij, to pa pomeni, da se sončna svetloba absorbira v ploščo pri globini 150  $\mu\text{m}$ . Zaradi tega so za absorpcijo potrebne debelejšje plošče kristalnega silicija (200  $\mu\text{m}$  – 300  $\mu\text{m}$ ), imenovane waferji.

V drugem delu gre za ločevanje elektronov od protonov, to v večini primerov poteka z difuzijo elektronov. To vodi v ustvarjanje napetosti med obema stranema sončne celice. Celica mora imeti nanj nameščene dobre kontakte za prenos preničnih nabojev, kar pomeni, da morajo imeti kontakti čim manjšo upornost, tako da izgubimo čim manj energije. To se na

koncu poveže v pretok teh premičnih nabojev, ki potujejo enosmerno do zunanjega porabnika, ki te naboje dobi v obliki električne energije. (Delovanje sončne celice, 18. 1. 2013)

### 5.2.6. Električne lastnosti sončnih celic

Sončna celica ima največji izkoristek pri naslednjih pogojih:

- gostota sončnega sevanja 1000 W/m<sup>2</sup>,
- AM1,5 – višina sonca nad obzorjem,
- referenčno sončno sevanje,
- temperatura 25 °C,
- pravokotni vpad sončnega sevanja.

Ti pogoji se stalno spreminjajo glede na čas dneva, vreme, letni čas in vplivajo na gostoto moči sevanja, ki jo merimo v vatih na kvadratni meter (Wm<sup>-2</sup>). Energijo sevanja pa merimo v vatnih urah na kvadratni meter (Whm<sup>-2</sup>). Povprečna gostota sevanja na Zemlji je približno 1,367 Wm<sup>-2</sup>. (Vpliv odklona na moč fotonapetostnega modula, 21. 1. 2013)

Vreme	Jasno	Megleno/oblačno (sonce slabo vidno)	Oblačno (sonce ni vidno)
Celotna gostota moči sončnega sevanja (W/m <sup>2</sup> )	600–1000	200–400	50–150
Difuzni delež (%)	10–20	20–80	80–100

Tabela 2: Prikaz učinkovitosti celice glede na vreme (VIR: mladiraziskovalci.scv.si)

### 5.2.7. Vpliv kota sončnih žarkov

Na učinkovitost sončne celice vpliva tudi kot žarkov, ki padajo nanjo. Obstajajo sledilni sistemi, ki sončne celice nagibajo proti sončnim žarkom in tako povečajo njihovo učinkovitost čez celi dan, vendar se večina kupcev kljub temu ne odloči za sledilne sisteme. Faktor zračne mase (AM) je merilo višine sonca nad obzorjem. Faktor AM1 pomeni kot žarkov 90°, torej je sonce v zenitu. Z nižanjem višine sonca na obzorju se faktor zračne mase

veča. Dolžina poti sončnega sevanja se daljša, gostota moči pa je vedno manjša. (Vpliv odklona na moč fotonapetostnega modula, 21. 1. 2013)

AM	1	1,5	2
$\alpha$	90°	41,8°	30°

Tabela 3: Prikaz naklonskih kotov (VIR: mladiraziskovalci.scv.si)

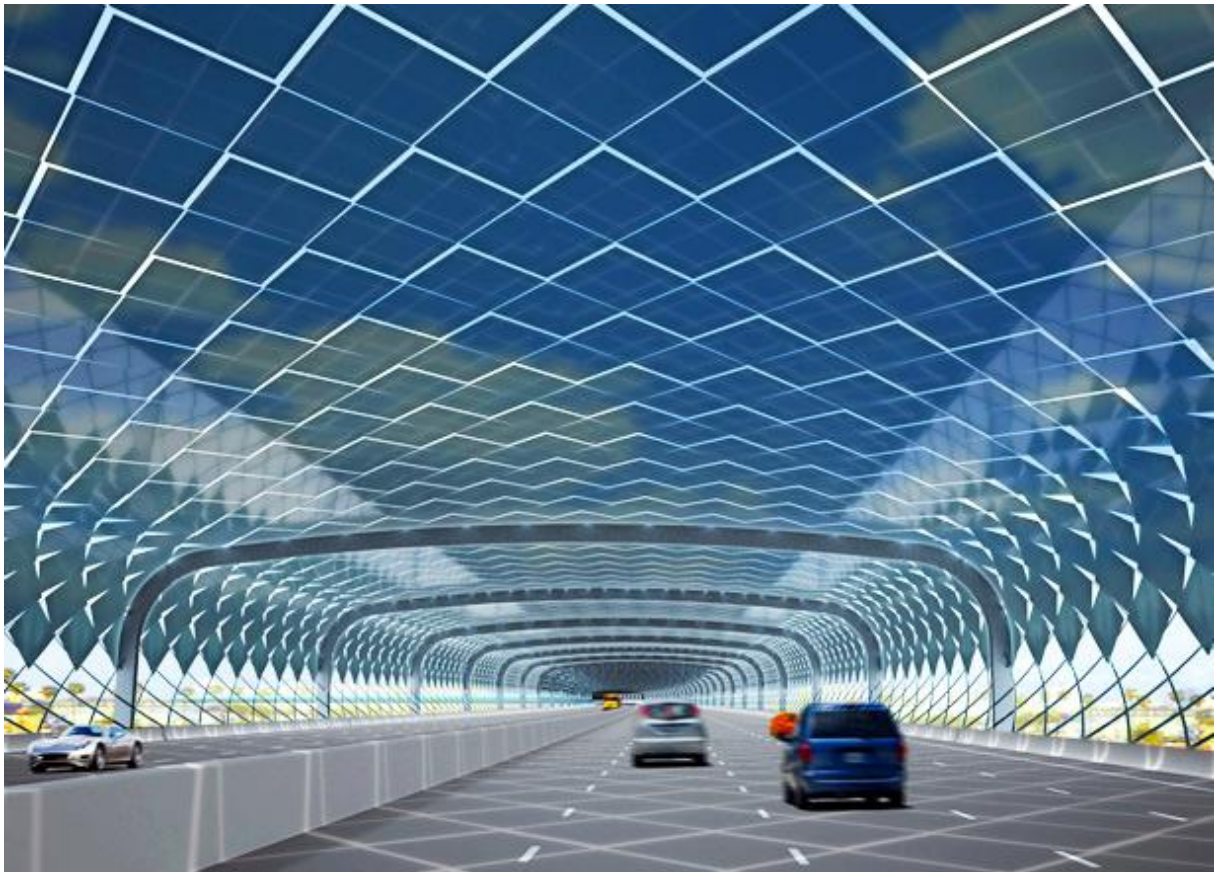
### 5.2.8. Inovativne uporabe fotonapetostnih celic

Ena od inovativnih uporab fotonapetostnih celic je solarna cesta, ki je opisana v nadaljevanju. Ideja je tudi namestitev solarnih panelov med tirnice. Ti bi bili cenejši, saj vozila gibljejo po tirih in ne bi bila v direktnem kontaktu z paneli. To pomeni, da ne bi potrebovali visoke zaščite in odpornosti, kot solarni paneli pri solarnih cestah. Razdalja med tirnicama je 1435 centimetrov, dolžina vseh železniških prog v Sloveniji pa je 1191 kilometrov brez predorov. Tako dobimo 1.709.085 kvadratnih kilometrov površine, ki jo lahko izkoristimo.

(Možnost aplikacije "solarnih cest" na slovenskem cestnem in železniškem omrežju, 4. 2. 2013)

Naslednja inovativna ideja je solarna kača. To je neke vrste predor čez cestišče, pokrit s solarnimi paneli. Oblikoval ga je švedski arhitekt Mans Tham, ki trdi, da bi ta sistem proizvedel približno 150 milijonov vatov električne energije.

(Crazy Awesome Solar Serpent Structure Proposed For Santa Monica Freeway, 4. 2. 2013)

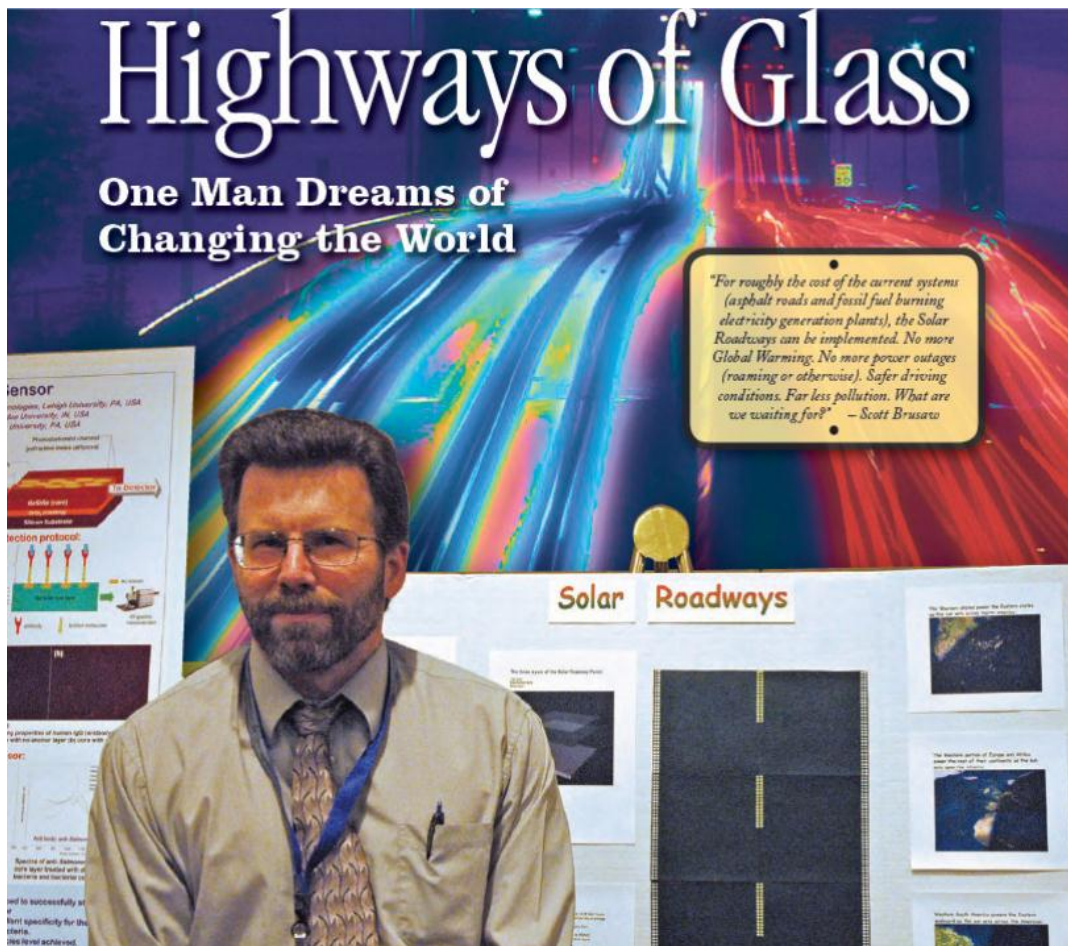


Slika 6: Solarna kača (VIR: inhabitat.com)

