

# Poslovni model i tehno ekonomska analiza integracije fotonaponskih sustava s baterijama u otočnim kućanstvima

---

Ključević, Lucijan

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:448855>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-15**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Lucijan Ključević**

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr.sc. Goran Krajačić, dipl. ing.

Student:

Lucijan Ključević

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se Goranu Krajačiću i asistentu Nikoli Mataku na stručnoj i nesebičnoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

Lucijan Ključević



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
 procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Lucijan Ključević** Mat. br.: 0036472180

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Poslovni model i tehno ekonomska analiza integracije fotonaponskih sustava sa baterijama u otočnim kućanstvima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Business model and techno economic analysis of integration of PV system with batteries in the island households**

Opis zadatka:

S konstantnim padom cijena fotonaponskih sustava i baterija za skladištenje električne energije postavlja se pitanje u kojem trenutku će kombinacija tih dviju tehnologija proizvoditi električnu energiju povoljnije od cijene po kojoj je potrošači kupuju iz mreže. U zadatku je potrebno osmisliti poslovni model za integraciju fotonaponskih sustava s baterijama u kućanstvima na otocima te ga usporediti s modelom u kojem bi se skladištenje energije radilo na razini distribucijske mreže u bateriji kapaciteta 1 MWh. Kapacitet kućnih baterija potrebno je izabrati iz ponude tržišno dostupnih baterija u rasponu od 3,5 kWh do 20 kWh (npr. *Tesla Powerwall* ili sl.), a model je potrebno primijeniti na primjeru otoka Mljeta. Izradu poslovnog modela potrebno je popratiti odgovarajućom tehno ekonomskom analizom. Poslovni model potrebno je izraditi i prikazati na tzv. platnu poslovnog modela (engl. *Business model Canvas*). U radu je potrebno:

1. Napraviti pregled tehnologija za proizvodnju električne energije pomoću fotonaponskih sustava te pregled tehnologija za skladištenje energije u baterijama.
2. Napraviti poslovni model za integraciju fotonaponskih sustava i baterija u kućanstvima te ga prikazati na platnu poslovnog modela.
3. Napraviti poslovni model za integraciju fotonaponskih sustava u kućanstvima i baterije na mreži te ga prikazati na platnu poslovnog modela.
4. Poslovne modele popratiti tehno ekonomskom analizom uz diskontnu stopu od 5% te životni vijek opreme od 10, 15 i 20 godina.
5. Potrebno je usporediti poslovne modele te pronaći specifičnu cijenu baterije uz koju se postiže isplativost sustava uz ranije zadane parametre, ako uz trenutnu cijenu baterijskog sustava to nije moguće ostvariti.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
24. travnja 2017.

Rok predaje rada:  
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.  
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:  
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.  
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Goran Krajačić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
SAŽETAK.....	IV
SUMMARY .....	VI
1. UVOD.....	1
2. TEORETSKA OSNOVA .....	4
2.1. Fotonaponski sustavi.....	4
2.1.1. Fizikalne osnove i materijali za izradu fotonaponskih ćelija .....	4
2.1.2. Podjela fotonaponskih sustava .....	6
2.1.2.1. Samostalni fotonaponski sustavi.....	7
2.1.2.2. Fotonaponski sustavi priključeni na mrežu.....	8
2.2. Baterije .....	9
2.2.1. Vrste baterija za fotonaponske sustave.....	9
2.3. Poslovni model.....	12
3. METODE.....	14
3.1. Potrošnja električne energije u kućanstvima .....	14
3.2. Platno poslovnog modela (engl. Business model canvas).....	15
3.3. Shema sustava .....	17
3.3.1. Fotonaponski sustav u kojem je baterija u kućanstvu .....	17
3.3.2. Fotonaponski sustav u kojem je baterija na mreži .....	18
4. REZULTATI .....	19
4.1. Poslovni model za integraciju fotonaponskih sustava i baterija .....	19
4.2. Tehno ekonomska analiza .....	27
5. ZAKLJUČAK.....	33
LITERATURA.....	34
PRILOZI.....	37

---

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Solarna ćelija od bakar-indij-diselenida (CIS) (lijevo), amorfn silicijeva ćelija (sredina) te solarna ćelija od kadmijeva telurida (CdTe) (desno) [1].....	6
Slika 2.	Podjela fotonaponskih sustava [25].....	7
Slika 3.	Temeljne komponente samostalnog fotonaponskog sustava.....	8
Slika 4.	Temeljne komponente fotonaponskog sustava priključenog na mrežu [29].....	9
Slika 5.	Karakteristični uzorak dnevnih tokova električne energije u kućanstvu [45].....	15
Slika 6.	Platno poslovnog modela (engl. business model canvas) .....	17
Slika 7.	Shema sustava u kojem je baterija u kućanstvu .....	17
Slika 8.	Shema fotonaponskog sustava u kojem je baterija na mreži.....	18
Slika 9.	Otok Mljet [2].....	19
Slika 10.	Platno poslovnog modela (engl. business model canvas) .....	19
Slika 11.	Cash flow kroz godine tvrtke A i tvrtke B za 14 kWh po kućanstvu.....	31
Slika 12.	Cash flow kroz godine tvrtke B za kapacitet baterija od 7 kWh, 10 kWh te 14 kWh po kućanstvu .....	31

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Komponente poslovnog plana (Morris et al. 2015).....	13
Tablica 2. Parametri tehno ekonomske analize .....	28
Tablica 3. Cash flow tablica za FN s baterijom za svako kućanstvo zasebno .....	29
Tablica 4. Cash flow tablica za FN s baterijom na mreži za 7 kWh po kućanstvu .....	29
Tablica 5. Cash flow tablica za FN s baterijom na mreži za 10 kWh po kućanstvu .....	30
Tablica 6. Cash flow tablica za FN s baterijom na mreži za 14 kWh po kućanstvu .....	30
Tablica 7. Cijena električne energije pri kojoj je sustav isplativ.....	32



---

**SAŽETAK**

U ovom radu se kroz poslovni model i tehno ekonomsku analizu razmatra integracija fotonaponskih sustava s baterijom na mreži te s baterijom u svakom kućanstvu posebno za otok Mljet. U prvom dijelu rada se daje teoretska osnova fotonaponskih sustava i baterija te se objašnjava značaj poslovnog modela. Zatim se u drugom dijelu rada pokazuje kako izgleda tipična potrošnja električne energije tijekom dana te se prikazuju sheme spajanja baterija kada je baterija na mreži i kada je baterija u svakom kućanstvu posebno, dok se u trećem poglavlju prikazuje poslovni model na platnu poslovnog modela (engl. *business model canvas*) te se razrađuje i objašnjava za svaki segment poslovnog plana. Unutar trećeg poglavlja radi se tehno ekonomska analiza za životni vijek opreme od 10, 15 i 20 godina. Za trenutne cijene baterija za navedene životne vjekove opreme projekt je neisplativ. Projekt će biti isplativ ukoliko se cijene baterija budu smanjivale što će se zasigurno događati tijekom sljedećih godina. Naime, baterije kao i ostale tehnologije slijede krivulju iskustva, odnosno što se više baterija proizvede to proizvođači postaju bolji u njihovoj izradi te im cijena pada [3].

Ključne riječi: fotonaponski sustavi, baterije, poslovni model, *business model canvas*, tehno ekonomska analiza

---

**SUMMARY**

The integration of solar panels coupled with batteries on grid and batteries in every household separately for the island Mljet will be analysed in this paper through business model and techno economic analysis. In the first part of the paper a theoretical basis of photovoltaic systems and batteries will be given and the importance of the business model will be explained. In the second part of the paper a typical electrical use in households through the day will be analysed and configurations of batteries on grid and for batteries in every household separately will be given, while in the third part of the paper a business plan will be given on a business model canvas with explanations for every segment of the business plan. In this part of the paper, results of a techno economic analysis will be given for the expected lifetime of the equipment of 10, 15 and 20 years. The project for those expected lifetimes of the equipment is not profitable. It will be profitable if the prices of the batteries will decrease through time what will certainly happen in the next years because batteries, as other technologies also, follow the experience curve. This means that as the number of made products grows, manufacturers became more mature in making the product and the prices decrease [1].

Key words: photovoltaic systems, battery, business model, business model canvas, techno economic analysis

---

## POPIS OZNAKA

<b>Oznaka</b>	<b>Opis</b>
VRFB	<i>Vanadij redox flow battery</i>
FN	Foto napon
PPA	<i>Power purchase agreement</i>
IRR	<i>Opis oznake</i>
DC	<i>Direct current</i>
AC	<i>Alternating current</i>
NPV	<i>Net present value</i>

## 1. UVOD

U današnje vrijeme više od 80 % energije se dobiva iz fosilnih goriva što ima nedostataka. Jedan od njih je nesigurnost u opskrbi radi političkih nesuglasica jer se najveće rezerve goriva nalaze u svega par država [4], dok je najveći nedostatak, u ekološkom smislu, ispuštanje stakleničkih plinova koji nastaju izgaranjem goriva te njihova koncentracija postepeno raste [5]. Staklenički plinovi mijenjaju apsorpciju i emisiju radijacije planeta Zemlje te su najvjerojatnije glavni uzrok vidljivog globalnog zatopljenja koje može imati loše posljedice po ljude i ekosisteme [5]. Kako bi se riješili problemi povezani s korištenjem fosilnih goriva, države potiču energetska efikasnost i uporabu obnovljivih izvora energije. Europska unija je za 2020. postavila takozvane 20/20/20 klimatske i energetske ciljeve kako bi se smanjila emisija stakleničkih plinova za 20 % (u usporedbi sa vrijednostima 1990. godine), povećao udio obnovljivih izvora energije u cjelokupnoj potrošnji energije za 20 % kao i povećala energetska efikasnost za 20 % [6].

Varijabilnost je jedan od najvećih problema obnovljivih izvora energije kao npr. fotonaponskih sustava [7]. Tako su fotonaponski sustavi ovisni o sunčevoj radijaciji koja se mijenja sa vremenom i ovisni su o drugim nepredvidljivijim pojavama kao što su oblaci. Ova varijabilnost ima za posljedicu razliku između proizvodnje i potrošnje električne energije [8]. Kako bi se riješio problem varijabilnosti postoji nekoliko mogućnosti. Varijabilni izvori mogu se dopuniti drugim varijabilnim izvorima energije koji imaju slabu korelaciju u proizvodnji (npr. fotonaponski sustavi koji su geografski raspršeni) [9]. Potreba se može prilagoditi dostupnoj mogućoj opskrbi, što se naziva upravljanje potražnjom. I na posljetku, energija se može spremirati. Tim načinom se potrošnja energije odvaja od proizvodnje [10].

Upravljanje potražnjom energije može igrati ulogu u smanjivanju vrhunaca potrošnje električne energije, no mogućnost povećanja samodostatnosti je zasad limitirano zbog smanjenog angažmana potrošača, postojanja mnogobrojnih perioda niske potrošnje i zbog poteškoća povezanih sa automatizacijom takve potrošnje [11]. Ne očekuje se da će se uporabom električnih automobila značajno promijeniti upravljanje potražnjom. Naime, mala je korelacija proizvodnje energije fotonaponskim panelima i punjenja električnih vozila u kućanstvima, iako bi to moglo igrati značajnu ulogu u javnom i uslužnom sektoru [12]. Povećana uporaba električne energije za grijanje i hlađenje u kućanstvima pruža veću fleksibilnost [13].

Distribuirana pohrana energije će postati sve prisutnija s rastućom važnosti distribuirane proizvodnje električne energije (u mnogim državama fotonaponski sustavi su mali sustavi sa

svoga par kW snage [14]) i građevinama kao jednim od najvećih potrošača energije u modernom društvu (stambeni i tercijarni sektor odgovorni su za potrošnju 41 % ukupne energije u EU u 2013. godini [15]). Ukupni instalirani kapacitet fotonaponskih sustava u svijetu stalno raste i dostigao je oko 303 GW instaliranog kapaciteta krajem 2016. godine [16], dok je u EU zasluge za takav rast instaliranih fotonaponskih sustava najvećim dijelom može se pripisati državnim poticajima koji imaju za posljedicu rast potražnje fotonaponskih sustava, a to ima za posljedicu pad njihove cijene [17]. Smanjivanjem cijena fotonaponskih sustava, cijena električne energije dobivena iz njih u nekim područjima postala je jeftinija od cijene iz mreže. Paritet s mrežom zajedno sa ekonomskom krizom potakli su vlade da smanje poticaje u tom sektoru, najviše u vidu *feed in tarife* [11].

Povećanje udjela fotonaponskih sustava interferira sa normalnim radom mreže navodeći operatore da limitiraju maksimalnu preuzetu snagu koja je u sustavu *feed in tarife* [11] [17]. Za distribucijsku mrežu u kojoj je priključak za proizvodnju na istom mjestu gdje i priključak potrošnje vrijedi da ubacivanje električne energije u mrežu dobivene fotonaponskim sustavima dovodi do lokalne promjene napona i iskrivljenja strujnih i naponskih valnih funkcija (harmonija) koji mogu prijeći određene energetske distribucijske standarde [9]. Za velike ulazne iznose fotonaponskih sustava tok električne energije u pod centralu može biti preokrenut utječući na mrežne naponske regulatore koji su dizajnirani za jednosmjerne tokove i naposljetku uključivanjem zaštitnih mehanizama se od spaja fotonaponski sustav [9]. To je posebno važno za fotonaponske sustave kod kojih se izlazne vrijednosti brzo mijenjaju zbog atmosferskih uvjeta dovodeći do treperenja [9]. Na višoj razini mala inercija energije fotonaponskih sustava utječe na držanje mreže u ravnoteži [9]. Svi navedeni problemi se mogu riješiti limitiranjem ubacivanja energije iz fotonaponskih sustava u distribucijsku niskonaponsku mrežu [9].

Mnogo mjera je prihvaćeno kako bi se promoviralo korištenje obnovljivih izvora energije, što ima za posljedicu povećanje instaliranog kapaciteta i smanjivanje cijene opreme jer proizvođači rade veće serije uz brži razvoj novih tehnologija [10]. Manji troškovi povezani sa dostupnošću manjih sustava dovode do povećanog kapaciteta distribuiranih energetskih izvora što narušava dosadašnji model energetskih sustava [18]. Kako stambeni sektor ima velik udio u potrošnji ukupno proizvedene energije [19] skupa sa povećanom distribuiranom proizvodnjom očekuje se da raspoređena energetska pohrana u objektima postane sve prisutnija [20]. U novije vrijeme uvode se poticajne politike potičući distribuirane sustave za pohranu energije. U 2013. godini, Njemačka je uvela poticajni program za distribuirane fotonaponske sustave skupa sa sustavima za pohranu električne energije što je smanjilo cijenu kao što se ranije dogodilo sa

fotonaponskim sustavima [21]. Ponuđeni poticaji su osmišljeni kako bi smanjili cijenu, ali u početku su se sastojali od nisko kamatnog zajma i rabata na troškove. Čak do 30 % troškova sustava ili 660 EUR/kW za sustave do 30 kW [21]. Švedska je također lansirala poticajni program za kućne sustave spremanja energije s pokrivanjem 60 % troškova sustava do maksimalno 50 000 švedskih kruna s ciljem boljeg iskorištavanja fotonaponskih sustava uz bolju stabilizaciju mreže [22]. U Kaliforniji je program za poticanje samostalne proizvodnje električne energije financirao nekoliko projekata za distribuirano spremanje energije. Za 2017. godinu će se osigurati 500 američkih dolara/kWh popusta za spremanje energije do 10 kW u stambenim zgradama [23]. Općine su se također uključile u sustav financiranja putem poticaja, tako se u Adelaideu od 2015. nude rabati do 50 % cijene instaliranog sustava, do maksimalno 5000 američkih dolara, za sustave za pohranu energije kao dio programa poticaja za održivost u kojem se nude naknade za vodu i energetske uređaje kako bi se smanjile emisije ugljičnog dioksida, uštedila energija, voda i drugi resursi [24].

Kada se dimenzionira fotonaponski sustav s baterijama za povećanu samodostatnost u kućanstvu, različite konfiguracije FN sustava i kapaciteta baterija mogu rezultirati jednakom samodostatnošću [25]. Također, što je veći FN sustav i kapacitet baterije, to su veći troškovi instalacije [25]. Cilj je naći snagu FN sustava i kapacitet baterije koji će dostići traženi stupanj samodostatnosti uz minimalan trošak [25].

## 2. TEORETSKA OSNOVA

### 2.1. Fotonaponski sustavi

#### 2.1.1. Fizikalne osnove i materijali za izradu fotonaponskih ćelija

Osnovni dio fotonaponskih sustava je fotonaponska ćelija. One se povezuju i tvore fotonaponske module ponajviše radi postizanja veće izlazne snage. Fotonaponski sustav se zasniva na fotoelektričnom efektu. Fotoelektrični efekt je stvaranje napona na krajevima poluvodičkog elementa nakon izlaganja svjetlu čime fotonaponska ćelija postaje izvor istosmjernje električne struje [26].