### 5.3. Solarne ceste

#### 5.3.1. Začetki

Idejo o cesti, ki proizvaja električno energijo, si je prva domislila Juliet Brusaw. Njen mož Scott Brusaw je kasneje začel razvijati to idejo. Scott je inženir elektrotehnike z več kot 20 let izkušenj v industriji. Zaposlen je bil kot direktor raziskav in razvoja v proizvodni ustanovi v Ohaju in je član organizacije NEMA (National Electrical Manufacturers Association). Izdelal je nekaj kontrolnih mrežnih sistemov in ima prijavljenih več patentov. Ko se je ameriški oddelek za energijo odločil financirati njegov projekt v znesku do 100.000 ameriških dolarjev solarnih cest, je Scott dobil možnost, da realizira idejo. (Solar roadways, 1. 2. 2013)



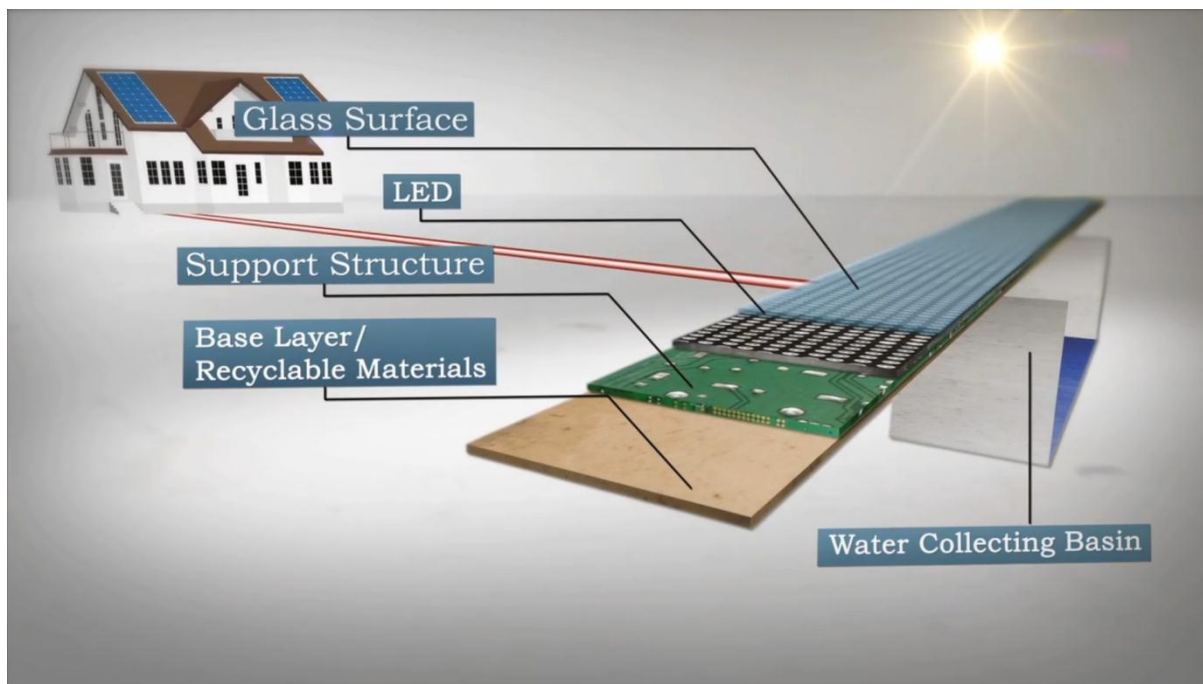
Slika 7: Ideja Scotta Brusowa (VIR: [www.envirowarrior.com](http://www.envirowarrior.com))

### 5.3.2. Prednosti pred asfaltnimi cestami

Velika prednost solarne ceste pred asfaltno je v ceni. Res je, da je solarna cesta dražja, vendar se sčasoma sama odplačuje. Solarna cesta bi zmanjšala potrebe po vzdrževanju, saj bi vsebovala grelne elemente, ki bi stopili sneg, in boljši sistem za odvajanje vode. Tudi popravilo bi bilo lažje in hitrejše, ker bi ploščo samo zamenjali in priklopili v sistem. Plošče na prehodih za pešce bi vsebovale senzorje občutljive na spremembo teže, ki bi zaznali pešca in voznika opozorili nanj. Horizontalne signalizacije ne bi bilo potrebno risati, ker bi se za to uporabljale LED diode. Led diode bi služile tudi kot signalizacija za opozarjanje na prometne nesreče, pešca ali živali in podobno.

Planirana cena izdelave ene plošče je 5.000 ameriških dolarjev, kar je zelo drago glede na asfaltno cesto. Če pa odštejemo stroške vzdrževanja ceste in proizvodnjo električne energije in tudi povečano varnost udeležencev v prometu, pa cena zelo pade. (Solar roadways, 1. 2. 2013)

### 5.3.3. Zgradba



Slika 8: Zgradba solarne ceste (VIR: [solarroadways.com](http://solarroadways.com))

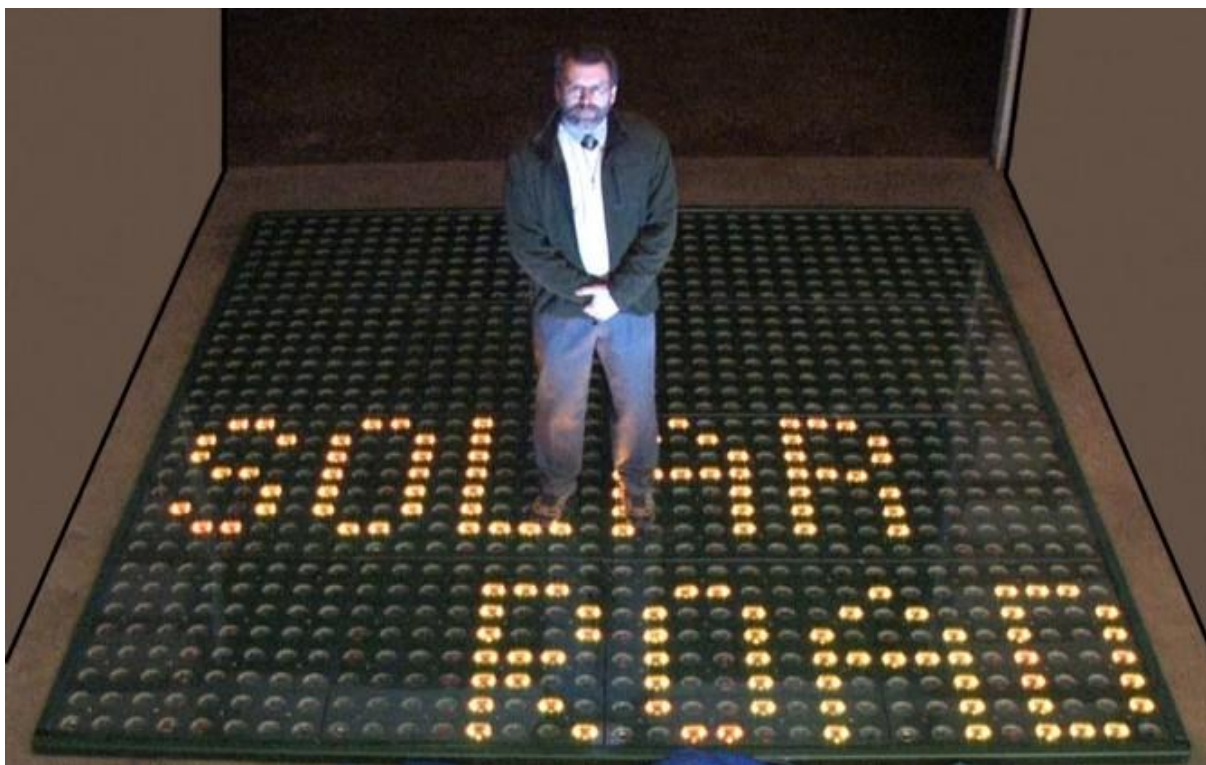
Sončna cesta je zgrajena iz 12 x 12 feetov (3,65 x 3,65 metrov) velikih plošč. Vsaka plošča je sestavljena iz štirih plasti, ki so opisane v nadaljevanju.

- Prva plast je cestišče. Narejena je iz trdnega stekla, ki prepušča sončne žarke. Ta plast nadomešča asfalt, zato je narejena tako, da je odporna na temperaturne in vremenske spremembe in je hkrati dovolj trdna, da zdrži vožnjo vseh cestnih vozil tudi pri veliki hitrosti in zagotavlja dovolj veliko trenje.
- Druga plast vsebuje LED diode, ki služijo kot horizontalna signalizacija, in fotonapetostne celice.
- V tretji plasti je shranjena vsa elektronika in služi kot oporna struktura ceste. Vsebuje tudi vse kable, ki povezujejo plošče med seboj in mikroprocesorje, zaradi katerih je solarna cesta pametna cesta.
- Četrta plast je temeljna plast. Narejena je iz recikliranih materialov, kar pomaga reševati problem s prevelikimi količinami odpadkov. (Solar roadways, 1. 2. 2013)



### 5.3.4. Prototip

Scottu Brusawu je uspelo izdelati prototip plošče sončne ceste. Največji problem je bila prva steklena plast. Zanj je porabil 40.000 ameriških dolarjev za izdelavo nove vrste stekla, ki je dovolj vzdržljivo, prepušča sončne žarke in zagotavlja dovolj veliko trenje. Izdelali so tudi manjšo ploščo, ki je velika 3 x 3 feetov (91 x 91 centimetrov) in ima senzorje občutljive na spremembo teže. Uporabljali bi jih na prehodih za pešce, da bi voznika opozorile na pešca. Prototip v celoti deluje, ima pa eno pomanjkljivost. LED diode se ne vidijo dobro, če jih gledamo iz nizkega položaja. Problem bodo rešili z dvigom LED diod. Ideja je tudi, da bi LED diode vgradili v prvo stekleno plast, odprtine v drugi plasti bi pa obdali s trdnim prozornim materialom za večjo vzdržljivost. (Solar roadways, 2. 2. 2013)

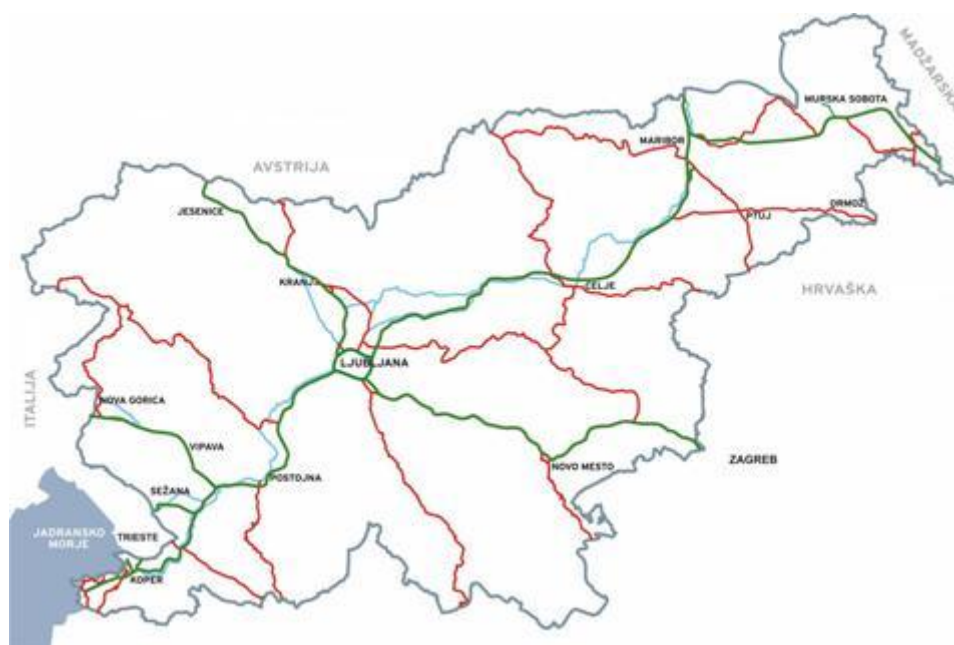


Slika 9: Prototip solarne ceste (VIR: [solarroadways.com](http://solarroadways.com))

## 5.4. Cestna mreža v Sloveniji

V tej nalogi sva se odločila, da bova za najino slovensko omrežje uporabila glavni avtocesti A1 in A2. Ti avtocesti skupaj merita 422 km z upoštevanimi predori, kjer bi prav tako bile položene solarne plošče ter brez obvoznice pri avtocesti A2. Ta cesta se nama je zdela najprimernejša odločitev, glede na velikost ter preprostost ceste in polaganje teh plošč (ni veliko ovinkov, vzponov in drugih ovir). Ob avtocesti ni prisotnih hiš, zaraščenosti gozdov, večjih zgradb, ki bi ovirale pot sončnih žarkov do sončnih celic.

Obe avtocesti sta sestavljeni delno iz dvopasovnih ter štiripasovnih avtocest. Štiripasovna avtocesta je sestavljena iz štirih glavnih pasov, ki merijo v širino 3,7 m, dveh odstavnih pasov, ki sta široka 2,5 m in imata utrjene bankine, ki so široke 1 m. Brez upoštevanja ograje in ločilnega prostora med levo in desno stranjo avtoceste, je širina celotne ceste 21,8 m, kar popolnoma zadostuje za šest pasov solarnih plošč. Za obe avtocesti, ki sta skupaj dolgi 422 km in z upoštevanjem širin cest ter odstavnih pasov, ki so navedene, sva dobila število plošč, ki znaša približno 907.579.



Slika 10: Slovensko omrežje avtocest (VIR: [beta1.finance-on.net](http://beta1.finance-on.net))

## **6. PRAKTIČNI DEL**

### **6.1. Anketa**

#### **6.1.1. Anketni vprašalnik**

Namen anketnega vprašalnika je na podlagi dobljenih rezultatov ugotoviti seznanjenost ljudi z alternativnimi viri in njihovo uporabo, seznanjenost s solarnim cestami, kakšno je njihovo mnenje o zgradbi in delovanju solarne ceste in mnenje o gradnji solarnih cest v Sloveniji.

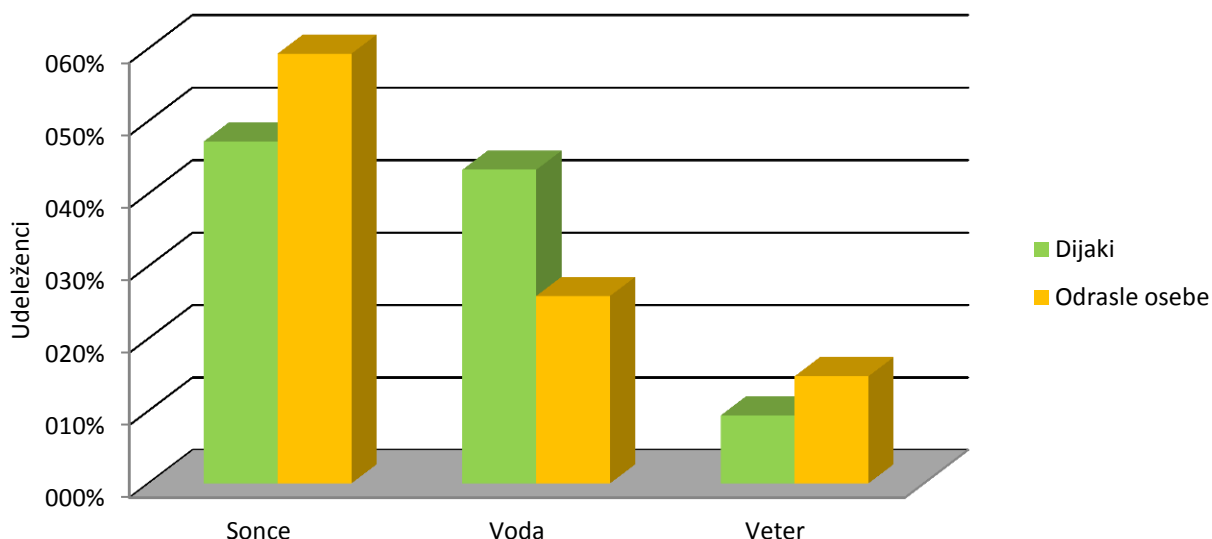
Anketni vprašalnik je vseboval enajst vprašanj. Pri večini je imel anketiranec določeno število možnih odgovorov in je izbral enega ali več odgovorov. Druga vprašanja ponujajo alternativni odgovor – da, ne in slikovni izbor. Vprašanje šest je odgovorna matrika, vprašanje deset pa vprašanje stopenjske lestvice. Pri drugem vprašanju so anketiranci zapisali svoje predloge.

Sodelovali so dijaki in odrasle osebe. Anketni vprašalnik je rešilo 127 dijakov in 27 odraslih oseb. Sestavila sva dva anketna vprašalnika, ki sta v prilogi.

## 6.1.2. Rezultati

### 6.1.2.1. 1. vprašanje

#### Kateri alternativni vir je po vašem mnenju najučinkovitejši za pridobivanje električne energije?



Graf 1: Kateri alternativni vir je po vašem mnenju najučinkovitejši za pridobivanje električne energije?

Iz rezultatov je razvidno, da je 47,2 % dijakov izbralo kot najučinkovitejši alternativni vir sonce, 43,3 % veter in 9,4% vodo.

Odrasle osebe so v 59,3 % izbrali sonce, 25,9 % vodo in 14,8 % veter.

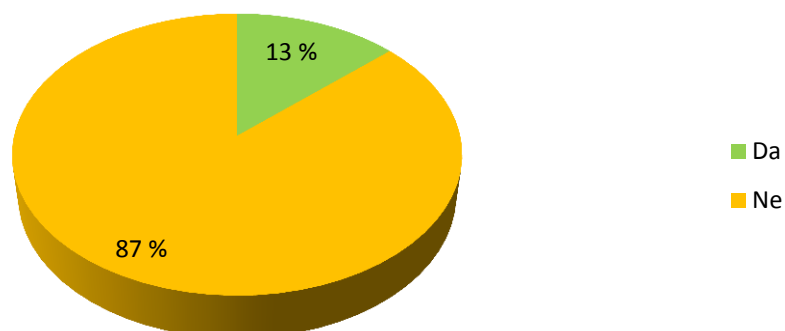
### 6.1.2.2. 2. vprašanje

Pri vprašanju, na kakšne načine lahko izkoriščamo sončno energijo, ki je bilo odprto vprašanje, je omenila večina dijakov sončne celice, ki pretvarjajo sončno energijo v električno in sončne kolektorje, ki segrevajo vodo.

Večina odraslih oseb je odgovorila, da lahko sončno energijo uporabljamo za ogrevanje, proizvodnjo elektrike in pogon električnih vozil.

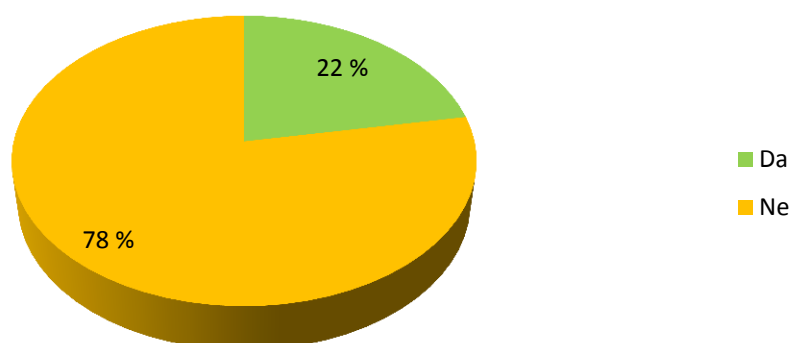
### 6.1.2.3. 3. vprašanje

#### Ste že slišali za solarne ceste? (dijaki)



Graf 2: Ste že slišali za solarne ceste? (dijaki)

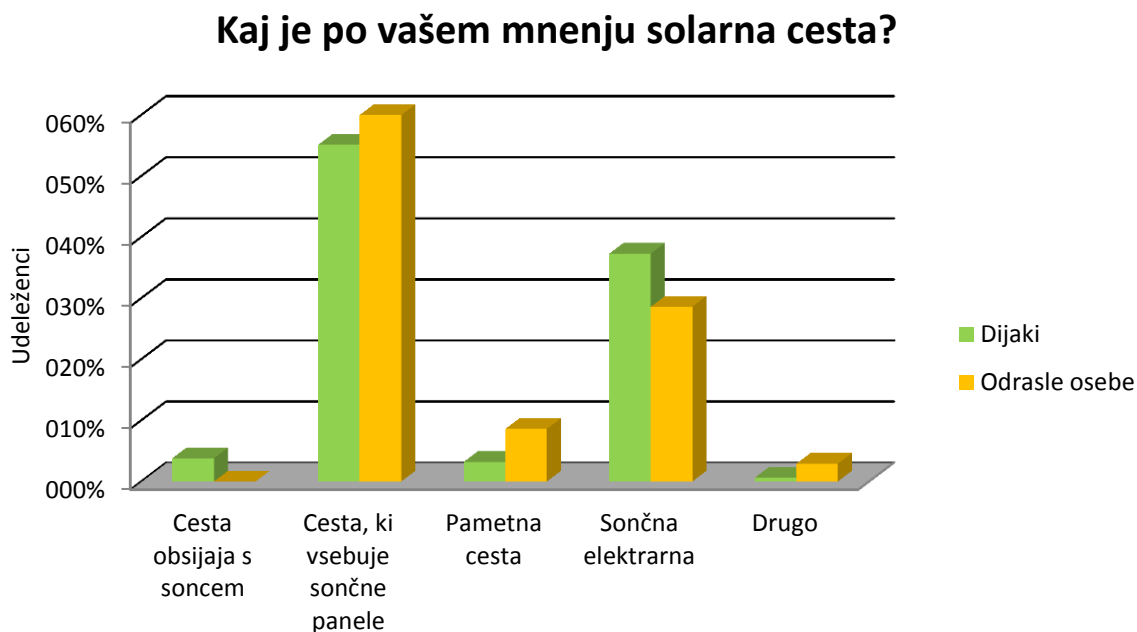
#### (odrasle osebe)



Graf 3: Ste že slišali za solarne ceste? (odrasle osebe)

Rezultati so pokazali, da je za solarne ceste že slišalo 13,4 % dijakov in 22,2 % odraslih oseb. 86,6 % dijakov in 77,8 % pa solarnih cest ne pozna.