Fotonaponske ćelije izrađuju se obično iz silicija (u 98 % slučajeva), no izrađuju se još i od bakrenog i indijevog selenida, kadmijevog telurida te polimera koji mogu doći u obliku monokristala, polikristala ili kao amorfne tvari. Kristali su čvrste tvari čiji su konstituenti (atomi, molekule ili ioni) posloženi u uređen mikroskopski raspored tvoreći kristalnu rešetku [27]. Ukoliko se čitav aktivni obujam ćelija sastoji od samo jednog kristala, onda je takva ćelija monokristalna. Ako se u procesu rasta kristala većih dimenzija formira više kristala i ako se iz takvog kristalnog bloka izreže pločica za izradu solarne ćelije, onda takve ćelije nazivamo polikristalnim ili multikristalnim ćelijama. Amorfne tvari su tvari koji nemaju veliku uređenost kao kristali što znači da nemaju pravilan raspored atoma duljeg dosega. Tehnologije kojima se dobivaju tanki amorfni filmovi su putem nanošenja raspršivanjem ('sputtering') ili depozicijom iz pare kemijskih reaktanata (CVD) na površinu podloge. Svaka od ovih tehnika depozicije ima specifičnu graničnu temperaturu podloge, ispod koje se dobiva amorfni film, a iznad koje amorfne tvari prelaze u polikristalne. Ukoliko je veličina kristala mala (ispod 3 nm) onda je teško razlikovati kristalnu od amorfne faze. Naime, amorfne tvari ispod 5 nm imaju pravilan raspored atoma. U tom graničnom području, između kristalne i amorfne faze se nalazi tzv. nanokristalna faza (nc-Si) ili mikromorfni materijal. On ima amorfnu fazu, ali se unutar nje nalaze sitna kristalna zrnca.

Nanokristalni silicij je materijal budućnosti za izradu solarnih ćelija. Ima povoljnija svojstva od amornog silicija (a-Si) zbog veće pokretljivosti elektrona, povećane apsorpcije fotona u crvenom i infracrvenom području sunčevog zračenja i zbog znatno veće otpornosti prema degradaciji svojih fotoelektroničkih svojstava [1]. Jako povoljno je što se nc-Si može proizvesti samo mijenjanjem proizvodnih parametara u postojećim pogonima za depoziciju a-Si, metodom CVD, stimuliranom plazmom (PECVD), pri razmjerno niskim temperaturama.

Monokristalni silicij se najčešće proizvodi *Czochralskim* postupkom ili tehnologijom lebdeće zone. Proizvodnja monokristalnog silicija je skuplja, no učinkovitost ćelija je veća i kreće se u rasponu od 13-17 % te se može reći da je u širokoj komercijalnoj upotrebi i pri dobrom svjetlu to najučinkovitija fotonaponska ćelija. Najveći nedostatak je taj što je poluvodič s neizravnim zabranjenim pojasom, što ima za posljedicu da su potrebne veće debljine aktivnog sloja da bi se u što većoj mjeri iskoristila energija sunčeva zračenja. Očekivani životni vijek je od 25 do 30 godina, a izlazna snaga degradira tijekom godina. Tako će nakon 25 godina biti na otprilike 80 % snage. [1]

Multikristalne silicijske ćelije su ekonomski efikasnije u odnosu na monokristalne. Proizvodnja ovih ćelija odvija se na način da se tekući silicij ulijeva u kalupe koji se režu u ploče. Nakon skrućivanja stvaraju se kristalne strukture, a na granicama se stvaraju greške zbog kojih se smanjuje učinkovitost koja je od 10-14 %, a očekivani životni vijek između 20 i 25 godina [1]. Nove tehnologije, koje uključuju primjenu trakastog silicija, imaju prednost što štede i do 50 % materijala jer u proizvodnji nije potrebno rezati vafer. No, kvaliteta i mogućnost proizvodnje nije dovoljno razvijena kako bi primjena ove tehnologije prevladala u bliskoj budućnosti. Učinkovitost ćelija izrađenih iz trakastog silicija je oko 11 % [1].

Nove tehnologije tankog filma primjenjuju poluvodiče s izravnim zabranjenim pojasom i njihove debljine mogu biti znatno manje što ima za posljedicu bitno manji utrošak materijala, a to obećava nisku cijenu i mogućnosti proizvodnje velikih serija ćelija. Solarne ćelije tankog filma su treća generacija solarnih ćelija koje su načinjene od eksperimentalnih poluvodičkih materijala poput bakar-indij-galij-selenida (CIGSS), bakar-indij-diselenida (CIS) ili kadmijeva telurida (CDTe) te organskih materijala, no u masovnu proizvodnju su ušle ćelije izrađene od tankog filma silicija (TFSi). Zbog izvedbe u kojoj se postavljaju tanki filmovi poluvodičkih materijala na podlogu (tzv. supstrat) solarne ćelije su fleksibilne u odnosu na klasične, krute, solarne ćelije, a to omogućava njihovu širu primjenu. No, njihova dosadašnja učinkovitost je znatno manja od klasičnih silicijevih solarnih ćelija te unatoč znatnim naporima uložnim u istraživanje njihov udio je ostao vrlo skroman, svega oko 6 % [1].



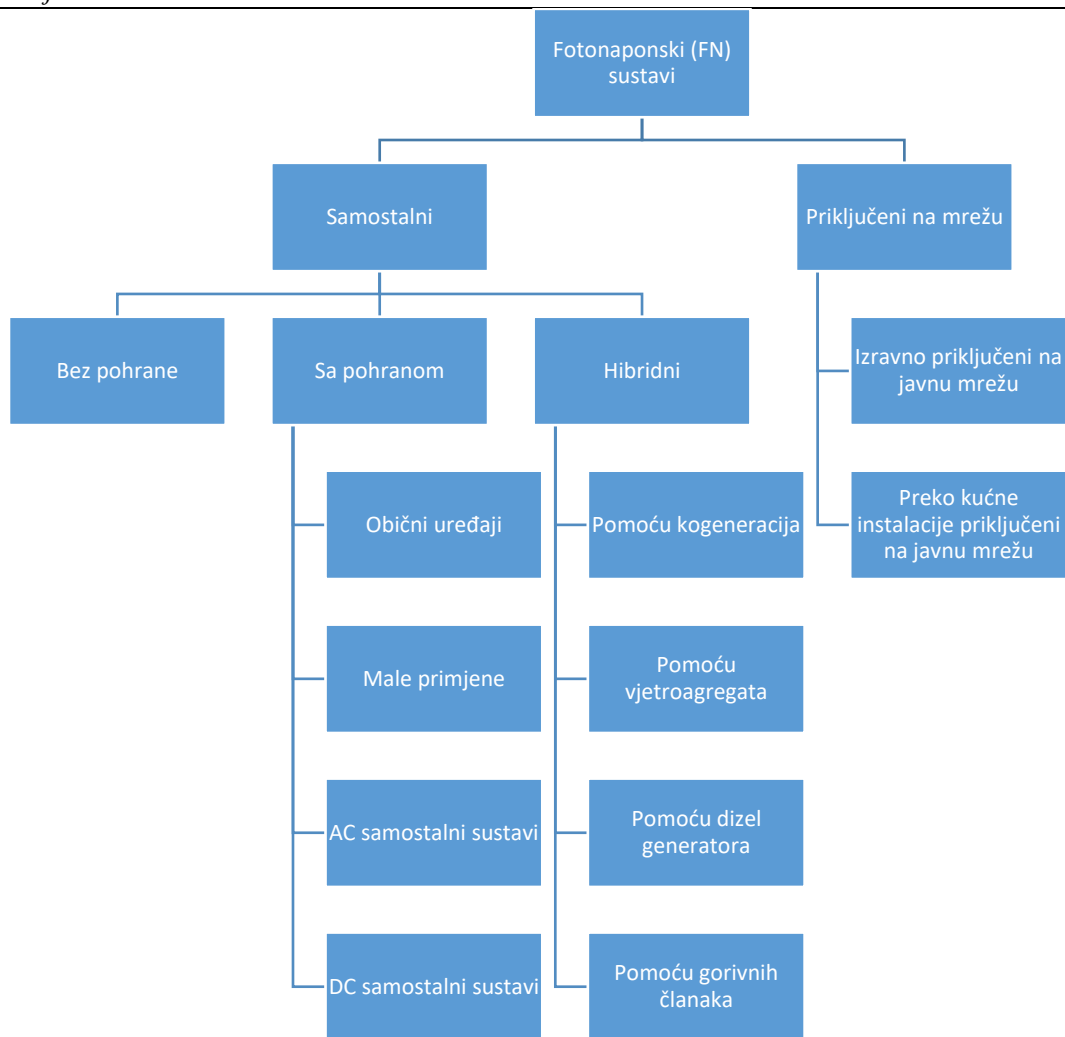


**Slika 1.** Solarna ćelija od bakar-indij-diselenida (CIS) (lijevo), amorfna silicijeva ćelija (sredina) te solarna ćelija od kadmijeva telurida (CdTe) (desno) [1]

### **2.1.2. Podjela fotonaponskih sustava**

Fotonaponski sustavi se mogu podijeliti na:

- Samostalne fotonaponske sustave, to su oni koji nisu priključeni na mrežu (engl. *Off-grid*)
- Fotonaponske sustave koji su priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (engl. *On-grid*)



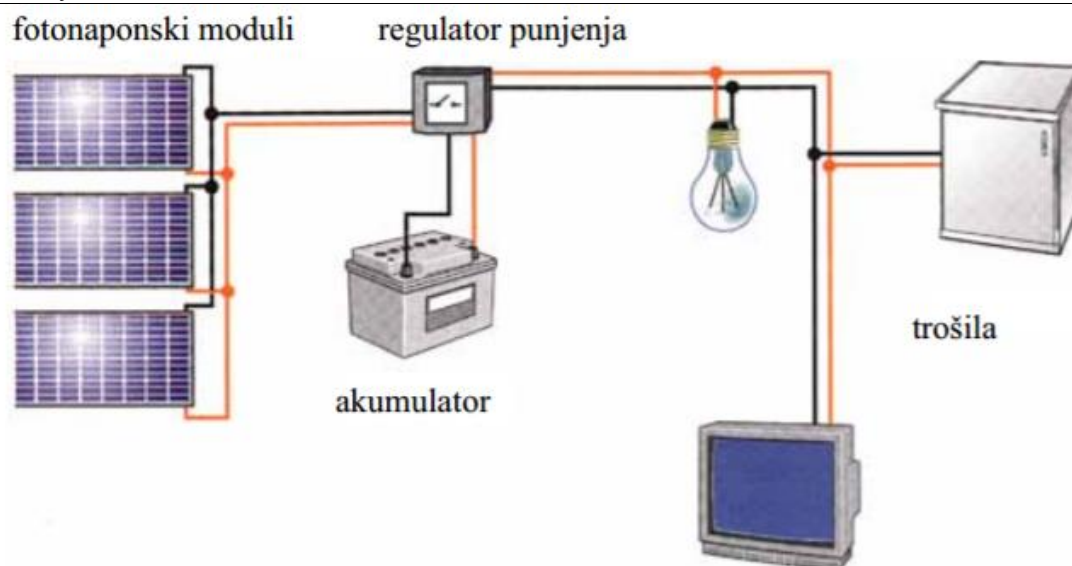
**Slika 2. Podjela fotonaponskih sustava [1]**

### 2.1.2.1. Samostalni fotonaponski sustavi

Kao što je već naglašeno, samostalni fotonaponski sustavi su oni fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (engl. *Off-grid*). Oni mogu biti projektirani sa ili bez pohrane energije ili mogu biti hibridni.

Temeljne komponente samostalnog fotonaponskog sustava su:

1. Fotonaponski moduli
2. Regulator punjenja
3. Akumulator
4. Trošila
5. Izmjenjivač (ako trošila rade na izmjeničnu struju)



**Slika 3. Temeljne komponente samostalnog fotonaponskog sustava**

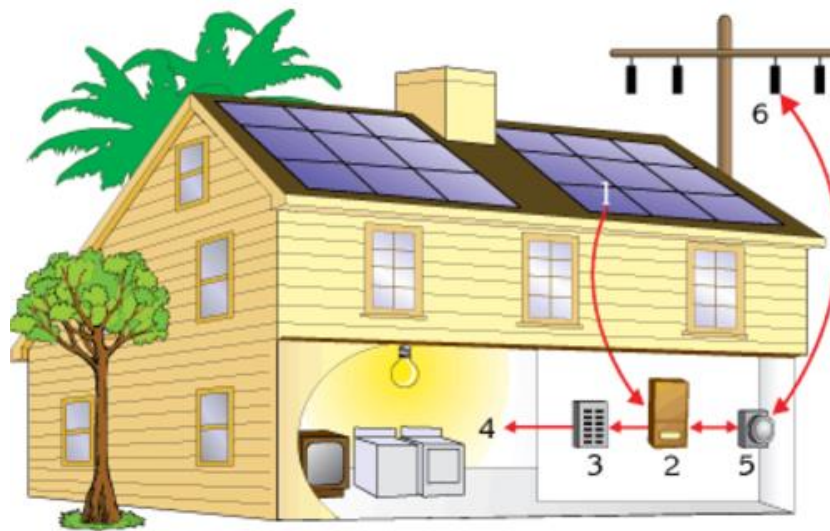
*Off-grid* sustavi zahtijevaju dobro planiranje. Naime, bez distribucijske mreže kao sekundarnog izvora električne energije, projektiranje veličine fotonaponskog sustava je ključno. Korisnici sustava se moraju držati projektiranog energetskeg budžeta. Takvi fotonaponski sustavi su obično predimenzionirani kako bi mogli pokriti maksimume, a pohrana energije je bitna u pokrivanju potreba za energijom kada nema sunca ili kada je iz nekog razloga veća potreba za električnom energijom [28].

#### 2.1.2.2. Fotonaponski sustavi priključeni na mrežu

Fotonaponski sustavi mogu biti izravno priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu ili preko kućne instalacije. U ovom radu će biti najzanimljivije promatrati fotonaponske sustave koji su priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije. Oni povezuju distribuirane sustave proizvodnje električne energije na centralizirane sustave.

Temeljne komponente fotonaponskog sustava priključenog na mrežu su:

1. Fotonaponski moduli
2. Inverter
3. Razvodna kutija
4. Trošila
5. Brojila predane i preuzete električne energije
6. Elektroenergetska mreža



**Slika 4. Temeljne komponente fotonaponskog sustava priključenog na mrežu [29]**

Fotonaponski moduli (1) proizvode istosmjernu struju kada su izloženi sunčevom zračenju i šalju je do invertera (2). Inverter transformira istosmjernu u izmjeničnu struju u oblik u kojem se može predati u javnu elektroenergetsku mrežu i u kojem se može koristiti u kućanstvima. U izvedbama u kojima su i baterije, inverter regulira i njihovo punjenje. Razvodna kutija (3) distribuira struju dobivenu iz solarnih panela i iz mreže do trošila (4). U slučajevima kada se ne troši sva električna energija, brojilo (5) će se početi okretati unazad predajući električnu energiju elektroenergetskoj mreži (6) po prethodno definiranim tarifama. U izvedbama u kojima su baterije, to će se događati tek kada se one napune. [30]

U ovom radu baviti ću se s dva specifična slučaja u kojima je fotonaponski sustav spojen na mrežu s baterijom na mreži i spojen na mrežu s kućnom baterijom, no detaljnije o tome u poglavlju 'metode'.

## 2.2. Baterije

Baterije su uređaji koji služe za pohranu električne energije u obliku potencijalne kemijske energije. Sastoje se od jedne ili više elektrokemijskih ćelija s vanjskim vezama kojima napajaju trošila [31]. Iako su još uvijek skupe, u fotonaponskim sustavima postaju sve važnije jer skladište višak električne energije dobiven danju koji se može koristiti noću ili kada nema proizvodnje električne energije.

### 2.2.1. Vrste baterija za fotonaponske sustave

Različite kemikalije se mogu kombinirati kako bi se stvorile baterije. Neke mogu biti jeftine, ali zato imati malu gustoću pohrane energije, dok druge mogu imati veliku gustoću pohrane energije, ali zato i biti jako skupe. Baterije za primjenu u fotonaponskim sustavima moraju zadovoljiti sljedeće najvažnije uvjete. Moraju biti otporne na česte cikluse punjenja i pražnjenja

i otporne na neredovito punjenje do 100 %. Veličina baterija se obično projektira na način da je moguće 5 dana autonomnosti u slučaju oblačnog vremena [30]. Naime, ukoliko se baterija projektira na manje od 3 dana kapaciteta onda će imati veliki broj ciklusa i shodno tome baterija će imati kraći životni vijek [30]. Olovno kiselinske i litij ionske baterije su najčešće u primjeni, no postoje i druge vrste baterija. U nastavku ću nabrojati neke vrste baterija i ukratko reći koje su njihove najvažnije karakteristike.

Olovno kiselinske baterije su najjeftinija solucija za spremanje energije u stambenim objektima [32], iako se najviše koriste za neprekidno napajanje ili za samostalne instalacije [8]. Imaju manju gustoću energije u usporedbi s drugim tehnologijama, no to nije bitno za stambene svrhe, dok je primjerice u automobilima bitno [32]. U današnje vrijeme olovno kiselinske baterije se uglavnom koriste u akumulatorima automobila. Olovno kiselinske baterije koje se koriste za pohranu energije u stambenim objektima su poznate kao *deep cycle* baterije ili solarne baterije. Takve baterije imaju deblje ploče koje omogućuju dublje pražnjenje što ima za posljedicu dulji životni vijek, ali uz manju energetska gustoću. Olovno kiselinske baterije se dijele na zabrtvljene i nezabrtvljene (*sealed or unsealed*). Zabrtvljene baterije kao što im i ime govori izrađene su na način da su zabrtvljene, onemogućujući izlivanje i smanjenje gubitka elektrolita izazvanog elektrolizom tijekom korištenja baterije. Iako su skuplje u nabavi zbog manjih troškova održavanja obično se češće koriste u usporedbi s ne zapečaćenima u distribuiranim fotonaponskim sustavima.