#### 6.1.2.4. 4. vprašanje



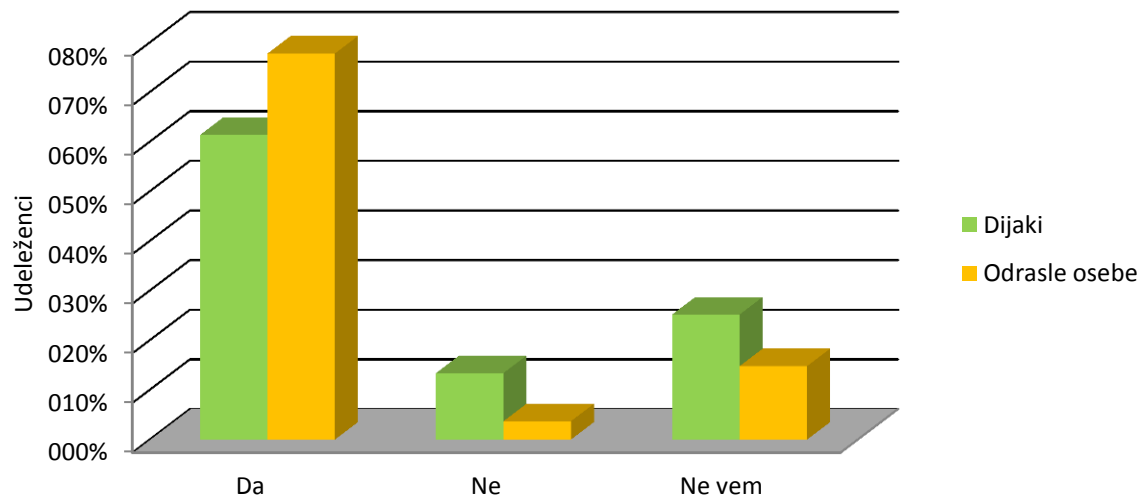
Graf 4: Kaj je po vašem mnenju solarna cesta?

Pri tem vprašanju je bilo možnih več odgovorov. 3,8 % dijakov je izbralo odgovor, da je solarna cesta, cesta obsijana z soncem, 55,1 %, da je to cesta, ki vsebuje solarne panele, 3,2 % je odgovorilo, da je to pametna cesta, 37,3 %, da je to sončna elektrarna in 0,6 % je odgovorilo z drugo, kamor so vpisali, da ne vedo.

60 % odraslih je menilo, da je to cesta, ki vsebuje solarne panele, 8,6 %, da je to pametna cesta, 28,6 % je odgovorilo, da je to sončna elektrarna in 2,9 % je odgovorilo z drugo, kamor so vpisali, da ne vedo, kaj je to.

### 6.1.2.5. 5. vprašanje

#### Okolju najprijaznejša so električna vozila. Bi kupili električno vozilo in tako prispevali k ohranitvi narave?



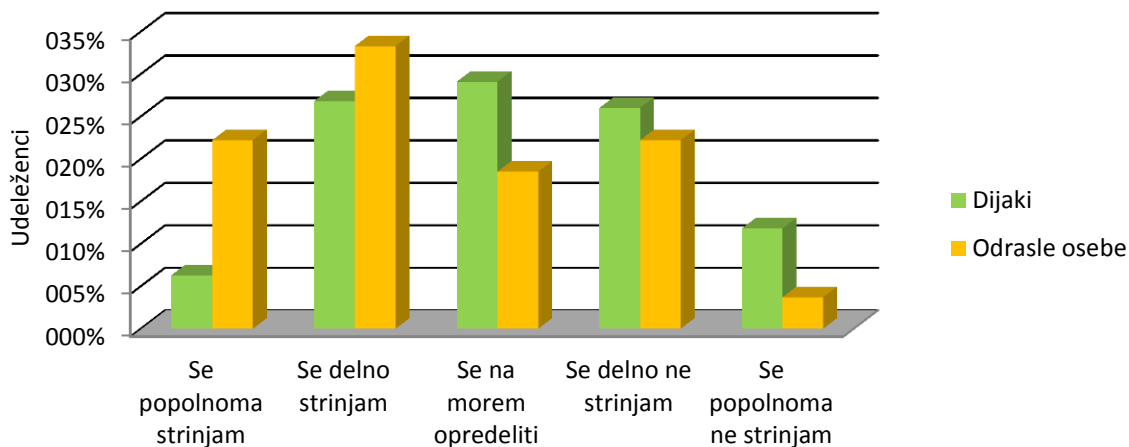
**Graf 5: Okolju najprijaznejša so električna vozila. Bi kupili električno vozilo in tako prispevali k ohranitvi narave?**

61,4 % dijakov bi si kupilo električno vozilo in tako prispevalo k ohranitvi narave, 13,4 % si električnega vozila ne bi kupilo in 25,2 % ne ve, ali bi si kupili električno vozilo.

77,8 % odraslih bi kupilo električno vozilo, 3,7 % ne bi kupilo električnega vozila in 18,5 % se ni odločilo.

#### 6.1.2.6. 6. vprašanje

### Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj mislite o vožnji na stekleni površini? *Vožnja je varna*



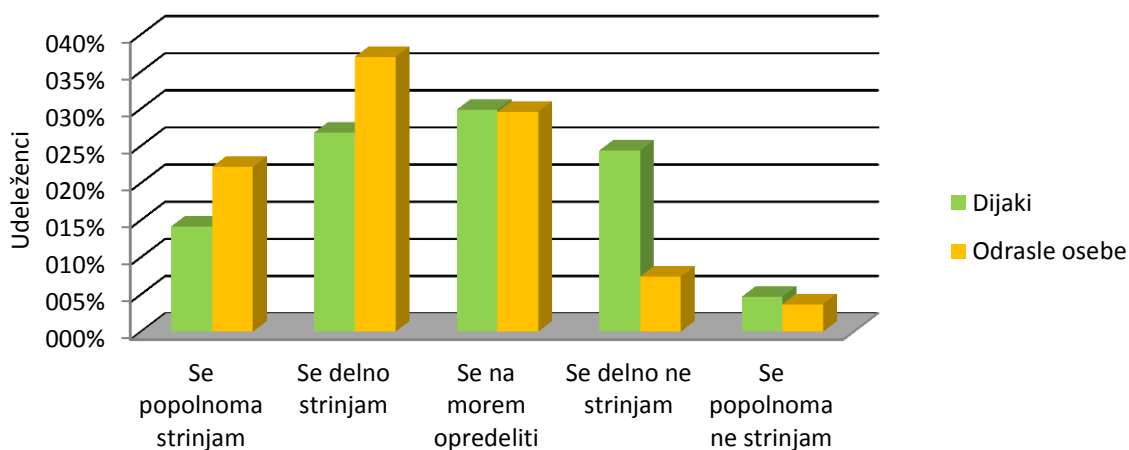
Graf 6: Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj mislite o vožnji na stekleni površini? *Vožnja je varna*

S trditvijo, da je vožnja na stekleni površini varna, se popolnoma strinja 6,3 % dijakov, delno se strinja 26,8 %, 29,1 % se ne more opredeliti, delno se ne strinja 26 % in popolnoma se ne strinja 11,8 % dijakov.

22,2 % odraslih oseb se z trditvijo popolnoma strinja, delno se strinja 33,3 %, 18,5 % se ne more opredeliti, 22,2 % se delno ne strinja in 3,7 % se popolnoma ne strinja.



**Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj mislite o vožnji na stekleni površini?  
Steklo bo zdržalo obremenitve**

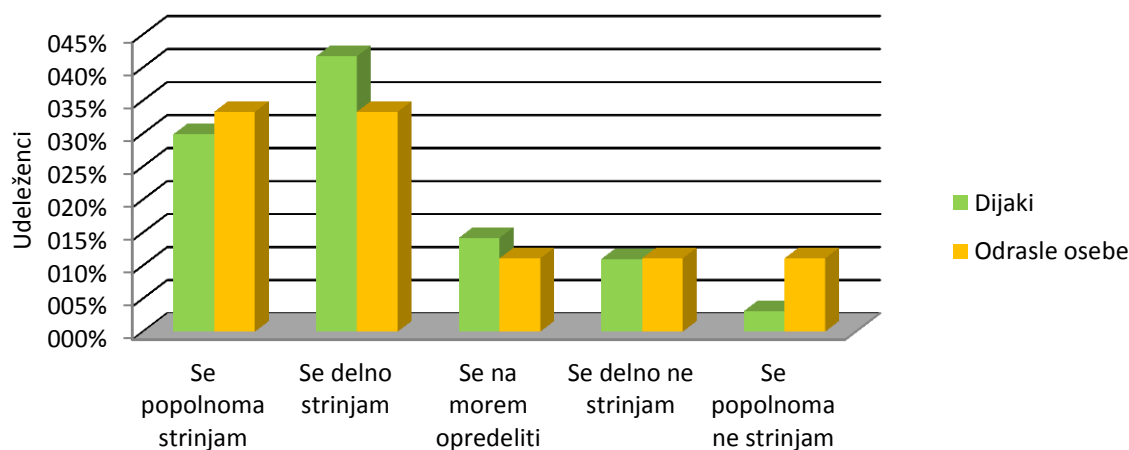


**Graf 7: Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj mislite o vožnji na stekleni površini? Steklo bo zdržalo obremenitve**

14,2 % dijakov se popolnoma strinja s trditvijo, da bo steklo zdržalo obremenitve, delno se jih strinja 26,8 %, 29,9 % se jih ne more opredeliti, delno se ne strinja 24,4 % in popolnoma se ne strinja 4,7 % dijakov.

S trditvijo se popolnoma strinja 22,2 % odraslih oseb, 37 % se jih delno strinja, 29,6 % se jih ne more opredeliti, delno se ne strinja 7,4 % in popolnoma se ne strinja 3,7 % odraslih ljudi.

**Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj mislite o vožnji na stekleni površini?  
Moteč odboj sonca od površine**



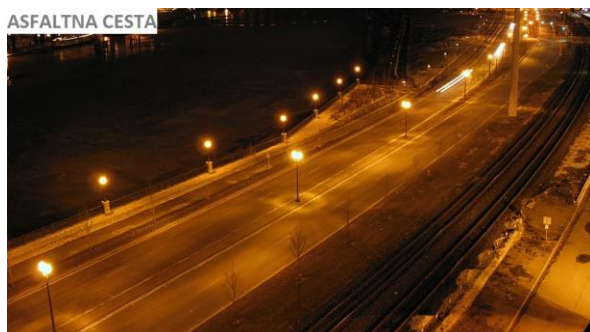
**Graf 8: Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj mislite o vožnji na stekleni površini? Moteč odboj sonca od površine**

S trditvijo, da je moteč odboj sonca od površine, se popolnoma strinja 29,9 % dijakov, delno se strinja 41,7 %, 14,2 % se ne more opredeliti, delno se ne strinja 11 % in popolnoma se ne strinja 3,1 % dijakov.

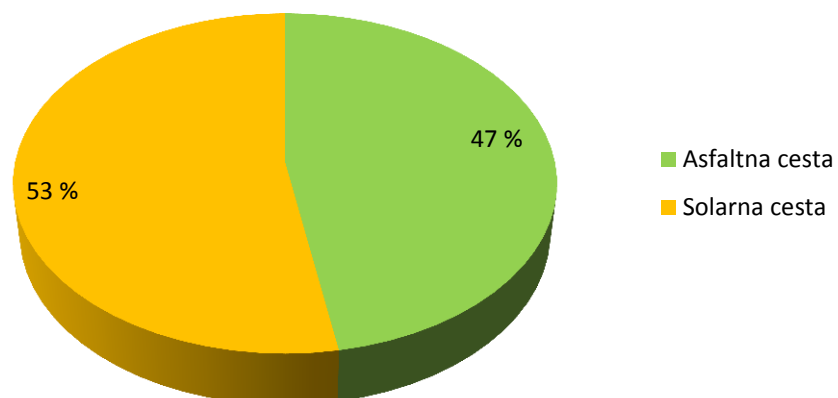
33,3 % odraslih oseb se s trditvijo strinja, delno se strinja 33,3 %, 11,1 % se ne more opredeliti, 11,1 % se delno ne strinja in 11,1 % se s trditvijo ne strinja.

### 6.1.2.7. 7. vprašanje

## Kateri način osvetljave ceste se vam zdi boljši?

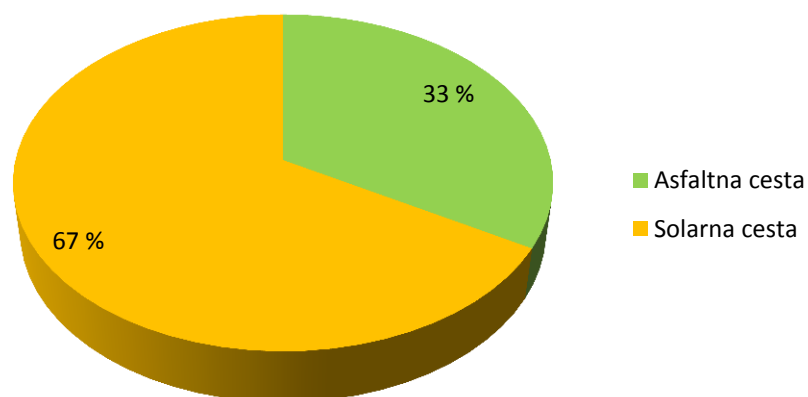


(dijaki)



Graf 9: Kateri način osvetljave ceste se vam zdi boljši? (dijaki)

(odrasle osebe)



Graf 10: Kateri način osvetljave ceste se vam zdi boljši? (odrasle osebe)

Iz rezultatov je razvidno, da se 47,2 % dijakov zdi boljši način osvetljave asfaltne ceste kot ga poznamo danes, 52,8 % pa je boljši način, ki ga uporablja solarna cesta.

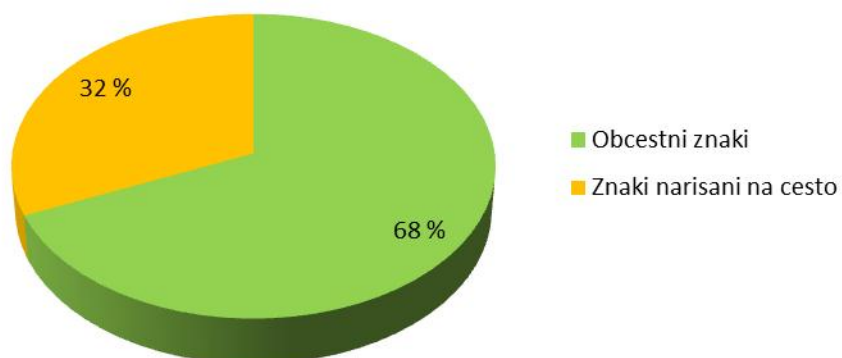
33,3 % odraslim osebam je boljši način osvetljave asfaltnih cest, 66,7 % pa je boljši način osvetljave solarne ceste.

#### 6.1.2.8. 8. vprašanje

### So boljši obcestni znaki ali znaki narisani na cesto?

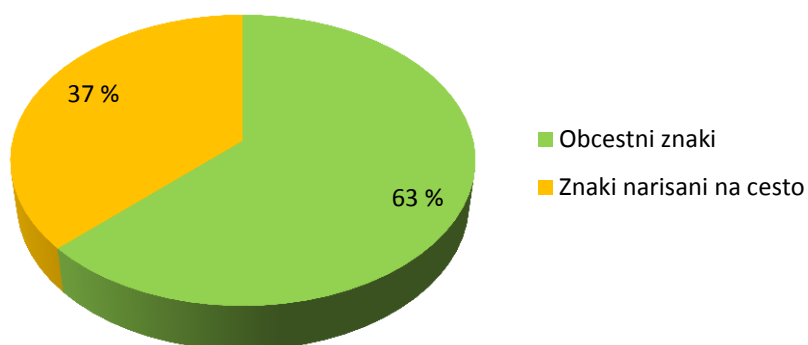


(dijaki)



Graf 11: So boljši obcestni znaki ali znaki narisani na cesto? (dijaki)

(odrasle osebe)



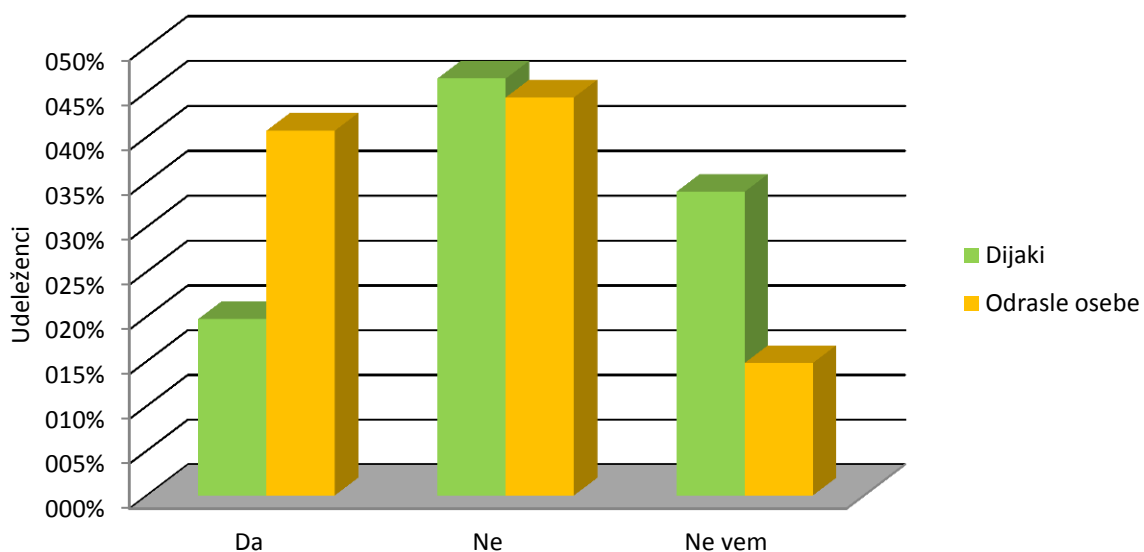
Graf 12: So boljši obcestni znaki ali znaki narisani na cesto? (odrasle osebe)

Rezultati so pokazali, da so 68,5 % dijakom boljši obcestni znaki, 31,5 % pa so boljši znaki narisani na cesto.

63 % odraslim osebam so boljši obcestni znaki, znaki narisani na cesto so pa boljši 37 % odraslim osebam.

#### 6.1.2.9. 9. vprašanje

**Vidite prihodnost Slovenije v solarnih cestah?**



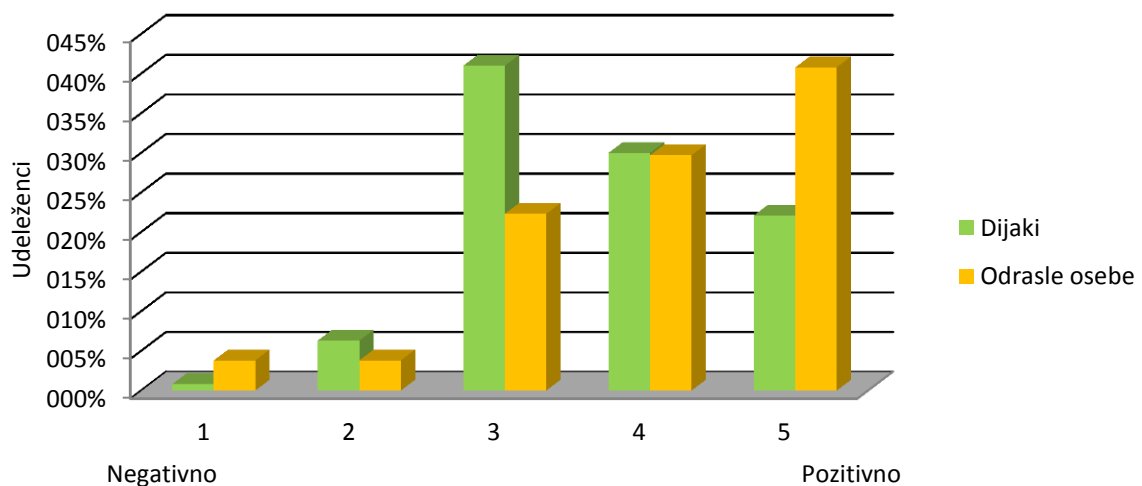
Graf 13: Vidite prihodnost Slovenije v solarnih cestah?

19,7 % dijakov je odgovorilo, da vidi prihodnost Slovenije v solarnih cestah, 46,5 % te prihodnosti ne vidi, 33,9 % dijakov pa ne ve.

40,7 % odraslih ljudi je odgovorilo, da vidi prihodnost Slovenije v solarnih cestah, 44,4 % te prihodnosti ne vidi in 14,8 % ne ve.

#### 6.1.2.10. 10. vprašanje

### Kako bi vplivala gradnja solarnih cest v Sloveniji na okolje?



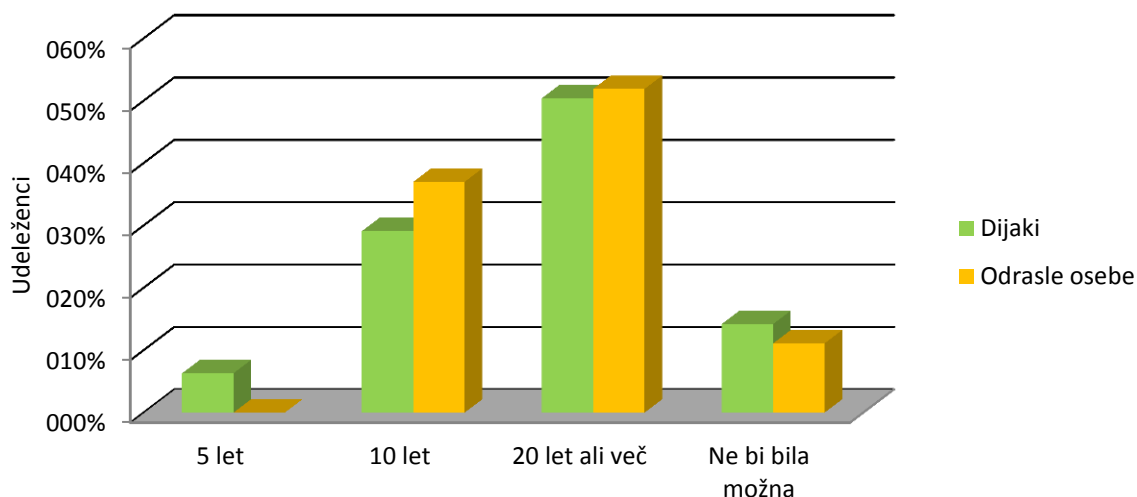
Graf 14: Kako bi vplivala gradnja solarnih cest v Sloveniji na okolje?