Litij ionske baterije otkako su ušle u komercijalnu uporabu devedesetih godina prošlog stoljeća doživjele su nagli rast u uporabi, posebice u prijenosnim uređajima, ponajprije zbog veće gustoće energije i duljeg životnog vijeka u usporedbi s drugim popularnim tehnologijama kao što su olovno kiselinske baterije [33]. Litij ionske baterije su skupni naziv za baterije koje su bazirane na gibanju litijevih iona [33]. Ove baterije sastoje se od individualnih, standardiziranih ćelija različitih oblika i veličina. Olovno kiselinske baterije su i dalje najzastupljenije u pohrani energije, ali najčešće za neprekidnu opskrbu energijom ili za *stand-alone* instalacije zbog relativno malog investicijskog troška, limitirane potrebne stručnosti instalatera i ne toliko bitne gustoće spremljene energije u takvim instalacijama. Usprkos tome, iako imaju veći investicijski trošak litij ionske baterije na kraju budu jeftinije zbog njihovog duljeg životnog vijeka [34]. U početku su se koristile ponajviše u potrošačkoj elektronici, no u posljednjih nekoliko godina se sve više implementiraju u druge svrhe kao npr. električna vozila i pohranu električne energije na mreži te se očekuje da njihova primjena u dosadašnje i nove svrhe jako naraste u budućnosti

[11] i [34]. To je dovelo do postepenog porasta proizvodnih kapaciteta u cijelom svijetu što bi, uz nove kemijske izvedbe, trebalo dovesti do smanjenja cijena i činiti ih još atraktivnijom solucijom za spremanje energije u kućanstvima [34]. Točan iznos smanjenja cijena je teško procijeniti, no kako je cijena ćelija najvećim dijelom uvjetovana cijenom sirovina [33] i [34] koje dolaze od nekolicine dobavljača i stoga su podložne variranju cijena zbog primjerice političkih nestabilnosti [35]. Uporabom novih materijala očekuje se drastično smanjenje navedene ovisnosti kao i ukupni troškovi, ali u konačnici može imati negativne posljedice jer će recikliranje iz ekonomske perspektive biti manje zanimljivo [36]. Korištene litij ionske baterije iz električnih vozila koje nemaju više potrebnu gustoću spremljene energije za potrebe transportiranja mogu se koristiti u kućanstvima gdje manja gustoća energije nije veliki problem [37]. Uz to, kapacitet korištene baterije električnog automobila je prikladan za stambene svrhe [37]. Kako udio električnih vozila raste i dostupniji je veći broj korištenih litij ionskih baterija po cijenama manjima od novih, isplativost ovakvih instalacija i električnih automobila bi mogla porasti. U suprotnosti s drugim tehnologijama, kao npr. olovno kiselinskim baterijama, litij ionske baterije imaju skoro konstantnu voltažu za veliki raspon napunjenosti baterije [34]. U bateriji neće doći u ravnotežu ćelije različitih razina napunjenosti. Dugoročno gledajući to može izazvati *over-charging* ili pražnjenje nekih ćelija što može dovesti do prijevremenog završetka životnog vijeka ili do nesreća. Iz tog razloga litij ionske baterije moraju biti opremljene sa upravljačkom jedinicom. Upravljačka jedinica je elektronički uređaj koji idealno nadgleda različite ćelije, balansira ih i izbjegava njihovu uporabu izvan sigurne radne zone osiguravajući zadržavanje velikog kapaciteta i sigurno funkcioniranje [38].

Litij željezo fosfatne baterije ( $\text{LiFePO}_4$ ) su baterije nove generacije te su nekoliko puta skuplje od olovno kiselinskih baterija istog kapaciteta. Njihove najveće prednosti su manje dimenzije i duplo manja masa od olovno kiselinskih baterija istog kapaciteta zbog manjeg broja ćelija u bateriji, veći mogući broj ciklusa punjenja i pražnjenja, nisu načinjene od teških metala ili korozivnih elektrolita te su zbog toga i zbog toga što ne proizvode vodik tijekom punjenja puno sigurnije u usporedbi sa olovno kiselinskim baterijama. Također, njihovo samopražnjenje je ekstremno maleno te se mogu koristiti pri visokim temperaturama (čak do  $60\text{ }^\circ\text{C}$ ). No, imaju i svoje nedostatke, neki od nedostataka su da pretjerano punjenje izaziva smanjenje životnog vijeka baterije dok pretjerano pražnjenje može dovesti do kvara ćelija u baterijama. Radi toga potrebna je upravljačka jedinica koja nadgleda napon svake ćelije i osigurava da nikad ne prijeđe svoj određen maksimum, odnosno da nikad ne ode ispod određenog minimalnog

napona. Kada se uzme u obzir životni vijek i povećana uporaba u električnim vozilima, razlika cijena tijekom ukupnog vijeka trajanja postaje značajno manja [39].

Tipovi baterija koji se rijetko koriste su nikal kadmiske koje zadržavaju svoja inicijalna svojstva nakon dugo vremena, no nemaju dugi životni vijek gledajući broj ciklusa. To ih čini odličnima za hitne/pripravne sustave [40], zatim nikal željezne baterije kojima izlazni napon jako varira u ovisnosti o opterećenju i napunjenosti. Imaju iznimno dug životni vijek, no zbog mnogih nedostataka kao npr. smanjuju efikasnost fotonaponskog sustava do 25 % jer je njihova efikasnost oko 60 %, se ne upotrebljavaju [40].

*Flow* baterije rastu kao nova opcija spremanja energije. *Lux Research* očekuje da će litij-ionske baterije dominirati tržištem stacionarne energije dok bi trenutna generacija *flow* baterija mogla dominirati tržištem jako velikih i dugoročnih primjena baterija zbog svoje ekonomske isplativosti u tim slučajevima. *Vanadij redox flow battery* (VRFB) su najrazvijenija tehnologija u ovom području. Cijena ovih baterija bi se trebala značajno smanjiti do 2024. godine zbog korištenja vanadija iz *flyasha* (produkt termoelektrana na ugljen). VRFB istraživači razvijaju nove načine kako bi povećali gustoću energije, što će dalje smanjiti troškove. Ove baterije su jako kompleksne jer zahtijevaju pumpe, senzore, kontrolne jedinice, sekundarne spremnike. Ovi svi dijelovi troše instalacijski prostor. Prednosti ovih baterija su da vanadij elektrolit ne degradira tokom vremena, što znači da im je životni vijek značajno dulji od drugih tehnologija. Također kod VRFB baterija je zgodno što se kapacitet baterija povećava jednostavno dodavanjem elektrolita, dok je kod normalnih baterija jedini način povećanja kapaciteta dodavanje još baterija. VRFB baterije nemaju ograničen broj ciklusa. Broj punjenja i pražnjenja ne utječe na njihov vijek trajanja. Što se tiče sigurnosti, *flow* baterije sadrže elektrolit koji je baziran na vodi koji se ne zagrijava i ne može se zapaliti, a to ih čini intrinzično sigurnima. Reciklirani vanadij iz *flow* baterija nije toksičan i može se koristiti iznova za druge namjene, kao npr. u proizvodnji čelika. [41].

### 2.3. Poslovni model

Poslovni modeli su se popularizirali tijekom zadnja dva desetljeća, posebice u e-biznisu, strategiji, inovacijama i menadžmentu tehnologija [42]. Oni objašnjavaju kako poduzeće stvara ekonomsku vrijednost [43], opisujući faktore povezane s ponudom, tržištem, strategijom, unutrašnjom sposobnošću, konkurencijom i investitorima [44]. Oni opisuju na koji način kompanije rade i vode posao [45]. Ukoliko je poslovni model uspješan, to znači da je model sposoban posredovati između stvaranja tehnološke i ekonomske vrijednosti [43]. Morris et al.

[44] kategorizirao je komponente poduzetničkog poslovnog modela kao faktore povezane s ponudom, tržišnim faktorima, unutarnjim faktorima sposobnosti, strategijama konkurentnosti, ekonomskim faktorima i osobnim/investitorskim faktorima (vidi tablicu 1.)

**Tablica 1. Komponente poslovnog plana (Morris et al. 2015)**

Komponenta	Pitanja koja su temelj poslovnog modela
1. Faktori povezani s ponudom	Kako stvaramo vrijednost ?
2. Faktori tržišta	Za koga stvaramo vrijednost?
3. Unutarnji faktori sposobnosti	Koji je izvor naše kompetencije?
4. Strateški faktori protiv konkurencije	Kako se možemo dobro pozicionirati s obzirom na konkurenciju?
5. Ekonomski faktori	Kako ćemo imati zaradu ?
6. Osobni/investorski faktori	Koji je naš djelokrug, veličina ?