Iz rezultatov je razvidno, da je odgovor ena, ki pomeni, da bi imele solarne ceste popolnoma negativen vpliv v Sloveniji, izbralo 0,8 % dijakov. Odgovor dva, delno negativno, je izbralo 6,3 %, odgovor tri, ne morem se opredeliti, je izbralo 41 %. Odgovor štiri, ki pomeni delno pozitivno, je izbralo 30 % dijakov in odgovor pet, popolnoma pozitivno, pa 22,1 % dijakov.

Odgovor ena je izbralo 3,8 % odraslih oseb, odgovor dva 3,8 %, odgovor tri pa 22,3 %, odgovor štiri 29,7 % in odgovor pet 40,8 %.

### 6.1.2.11. 11. vprašanje

## V kolikšnem času bi bila možna gradnja solarnih cest v Sloveniji?



Graf 15: V kolikšnem času bi bila možna gradnja solarnih cest v Sloveniji?

6,3 % dijakov je odgovorilo na vprašanje, v kolikšnem času bi bila možna gradnja solarnih cest v Sloveniji, s pet let, 29,1 % z deset let, 50,4 % z dvajset let ali več in 14,2 % dijakov je odgovorilo, da gradnja solarnih cest v Sloveniji ne bi bila možna.

Pri odraslih osebah ni nihče izbral odgovora, da bi bila gradnje možna v času petih let, 37 % je izbralo odgovor v desetih letih, 51,9 % v dvajsetih letih ali več in 11,1 % odraslih oseb je odgovorilo, da gradnja ne bi bila možna.

### 6.1.3. Ugotovitve ankete

Večina anketirancev meni, da je najučinkovitejši alternativni vir sonce, takoj za njim pa voda. Sončno energijo uporabljamo za ogrevanje, proizvodnjo elektrike in pogon električnih vozil. Večina dijakov in odraslih oseb še ni nikoli slišala za solarne ceste.

Največ dijakov in odraslih oseb meni, da je solarna cesta cesta, ki vsebuje solarne panele in sončna elektrarna. Ti trditvi sta pravilni, pravilna je pa tudi trditev, da je solarna cesta pametna cesta. Za to trditev se ni odločil skoraj noben dijak in malo odraslih oseb.

Zanimivo je, da bi večina dijakov in odraslih oseb kupila električno vozilo in tako prispevala k ohranitvi narave. Manjši del si električnih vozil ne bi kupil in približno četrtina se ne more odločiti.

Prva plast solarne ceste je steklene cestišče. Večina odraslih meni, da je vožnja po stekleni površini solarne ceste varna in da bo zdržala vse obremenitve, večina dijakov se pa delno strinja oziroma ne strinja. Steklена površina solarne ceste je dovolj trdna in zagotavlja dovolj veliko trenje, da je vožnja varna.

Večina dijakov in odraslih se strinja, da bo moteč odboj sonca od površine ceste. Izumitelj solarne ceste navaja, da ni problema z odbojem sonca.

Večina anketiranih meni, da je boljši način osvetljave solarne ceste kot razsvetlitev ceste, ki jo poznamo danes.

Dijakom in odraslim osebam so bolj všeč obcestni znaki kot znaki narisani na cesto.

Največ dijakov in odraslih oseb meni, da ne vidijo prihodnosti Slovenije v solarnih cestah. Le 25 dijakov od 127 dijakov in približno dve petini odraslih oseb meni, da je to mogoče. S to ugotovitvijo se ne strinjava, saj je prihodnost celega sveta v energiji, pridobljeni iz alternativnih virov, in temu mora slediti tudi Slovenija.

Večina anketirancev meni, da bi gradnja solarnih cest v Sloveniji vplivala na okolje pozitivno in da bi jih lahko zgradili šele čez dvajset let ali več.

Na osnovi ankete ugotavljava, da ljudje zelo malo vedo o solarni cesti in o prednostih, ki jih prinaša. Ljudem bi morali solarne ceste bolj približati in jih ozavestiti o njihovi uporabnosti. Predvidevava, da se je večina odločila, da bi v prihodnje kupila električna vozila, ker so pridobili dovolj informacij iz javnih virov. Preko javnih virov obveščanja bi jih lahko tudi seznanjali z vsemi prednostmi solarnih cest.



## 6.2. Izdelava makete solarne ceste

### 6.2.1. Potreben material

Za izdelava makete sva potrebovala:

- kit komplet K2651 LCD panel meter Velleman,
- kit komplet K7102 detektor kovin Velleman,
- kit komplet K8048 pic programator Velleman,
- LED dioda SMD rumena v traku 3528uy-330-12vfw,
- LED dioda SMD bela-hladna v traku 3528uw-66-12vw-f/m,
- 5-krat LED dioda 5 mm dvobarvna rdeča/zelena 3pini b5-30eg,
- solarni panel 31 x 37 cm,
- lesena plošča,
- karton.



Slika 11: Detektor kovin



Slika 12: LCD zaslon



Slika 13: Programator

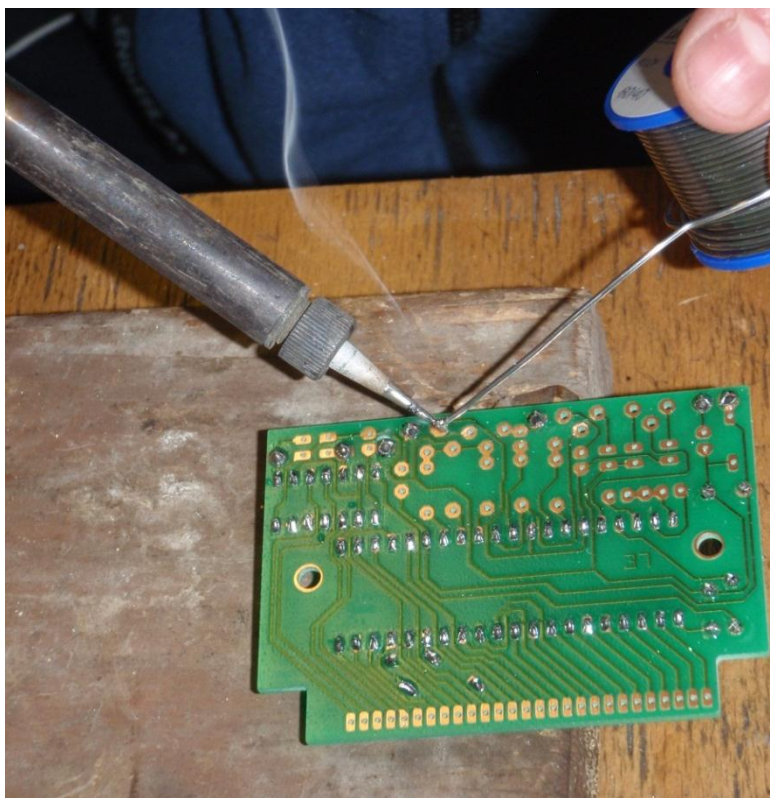
### 6.2.2. Potrebno orodje

Orodje, ki sva ga potrebovala:

- spajkalnik,
- cin,
- klešče,
- Olfa nož,
- vrtalni stroj,
- žaga,
- pile,
- smirkov papir.

### 6.2.3. Potek dela

Najprej sva se lotila sestavljanja kit kompletov. Vsako komponento sva postavila na pravo mesto (glede na načrt) in jo pritrdila s cinom. Sledila sva navodilom in začela z najmanjšo komponento in z največjo končala. Nazadnje sva vstavila čipe. Upoštevala sva tudi smer toka pri komponentah, pri katerih je to pomembno.



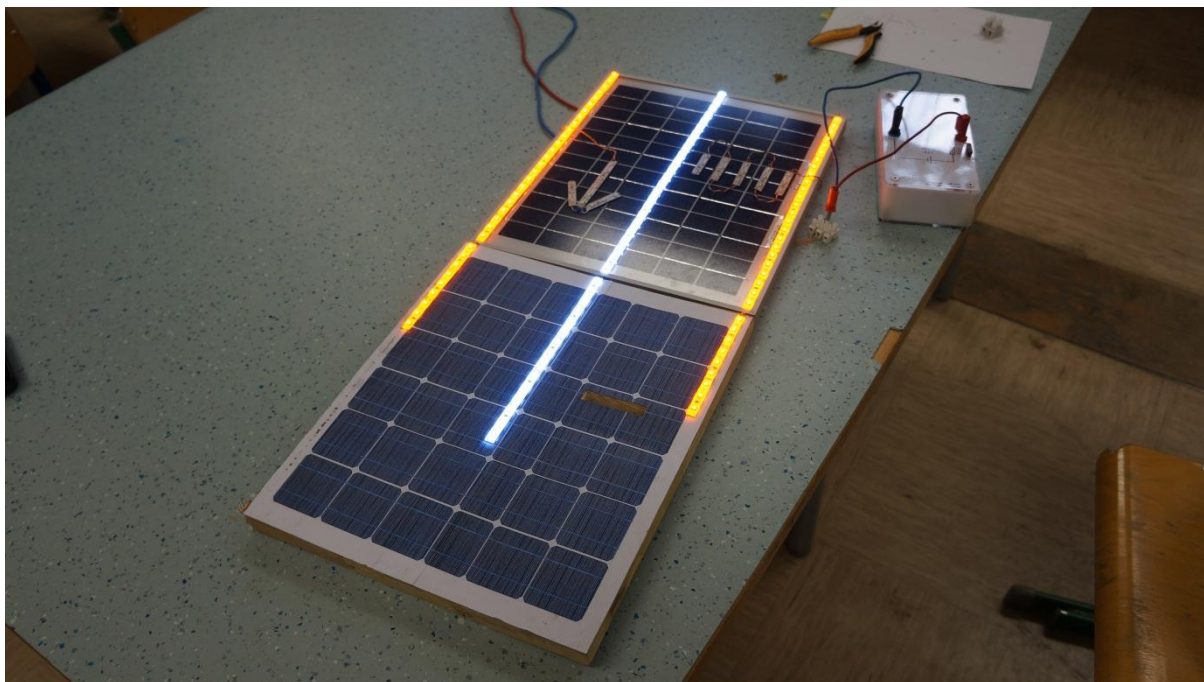
Slika 14: Spajkanje vezja

Nato sva se lotila izdelave lesene plošče, ki bo prikazovala cestišče. Vanj je bilo potrebno izvrtati in oblikovati luknjo za detektor kovin. Za dno luknje sva izrezala kos stiropora, za vrh pa kos prozorne plastike.

Ker lesena plošča predstavlja solarni panel, sva na štiri A4 liste natisnila solarni panel enake velikosti, kot je lesena plošča. Natisnjen solarni panel sva sestavila in nalepila na karton enake velikosti. Kasneje sva še vanj izrezala luknjo za detektor kovin. Natisnjen solarni panel s kartonom sva z belim lepilom za les nalepila na leseno ploščo in počakala, da se posuši.

Lotila sva se nameščanja LED trakov na solarni panel. Trakove sva narezala na zeleno dolžino in jim pritrdila kable. Iz njih sva naredila belo črto na sredini, dve oranžni črti na robovih ceste, prehod za pešce in puščico, ki nakazuje smer vožnje. Na leseni ploščadi pa sva naredila sredinsko belo črto in stranski oranžni.

Vse LED trakove, ki predstavljajo črte, sva povezala skupaj in jih priključila na akumulator.



Slika 15: LED trakovi

Prehod za pešce sva povezala z detektorjem kovin.

Pri programiranju LCD displeja so nama pomagali drugi dijaki ene od tehničnih srednjih šol v Mariboru.

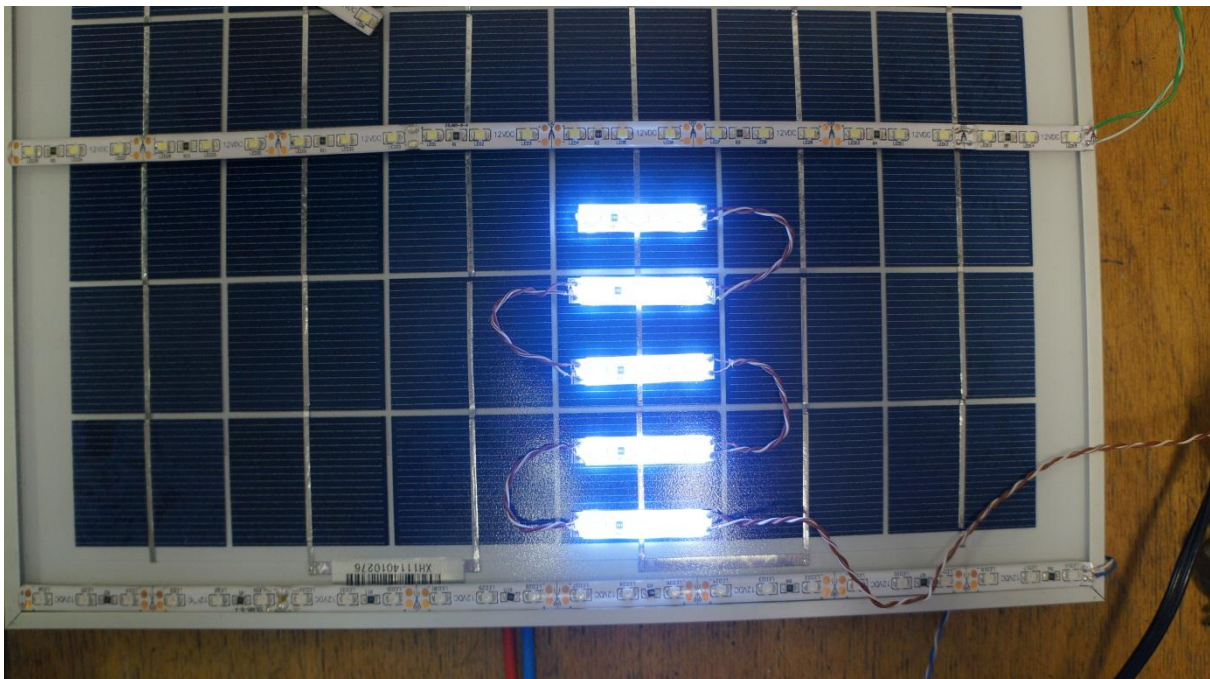
### 6.3. Delovanje makete solarne ceste

Najina maketa solarne ceste deluje tako, da solarni panel v sončnem vremenu napaja akumulator. Akumulator zmeraj napaja LED trakove in druge sisteme ceste, odvečno energijo pa bi lahko pošiljal v električno omrežje.

LED trakovi na maketi so zmeraj vklopljeni. V cesto je vgrajen detektor kovin, ki zazna približujoče se vozilo in LED trakovi, ki predstavljajo prehod za pešce, pričnejo utripati, da opozorijo voznika na pešca. Prisotnost pešca, ki namerava prečkati cesto, bomo nakazali s stikalom. Na območju prehoda za pešce bi namreč lahko vgradili senzorje sile oz. gibanja.

Prisotnost pešca na/ob prehodu bomo simulirali s tipkalom. Ob pritisku na tipko bo naš prehod za pešce začel utripati. Na drugi strani ceste je puščica, ki neprestano utripa in voznike opozarja na smer poteka prometa. Ob cesti je LCD prikazovalnik, ki prikazuje hitrostno omejitev. Hitrostno omejitev lahko spreminjamo glede na vremenske razmere, npr. ob nevarnosti poledice bo temperatura vozišča prikazana na LCD prikazovalniku.

Prevoznost ceste bomo signalizirali s semaforji. Semaforje bomo izdelali z dvobarvnimi LED diodami.



Slika 16: Prikaz delovanja LED traku

## 6.4. Solarne ceste v Sloveniji

Na Darsovi spletni strani sva poiskala tudi širino ceste, ki je znašala 3,7 m, kar je ustrezalo, saj ena solarna plošča meri v širino 3,65 m. Nato sva izračunala, da lahko v 1 km ceste (en pas) položimo 278 solarnih plošč. Cena ene plošče bi naj bila 3716 evrov, kar pomeni, da bi pri štiripasovni avtocesti plačali približno 1744 milijonov evrov, če upoštevamo štiripasovne avtoceste A1 in A2. Tukaj sva izračunala samo ceno plošč, brez predpriprav za polaganje plošč ali upoštevanja katerega koli drugega dela.

Nato sva naredila še naknadni izračun z upoštevanjem odstavnega pasu, ki skupaj z robnim pasom ter utrjeno bankino meri 4 m, kjer bi lahko položili še več plošč. Odstavni pas ima za razliko od glavnih pasov prednost v tem, da ima najmanj motečih dejavnikov, saj se redko kateri avto ali drugo prevozno sredstvo ustavi v primeru napake, vsi avtomobili vozijo po glavnih pasovih, zastoji bi ovirali plošče na glavnih pasovih. Pri odstavnih pasovih bi bila cena 802 milijonov evrov. Če upoštevamo vse pasove cest (glavni pasovi, odstavni pasovi), lahko izračunamo, da bi nas samo nakup solarnih plošč stal približno 2,5 milijarde evrov. Izračunala sva še približni letni dobiček solarnih plošč na obeh avtocestah (388 km, brez predorov) in ta je znašal 722 milijonov evrov. Če upoštevamo vložek za 388 km ceste, ki znaša 2,4 milijarde evrov samo za plošče, bi se stroški povrnili v 3 letih in 4 mesecih. Lahko pa predpostavimo, da bi samo delo stalo 5 milijonov na 1 km ceste, takrat pa si se stroški za 388 km dolgo avtocesto povrnili v 6 letih. Ta solarna cesta bi na leto proizvedla približno 1,5 milijarde kWh. Na koncu sva prišla do zaključka, da bi sprva bilo najbolje vložiti v gradnjo solarnih plošč na odstavnih pasovih, saj imajo najmanj motečih dejavnikov v primerjavi z avtocesto in hitro cesto. Slovenija ima dovolj sončnih dni na leto, da bi bil koncept solarnih cest za njo zanimiv, kar so naši izračuni tudi potrdili.

	<b>CENA (MILJONI €)</b>
<b>štiripasovna avtocesta (brez odstavnih pasov, s predori)</b>	1744
<b>Odstavni pasovi (A1+A2)</b>	802
<b>SKUPAJ</b>	2546

Tabela 4: Cene solarnih cest v Sloveniji



Slika 17: Koncept solarne ceste (VIR: [external.ak.fbcdn.net](http://external.ak.fbcdn.net))

## 6.5. Družbena odgovornost

Solarna cesta je eden izmed redkih virov energije, ki ne škoduje naravi in okolju nasploh in je tudi obnovljiv vir energije, kjer nismo vezani na izvoz ali črpanje vira (fosilna goriva). Za razliko od jedrske energije ni nobene nevarnosti eksplozij ali radioaktivnosti. Solarne panele lahko postavljamo, kjer hočemo, edini pogoj je, da je dovolj sončne svetlobe. Zaradi lahke zamenjave solarnih plošč ne bi potrebovali toliko strojev, s katerimi zaradi izpustov ogljikovega dioksida onesnažujemo okolje, kot pri asfaltnih cestah. V prihodnosti bo solarna cesta spodbujala nakup električnih prevoznih sredstev, saj se bodo ta lahko napajala preko solarne ceste kar med vožnjo. To bi pomenilo še večjo zmanjšanje izpustov ogljikovega dioksida. Uvedba solarnih cest in njena uporaba je v prihodnosti vsekakor ena izmed možnosti, kako ohraniti naravo.

## 7. UGOTOVITVE

Vsaka ideja je podvržena kritiki, prav tako ideja o solarnih cestah. Glavne pripombe različnih strokovnjakov so naslednje:

- pomisleki, da industrija lahko proizvede dovolj močne panele za vožnjo težkih tovornjakov, ki bi trajali najmanj 20 let;
- pomisleki, da bi se lahko proizvedli paneli s primerno ceno;
- nezmožnost postavljanja panela pod dobrim kotom proti Soncu in s tem majhen izkoristek;
- paneli bi se hitro umazali in poškodoval bi se zgornji sloj stekla, kar bi dodatno zmanjšalo uporabnost;
- nezmožnost ohranjanja ceste popolnoma suhe;
- v mestih je preveč vozil, kar pomeni, da bi paneli bili prekriti.

Prednosti:

- ne bomo potrebovali dodatne površine Zemlje za sončne elektrarne;
- bili bi neodvisni od fosilnih goriv;
- zagotovljena nova delovna mesta;
- učinkovita in varna potovanja z električnimi vozili;
- vgrajeni senzorji bi zaznali živali in ljudi na cestišču ter opozorili voznika, da je ovira na cesti (signalizacija v cestišču ali signalne table);
- grelni elementi, ki avtomatsko talijo sneg in led;
- LED tehnologija odpravi potrebo po barvanju cestišča in se lahko uporabi za prikazovanje opozoril in za usmerjanje prometa;
- dvojna uporabnost cestišča, vožnja in proizvodnja elektrike;
- omrežje, ki lahko shranjuje in usmerja energijo tja, kamor je ta potrebna;
- realizacija ideje „pametne ceste“.

Dodatni predlogi:

- strehe nad cesto (solarna kača), ki bi bile opremljene s paneli (možnost nameščanja nagiba panela, cesta bi bila prekrita in s tem varnejša itd.);



- solarni paneli med progami na železnici in na kolesarskih stezah (paneli bi bili manj obremenjeni in s tem bi se doba trajanja podaljšala);
- paneli na parkiriščih in pločnikih ter ostalih površinah, ki niso vozne.

## 8. ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi sva teoretično in praktično prikazala teoretične možnosti zamenjave asfaltnih površin v Sloveniji s cestiščem iz solarnih panelov.

Promet z vozili po takšnih cestah bi bil varnejši, kajti izboljšala bi se komunikacija med vozilom, cesto in voznikom. Cesta in železnica ne bi bile le dragi objekti, v katere se nenehno vlagajo sredstva, temveč bi postale proizvodna enota, ki bi s svojim obstojem ustvarjala dobiček, zaradi česar bi se njeni lastniki trudili, da jo ohranijo brezhibno. Solarna tehnologija na cesti obljublja, da se bo proizvedla čista električna energija; da se bo zamenjal prenos električne energije in informacijske infrastrukture; omogočila bi posredovanje informacij o varnosti vožnje in uveljavil bi se lahko koncept „pametne ceste“. Slovenija ima dovolj sončnih dni na leto, da bi bil koncept solarnih cest za njo zanimiv, kar so naši izračuni tudi potrdili.