Faktori koji su povezani sa ponudom opisuju djelokrug proizvoda ili usluge koju nudi poduzeće. To se odnosi na osmišljavanje i stvaranje vrijednosti. Vrijednost može biti u različitim formama, uključujući ekonomske i socijalne vrijednosti [42]. Tržišni faktori su povezani sa djelokrugom tržišta u kojem se poduzeće natječe kao i s prirodom i geografskom rastakanošću potrošača [44]. Poslovni model kompanije fokusira se na specifični tržišni segment ili na određenu grupu potrošača [43]. Unutarnji faktori sposobnosti su izvor kompetencija koji mogu doći u različitim aspektima kao npr. proizvodnja, prodaja, marketing, logistika ili kreativni rad [44]. Strateški faktori protiv konkurencije definiraju kako se poduzeće pozicionira kako bi bilo u prednosti nad konkurencijom. Ekonomski faktori prikazuju kako se stvara profit, dok su osobni i investicijski faktori temeljeni na investicijskom modelu tvrtke odnosno koliko će veliko biti poduzeće i kakav će biti djelokrug.

Model poslovnog plana (engl. *Business model canvas*) je način na koji se pregledno i sažeto može prikazati poslovni model.



### 3. METODE

U ovom radu cilj je napraviti poslovni model za integraciju fotonaponskih sustava i baterija u kućanstvima koje su tržišno dostupne od 3,5 do 20 kWh s jedne strane, a s druge strane poslovni model za integraciju fotonaponskih sustava u kućanstvima i baterije na mreži do 1 MWh te oba modela prikazati na platnu poslovnog modela. Navedeni poslovne modeli će biti popraćeni tehno ekonomskom analizom kako bi se pokazala isplativost projekta. Model se radi na primjeru otoka Mljeta. U tom primjeru pretpostavila se potrošnja električne energije od 4200 kWh godišnje, što odgovara srednjem do velikom kućanstvu prema [46]. Potrošnju energije od 4200 kWh godišnje na otoku Mljetu pokriva fotonaponski sustav od 3120 W prema [47]. Baterije koje su korištene su Tesla Powerwall jer nude najbolju vrijednost u ispitivanju baterija do 20 kWh, između ostalog jer u sebi imaju ugrađen pretvarač napona [48]. S ovakvim pretpostavljenim parametrima napravljena je tehno ekonomska analiza pomoću programa Excel. Napravljene su tablice prihoda, rashoda, investicija i konačnog novčanog toka te se pomoću funkcija NPV (*net present value*) i IRR (*internal rate of return*) u Excelu ocijenila isplativost projekta.

#### Jednadžba 1. Matematički zapis funkcije NPV je:

$$NPV = \sum \{ \text{novčani tok nakon poreza} / (1+r)^t \} \quad (1)$$

Gdje je:

r- diskontna stopa

t- vremenski period

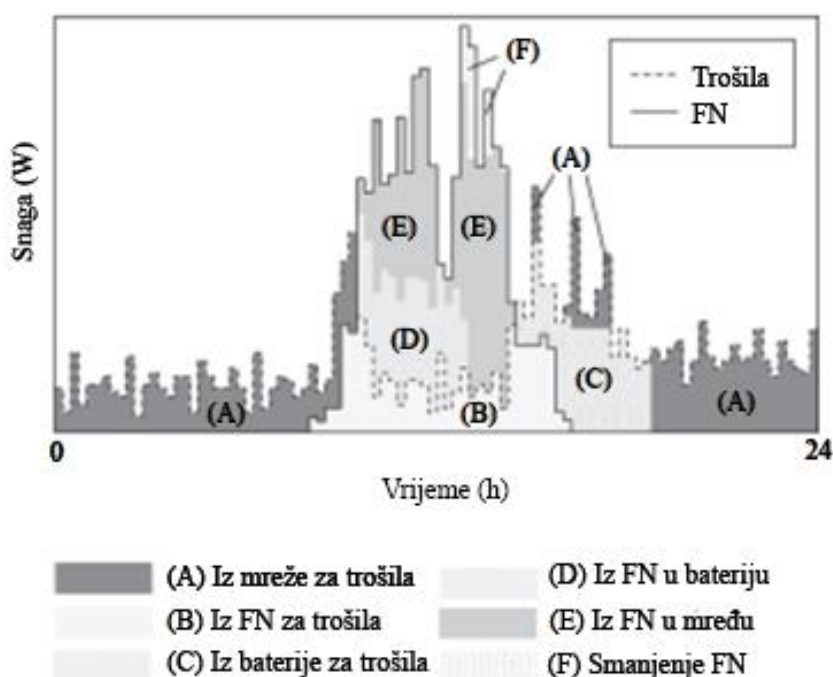
IRR se određuje gore navedenom formulom, ali na način da se određuje diskontna stopa r pri kojoj je NPV jednak nuli. U tom slučaju diskontna stopa r je jednaka IRR-u.

#### 3.1. Potrošnja električne energije u kućanstvima

Tipična potrošnja električne energije u stambenim objektima sastoji se od jednog vrhunca potrošnje električne energije ujutro, a drugog predvečer te malom potrošnjom električne energije u početku dana. S druge strane proizvodnja električne energije putem fotonaponskih sustava ima tipičnu krivulju sa vrhuncem u sredini dana kada je najveća insolacija. Ove krivulje će činiti karakteristični uzorak dnevnih tokova električne energije u kućanstvu opremljenog sa fotonaponskim sustavom i baterijama.

Nakon izlaska sunca postoji FN energija koja je dostupna te se ona troši na opterećenje (B- FN energija ide u opterećenje) dok se ostatak energije snabdijeva iz mreže (A- mreža- opterećenje). Kako se sunčevo zračenje pojačava dolazi se do točke gdje se FN energija u potpunosti koristi

za snabdijevanje opterećenja, a viškom energije se pune baterije (D). Ukoliko su baterije napunjene, a postoji još viška energije onda se ta energija predaje u mrežu po unaprijed dogovorenoj tarifi (E). No, ako postoji višak energije koji se ne može prodati u mrežu onda se smanjuje efikasnost FN sustava čime se smanjuje proizvodnja električne energije (A). U popodnevним satima kada padne proizvodnja električne energije iz FN sustava potrebna električna energija za trošila se dovodi iz baterija (C) i/ili iz niskonaponske električne mreže (A) te se taj krug ponavlja svakodnevno.



Slika 5. Karakteristični uzorak dnevnih tokova električne energije u kućanstvu [50]

### 3.2. Platno poslovnog modela (engl. *Business model canvas*)

Platno poslovnog modela je predložak koji se koristi u strateškom menadžmentu kako bi se stvarali novi ili prikazali već postojeći poslovni planovi [51]. Ovaj pristup je jednostavan, relevantan te intuitivno jasan bez značajnog pojednostavljenja kompleksnosti poslovanja velikih korporacija. To je tablica u kojoj je poslovni model opisan kroz devet osnovnih blokova te oni prikazuju način na koji tvrtka ima namjeru stvarati dobit. Navedenih devet blokova pokriva četiri osnovna područja poduzetništva, a to su: kupci, ponuda, infrastruktura te

financijska održivost. Poslovni model je poput nacрта strategije za implementaciju kroz organizacijske strukture, procese i sisteme [52].

Devet blokova prema [52] pomoću kojih je prikazan poslovni model na platnu čine:

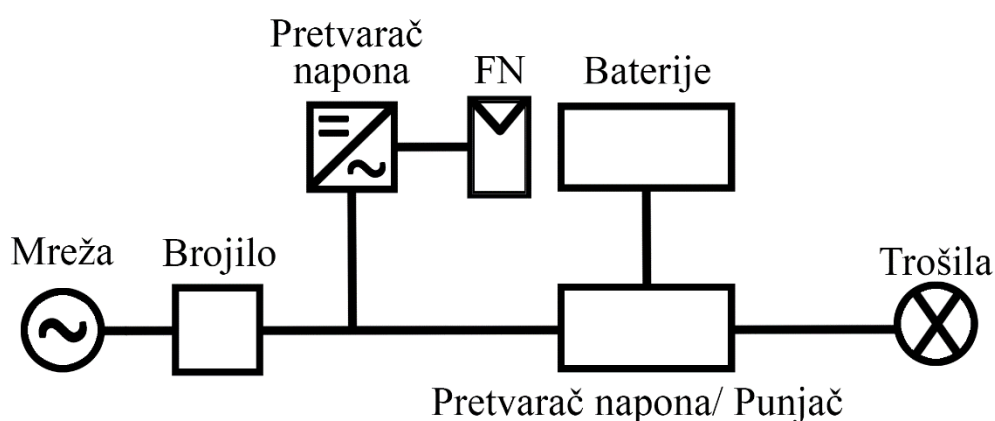
- Blok segmenata kupaca koji definira različite skupine ljudi ili organizacija
- Blok stvaranja vrijednosti koji opisuje skup proizvoda ili usluga koji stvaraju vrijednost za određeni segment kupaca
- Kanali koji predstavljaju način na koji tvrtka komunicira i dostiže do segmenata kupaca kako bi ponudila vrijednosti
- Blok odnosa s kupcima koji opisuje načine odnosa koje tvrtka stvara sa određenim segmentima kupaca
- Blok tokova prihoda koji predstavlja novac koji kompanija generira od svakog segmenta kupaca (troškovi se moraju oduzeti od prihoda kako bi se dobila dobit)
- Blok ključnih resursa koji opisuje najbitniju imovinu potrebnu kako bi se poslovni model mogao primijeniti
- Blok glavnih aktivnosti koji opisuje najvažnije stvari koje kompanija mora učiniti kako bi se poslovni model izrealizirao
- Blok Glavnih partnerstava koji opisuje mrežu dobavljača i partnera koji pomažu u egzekuciji poslovnog modela
- Struktura troškova koja opisuje sve troškove nastale djelovanjem poslovnog modela

<i>Ključni partneri</i>	<i>Glavne aktivnosti</i>	<i>Stvaranje vrijednosti</i>	<i>Odnosi s kupcima</i>	<i>Segmenti kupaca</i>
	<i>Ključni resursi</i>		<i>Prodajni kanali</i>	
<i>Struktura troškova</i>		<i>Izvori prihoda</i>		

Slika 6. Platno poslovnog modela (engl. *business model canvas*)

### 3.3. Shema sustava

#### 3.3.1. Fotonaponski sustav u kojem je baterija u kućanstvu

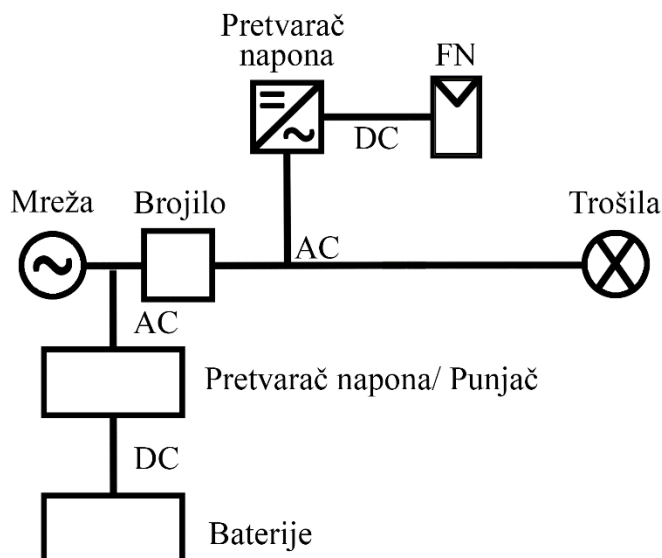


Slika 7. Shema sustava u kojem je baterija u kućanstvu

Konfiguracija koja se razmatrala sastoji se od fotonaponske instalacije sa inverterom/punjačem spojenog s baterijama. Inverter/punjač je glavna komponenta ovakvih sistema jer regulira tok električne energije direktno ili indirektno ovisno o FN inverteru i brojilu. Kako tržište invertera/punjača raste u zadnjim godinama cijene su u konstantnom padu uz stalno unaprijeđenje novih komponenata kojima je potrebno manje dodatka što dodatno smanjuje cijenu i bolje se adaptiraju sa kućnim litij-ionskim baterijama. Ovakva konfiguracija se najčešće

koristi jer se lako izmjene postojeće elektro instalacije te se na ovakav način projektira sustav koji je manje ovisan o kapacitetu FN-a [53].

### 3.3.2. Fotonaponski sustav u kojem je baterija na mreži

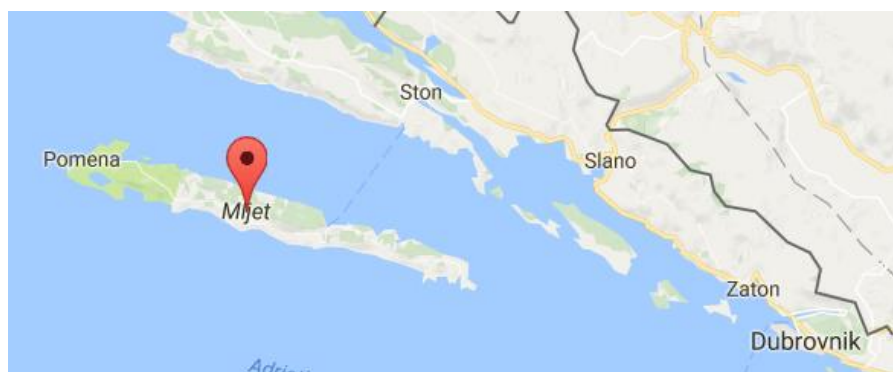


**Slika 8. Shema fotonaponskog sustava u kojem je baterija na mreži**

Ovakva konfiguracija sustava je slična konfiguraciji sustava u kojem je baterija u kućanstvu, ali za razliku od njega u ovakvom sustavu se nalazi jedna velika baterija koja u ovom primjeru pohranjuje električnu energiju ekvivalentnu 71 kućnoj bateriji. On radi po sličnom principu kao i prije navedeni sustav. Ukoliko se pokrije potreba trošila za električnom energijom te ostane viška električne energije ona se sprema u bateriji koja se nalazi na mreži i ponovno se upotrebljava kada je to potrebno. Ovakvu bateriju moguće je smjestiti npr. pored trafo stanice, u podrumima velikih zgrada i na bilo kojem drugom prigodnom mjestu uz uvjet da su potrošači relativno blizu. Ovakva baterija je ekonomski isplativija u usporedbi sa kućnim baterijama ukoliko su gusto smješteni potrošači.

## 4. REZULTATI

U ovom poglavlju prikazati će se poslovni model za integraciju fotonaponskih sustava s baterijom u kućanstvu i na mreži na platnu poslovnog modela (engl. *Business model canvas*) uz detaljno objašnjeni svaki segment pripadajućeg poslovnog modela. Zatim će se provesti tehno ekonomska analiza postavljenog poslovnog modela te ukoliko projekt ispadne isplativ prikazati će se specifična cijena baterije odnosno električne energije pri kojoj će projekt biti isplativ. Poslovni model se radi na primjeru otoka Mljeta. Otok Mljet je osmi po veličini otok u Hrvatskoj, površina otoka iznosi 100,4 km<sup>2</sup>. Prema posljednjem popisu stanovništva održanog 2011. godine, ima 1088 stanovnika, a 469 kućanstva [54]. Mljet pripada mediteranskom klimatskom području pa su ljeta suha i duga, a zime kišovite i blage.



Slika 9. Otok Mljet [2]

### 4.1. Poslovni model za integraciju fotonaponskih sustava i baterija

<i>Ključni partneri</i>	<i>Glavne aktivnosti</i>	<i>Stvaranje vrijednosti</i>	<i>Odnosi s kupcima</i>	<i>Segmenti kupaca</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Proizvođači i dobavljači opreme</li> <li>Banke, vlada te investitori</li> <li>Potrošači</li> <li>Maloprodajni partneri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Marketing</li> <li>Prodaja fotonaponskih sustava i baterija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jednostavan prelazak na obnovljive izvore energije-kompletna usluga</li> <li>Ista ili jeftinija cijena električne energije koja nije podložna variranju</li> <li>Mogućnost financiranja bez troškova unaprijed</li> <li>Visokokvalitetni fotonaponski sustavi i baterije</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Korisnička podrška uz osobnog konzultanta</li> <li>Aplikacija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masovno tržište: <ul style="list-style-type: none"> <li>-B2B (business to business): tvrtke i javni objekti</li> <li>-B2C (business to consumer): stambeni objekti</li> </ul> </li> </ul>
<b><i>Ključni resursi</i></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Model financiranja koji omogućuje financiranje bez dodatnih ulaganja</li> <li>Mreža educiranog osoblja</li> <li>Platforma (software za potrošače)</li> </ul>			<b><i>Prodajni kanali</i></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Služba za korisnike</li> <li>Online trgovina</li> <li>Maloprodajni lanci i građevinske tvrtke</li> <li>'Vrata do vrata'</li> <li>Oglasi</li> </ul>	
<b><i>Struktura troškova</i></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Financiranje opreme</li> <li>Troškovi rada</li> <li>Održavanje i garancija</li> <li>Marketing</li> </ul>			<b><i>Izvori prihoda</i></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Operativni troškovi koje plaća potrošač</li> <li>Poticaji EU i vlade</li> <li>Prodaja fotonaponskih sustava i baterija</li> </ul>	

Slika 10. Platno poslovnog modela (engl. *business model canvas*)

Tvrtka A- Baterija se nalazi u svakom kućanstvu posebno

Tvrtka B- Baterija se nalazi na mreži te ju koriste sva kućanstva

Kako su ova dva poslovna modela relativno slična usporedbom ću objasniti sličnosti i razlike pojedinog projekta. Tvrtka A koristi baterije Tesla Powerwall 14 kWh dok tvrtka B ima bateriju 1 MWh koja se nalazi na mreži, što znači da pokriva cca 71 Tesla Powerwall-a te se svakom kupcu ovisno o potrebi dodjeljuje određeni kapacitet za spremanje električne energije. Na taj način je jeftinija pohrana jer je specifična cijena velikih baterija manja od specifične cijene manjih baterija.