## 9. VIRI IN LITERATURA

### 9.1. Pisni viri

Markoc L., S. Možnost aplikacije "solarnih cest" na slovenskem cestnem in železniškem omrežju. (Pridobljeno 18. 1. 2013). Dostopno na naslovu: <http://www.drc.si/Portals/6/prispevki/VI/1136-1142.pdf>

Sprehod skozi čas. (Pridobljeno 20. 1. 2013). Dostopno na naslovu: <http://www.pvresources.com/Introduction/Historicaloverview/Zgodovina.aspx>

Tabela Lastnosti materialov sončnih celic: [http://www.pv-platforma.si/sPogosta\\_vprasanja.html](http://www.pv-platforma.si/sPogosta_vprasanja.html) (Pridobljeno 20. 1. 2013).

Sončne celice. Dostopno na naslovu: [http://student.fnm.uni-mb.si/~tkonecnik/index.php?option=com\\_content&view=article&id=52:sonne-celice&catid=40:sonna-energija&Itemid=69](http://student.fnm.uni-mb.si/~tkonecnik/index.php?option=com_content&view=article&id=52:sonne-celice&catid=40:sonna-energija&Itemid=69) (Pridobljeno 20. 1. 2013).

Delovanje sončne celice. (Pridobljeno 18. 1. 2013). Dostopno na naslovu: <http://www.gorenjske-elektrarne.si/Nase-elektrarne/Soncne-elektrarne/Delovanje-soncne-celice>

Dars. NACIONALNI PROGRAM IZGRADNJE AVTOCEST.(Pridobljeno 18. 1. 2013). Dostopno na naslovu: [http://www.dars.si/Dokumenti/O\\_avtocestah/Nacionalni\\_program\\_izgradnje\\_avtocest\\_25.aspx](http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Nacionalni_program_izgradnje_avtocest_25.aspx)

Dars. PREDORI. (Pridobljeno 18. 1. 2013). Dostopno na naslovu: [http://www.dars.si/Dokumenti/O\\_avtocestah/Objekti\\_na\\_avtocestah/Predori\\_85.aspx](http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Objekti_na_avtocestah/Predori_85.aspx)

Dars. Predor Šentilj-Pesnica. (Pridobljeno 18. 3. 2013). Dostopno na naslovu:

[http://www.dars.si/Dokumenti/Obstojece AC in HC/A1\\_sentilj - Srmin\\_118.aspx](http://www.dars.si/Dokumenti/Obstojece_AC_in_HC/A1_sentilj_-_Srmin_118.aspx)

Dars. Upravljanje. (Pridobljeno 18. 1. 2013). Dostopno na naslovu:

[http://www.dars.si/Dokumenti/O\\_avtocestah/Vzdrzevanje AC in HC/Upravljanje\\_448.aspx](http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Vzdrzevanje_AC_in_HC/Upravljanje_448.aspx)

Dars. Vransko-Blagovica. (Pridobljeno 18. 1. 2013). Dostopno na naslovu:

[http://www.dars.si/Dokumenti/2 AC HC v gradnji in obstojece/A1/Vransko Blagovica/Vransko%20-%20Blagovica.pdf](http://www.dars.si/Dokumenti/2_AC_HC_v_gradnji_in_obstojece/A1/Vransko_Blagovica/Vransko%20-%20Blagovica.pdf)

Vpliv odklona na moč fotonapetostnega modula. (Pridobljeno 21. 1. 2013). Dostopno na naslovu:

[http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane\\_naloge/1041\\_378730\\_3\\_.pdf](http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane_naloge/1041_378730_3_.pdf)

## 9.2. Slikovni viri

Slika 1: Sončni kolektorji in solarni paneli. Dostopno na naslovu:

<http://toplotnatehnika.blog.siol.net/files/2011/03/fotovoltaika-spitia-11.jpg>

Slika 2: Prikaz izkoristka valovne dolžine pri določeni gostoti sevanja. Dostopno na naslovu:

[http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane\\_naloge/1041\\_378730\\_3\\_.pdf](http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane_naloge/1041_378730_3_.pdf)

Slika 3: Sončna elektrarna. Dostopno na naslovu:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/45/Giant\\_photovoltaic\\_array.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/45/Giant_photovoltaic_array.jpg)

Slika 4: Kolektorji iz monokristalnih in plikristalnih celic. Dostopno na naslovu:

<http://www.bisol.com/si/mono-in-polikristalni-fotonapetostni-moduli>

Slika 5: Izdelava PV sistema. Dostopno na naslovu:

[http://www2.kostak.si/Dokumenti/Delavnica-ObnovljiviViriEnergijeNaPodezelju-Fotovoltaika\\_20100407.pdf](http://www2.kostak.si/Dokumenti/Delavnica-ObnovljiviViriEnergijeNaPodezelju-Fotovoltaika_20100407.pdf)

Slika 6: Solarna kača. Dostopno na naslovu:

<http://inhabitat.com/massive-solar-serpent-winds-along-the-santa-monica-freeway/>

Slika 7: Ideja Scotta Brusowa. Dostopno na naslovu: <http://www.enviowarrior.com/roads-paved-with-gold/>

Slika 8: Zgradba solarne ceste. Dostopno na naslovu: <http://solarroadways.com/intro.shtml>

Slika 9: Prototip solarne ceste. Dostopno na naslovu:

<http://solarroadways.com/prototype.shtml>

Slika 10: Slovensko omrežje avtocest. Dostopno na naslovu:

[http://beta1.finance-on.net/pics/cache\\_Sa/Sateliti\\_kamioni\\_slovenija.1215008772.JPG](http://beta1.finance-on.net/pics/cache_Sa/Sateliti_kamioni_slovenija.1215008772.JPG)

Slika 17: Koncept solarne ceste. Dostopno na naslovu:

[http://external.ak.fbcdn.net/safe\\_image.php?d=AQAUY-UBcQIgKIX&url=http%3A%2F%2Fb.vimeocdn.com%2Fts%2F276%2F883%2F276883926\\_1280.jpg&jq=100](http://external.ak.fbcdn.net/safe_image.php?d=AQAUY-UBcQIgKIX&url=http%3A%2F%2Fb.vimeocdn.com%2Fts%2F276%2F883%2F276883926_1280.jpg&jq=100)

Slike, ki nimajo citiranega vira, so iz lastnega arhiva.

### 9.3. Viri tabel

Tabela 1: Vrste snovi za izdelavo solarnih panelov. Dostopno na naslovu:

[http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane\\_naloge/1041\\_378730\\_3\\_.pdf](http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane_naloge/1041_378730_3_.pdf)

Tabela 2: Prikaz učinkovitosti celice glede na vreme. Dostopno na naslovu:

[http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane\\_naloge/1041\\_378730\\_3\\_.pdf](http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane_naloge/1041_378730_3_.pdf)

Tabela 3: Prikaz naklonskih kotov. Dostopno na naslovu:

[http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane\\_naloge/1041\\_378730\\_3\\_.pdf](http://mladiraziskovalci.scv.si/admin/file/oddane_naloge/1041_378730_3_.pdf)

Tabele, ki nimajo citiranega vira, so iz lastnega arhiva.

### 9.4. Viri grafov

Vsi grafi so iz lastnega arhiva (podatki so vzeti iz mojaanketa.si).

## 10. PRILOGA

### 10.1. Anketa: Solarne ceste (za odrasle)

Pozdravljeni,  
sva dijaka srednje šole. Zanimajo naju solarne ceste. Prosiva vas, da izpolnite vprašalnik in nama s tem pomagate do informacij.  
Že v naprej se zahvaljujema za sodelovanje.

Vnesite svoje informacije:

Spol

Starost

1. Kateri alternativni vir je po vašem mnenju najučinkovitejši za pridobivanje električne energije?

- Sonce
- Voda
- Veter

2. Na kakšne načine lahko izkoriščamo sončno energijo?

3. Ste že slišali za solarne ceste?

- Da
- Ne

4. Kaj je po vašem mnenju solarna cesta? (več možnih odgovorov)

- Cesta obsijana s soncem
- Cesta, ki vsebuje solarne panele
- Pametna cesta
- Sončna elektrarna
- Drugo

Solarna cesta je vozišče, kjer bi na tla položili več posebej oblikovanih solarnih panelov po katerih bi lahko vozila cestna vozila, obenem pa bi s temi paneli proizvajali električno energijo (za javno razsvetljava, gospodinjstva...).

5. Okolju najprijaznejša so električna vozila. Bi kupili električno vozilo in tako prispevali k ohranitvi narave?

- Da  
 Ne  
 Ne vem

6. Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj mislite o vožnji na stekleni površini? Označite polje.

	Se popolnoma strinjam	Se delno strinjam	Se ne morem opredeliti	Se delno ne strinjam	Se popolnoma ne strinjam
Vožnja je varna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Steklo bo zdržalo obremenitve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Moteč odboj sonca od površine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Kateri način osvetljave ceste se vam zdi boljši?





8. So boljši obcestni znaki ali znaki narisani na cesto?



- Obcestni znaki
- Znaki narisani na cesto

9. Vidite prihodnost Slovenije v solarnih cestah?

- Da
- Ne
- Ne vem

10. Kako bi vplivala gradnja solarnih cest v Sloveniji na okolje?

- 1 2 3 4 5
- Negativno      Pozitivno

11. V kolikšnem času bi bila možna gradnja solarnih cest v Sloveniji?

- 5 let
- 10 let
- 20 let ali več
- Ne bi bila možna

## 10.2. Anketa: Solarne ceste (za dijake)

Zdravo,  
sva dijaka srednje šole. Zanimajo naju solarne ceste. Prosiva te, da izpolniš vprašalnik in nama s tem pomagaš do informacij.  
Že v naprej se zahvaljujemo za sodelovanje.

Vnesite svoje informacije:

Spol

Starost

1. Kateri alternativni vir je po tvojem mnenju najučinkovitejši za pridobivanje električne energije?

- Sonce
- Voda
- Veter

2. Na kakšne načine lahko izkoriščamo sončno energijo?

3. Si že slišal/-a za solarne ceste?

- Da
- Ne

4. Kaj je po tvojem mnenju solarna cesta? (več možnih odgovorov)

- Cesta obsijana s soncem
- Cesta, ki vsebuje solarne panele
- Pametna cesta
- Sončna elektrarna
- Drugo

Solarna cesta je vozišče, kjer bi na tla položili več posebej oblikovanih solarnih panelov po katerih bi lahko vozila cestna vozila, obenem pa bi s temi paneli proizvajali električno energijo (za javno razsvetljava, gospodinjstva...).

5. Okolju najprijaznejša so električna vozila. Bi kupil/-a električno vozilo in tako prispevali/-a k ohranitvi narave?

- Da  
 Ne  
 Ne vem

6. Površina solarne ceste je narejena iz stekla. Kaj misliš o vožnji na stekleni površini? Označi polje.

	Se popolnoma strinjam	Se delno strinjam	Se ne morem opredeliti	Se delno ne strinjam	Se popolnoma ne strinjam
Vožnja je varna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Steklo bo zdržalo obremenitve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Moteč odboj sonca od površine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Kateri način osvetljave ceste se ti zdi boljši?



8. So boljši obcestni znaki ali znaki narisani na cesto?



- Obcestni znaki
- Znaki narisani na cesto

9. Vidiš prihodnost Slovenije v solarnih cestah?

- Da
- Ne
- Ne vem

10. Kako bi vplivala gradnja solarnih cest v Sloveniji na okolje?

- 1   2   3   4   5
- Negativno      Pozitivno

11. V kolikšnem času bi bila možna gradnja solarnih cest v Sloveniji?

- 5 let
- 10 let
- 20 let ali več
- Ne bi bila možna