### **Kako tvrtke stvaraju vrijednost?**

Vrijednost je skup svih proizvoda i usluga koje tvrtka nudi, a potrošač treba. Obje tvrtke omogućuju za kupca jednostavan prelazak na obnovljive izvore energije na način da nude kompletnu uslugu. Brinu se o svakom koraku prelaska na obnovljive izvore energije. Brinu se o projektiranju, financiranju, dozvolama, instalaciji i daljnjem praćenju i održavanju cijelog sustava od početka do isteka ugovora. Nude najbolje solarne panele i baterije pri pristupačnim cijenama. Instalacija FN sustava s baterijama nije jednostavan zadatak. Ovisi kako o željama kupca tako i o fizičkim mogućnostima pojedinih tipova objekata (npr. oblik krova, garaže, fasade itd.), lokalnoj klimi te energetske potrebama pojedinog objekta. To ima za posljedicu da svako kućanstvo treba posebno rješenje. Ove tvrtke nude navedeno. Vrijednost ovih tvrtki je također što bi cijena električne energije ostala ista ili bi bila niža od električne energije iz mreže. Jedina razlika između tvrtke A i tvrtke B je ta što bi u poslovnom modelu tvrtke A bila baterija za svako kućanstvo posebno kapaciteta od 3,5 kWh do 20 kWh, dok bi u poslovnom modelu tvrtke B bila velika baterija kapaciteta 1 MWh koju bi koristila sva kućanstva što ima za posljedicu da je za ostvarenje poslovnog plana tvrtke B potrebno mnogo kućanstava koja će uzeti FN panele na određenom lokalitetu, no specifična cijena baterije će biti niža te je uz napredan sustav regulacije moguće ostvariti veću efikasnost cijelog sustava. Vrijednost ovih tvrtki je i način financiranja. Omogućio bi se engl. *power purchase agreement* (PPA) ili lizing solarnih panela. Ukratko, PPA je način financiranja u kojem se kupuje solarna električna energija koja je cjenovno obično jednaka ili jeftinija od mrežne električne energije. Cijena je fiksna, ne varira te se na taj način potrošač može zaštititi od fluktuacije cijena. Kao potrošač putem PPA, potrošač plaća samo električnu energiju ne i opremu. Tvrtke se brinu o instalaciji, održavanju i svemu ostalom vezanom za solarne panele i baterije te je ona u vlasništvu

navedenog. Drugi način financiranja je putem lizinga. Glavna razlika je da se putem PPA plaća po kWh potrošene energije, a putem lizinga se plaća fiksni mjesečni iznos i uključeno je jamstvo proizvodnje električne energije. Putem PPA se sustav nakon pete godine otkupiti. Ugovori se obično sklapaju na 20 godina. Tvrтка putem tih ugovora postaje pružatelj usluga umjesto da samo prodaje i instalira sustav. Tvrтка A i tvrтка B pružaju usluge i proizvode za poboljšanje energetske efikasnosti. Ti proizvodi i usluge će smanjiti gubitak energije što smanjuje račune električne energije te proširuju spektar usluga koje tvrtke nude. Kako tvrtke nude instalaciju fotonaponskih sustava s baterijama nude i određenu neovisnost o mreži. Tako bi npr. 2014. godine kada je bio požar na dubrovačkom području te je bila obustava električne energije otoku Mljetu bilo moguće pokriti osnovne potrebe [55]. Ovakav sustav financiranja otvara mogućnost velikih poticaja vlade kako bi se povećala pouzdanost opskrbe električne energije i zadovoljila stalno rastuća potreba za električnom energijom.

### **Koje su glavne aktivnosti?**

Kako se tvrtke ne bave proizvodnjom bitno je da imaju dobro razvijenu mrežu dobavljača koja im omogućuje plasiranje proizvoda pri pristupačnim cijenama. Kako bi kupci bili sigurni da će im solarni sustav funkcionirati bez poteškoća, tvrtke nude dugu garanciju za kupovinu preko PPA ili lizinga. Putem aplikacije moguće je pratiti proizvodnju. Ukoliko dođe do nekih poteškoća u radu odmah se šalje upozorenje kupcu i tvrtki. Ako dođe do smanjenja potrošnje tvrtke su dužne nadoknaditi gubitke shodno ugovoru. Marketing i prodaja predstavljaju ključni izazov u poslovnom modelu tvrtki. Naime, uz najbolje osmišljeno solarno rješenje uz odličan model financiranja ukoliko nema prodaje tvrтка je u gubitku. Najveću prepreku za tvrтку B čini to što je potrebno na relativno malom prostoru imati veliku gustoću kućanstava sa instaliranim solarnim panelima kako bi se isplatila instalacija velike baterije u njihovoj blizini dok tvrtke A neovisno prodaje fotonaponske sustave s baterijama kućanstvima neovisno o njihovoj međusobnoj udaljenosti.

### **Koji su ključni resursi?**

Tvrtke nude pristupačna rješenja za prelazak na solarnu energiju nudeći visokokvalitetne solarne panele s cjelokupnom instalacijom sa uhodanim timom instalatera te nikakvim troškovima unaprijed. Glavni resursi uključuju fizičke, intelektualne, ljudske i financijske.

Fizički resursi se odnose na fotonaponske sustave i baterije koji su instalirani sa svom opremom. Uz fizičke resurse tvrтка ima bitne intelektualne resurse u obliku svog ljudstva.



Energetski konzultanti koji rade s kupcima kako bi saznali želje te izradili financijski plan. Zatim visokokvalificirani inženjeri projektiraju fotonaponski sustav za točno određenu kuću držeći se najviših standarda. Instalaciju vrše profesionalno izučeni instalateri. Cijelu instalaciju i održavanje prati osobni konzultant za pojedini projekt te kupac preko aplikacije može pratiti status projekta. Putem iste aplikacije bi bilo moguće pratiti potrošnju te ukoliko postoje neki problemi moguće ih je u kratkom vremenskom roku riješiti. Taj sustav prati potrošnju te eventualno savjetuje kako bi se moglo efikasnije koristiti električnu energiju. Putem baterija se omogućuje maksimiziranje fotonaponskog sustava tako što se sprema prekomjerno proizvedena električna energija tokom dana te se troši kada je potrebna. Moguće je osmisliti način nagrađivanja radnika kako bi bili motiviraniji i radili najbolje što mogu. Također je presudno da je prisutan velik broj kvalificiranih radnika kako bi mogli pratiti širenje tvrtki na način da učinkovito i u obećanom roku završe instalaciju i ostale usluge kako bi se povećavao broj kupaca. Ključno je putem raznih tečajeva optimizirati prodajno osoblje kako bi i oni mogli pratiti rastuće tržište. Posljedica mogućeg stagniranja u širenju, treniranju i vođenju osoblja ima za posljedicu nemogućnost završetka projekata na vrijeme. Navedeno uništava reputaciju tvrtke i smanjuje rast iste, a to sve vodi smanjenju profita. Tvrtkama je potrebno mnogo financijskih sredstava kako bi mogle ponuditi prethodno navedene opcije financiranja. Da bi uspjevale pokriti navedene troškove potrebni su im investitori. Uz investitore značajna sredstva omogućuje Europska unija, Vlada te lokalna uprava koje potiču implementiranje obnovljivih izvora energije u sklopu plana 20/20/20. Ovo sve omogućuje povoljno cjenovno plasiranje fotonaponskih sustava s baterijama, no ovisi uvelike o zakonima i propisima koji potiču obnovljive izvore.

### **Koji su ključni partneri?**

Glavni partneri su potrošači, dobavljači, maloprodaja i ostali partneri koji povećavaju bazu korisnika (npr. građevinske firme) te investitori i ostali subjekti potrebni za financiranje projekata. Ovi partneri omogućuju da tvrtka ponudi najbolje fotonaponske sustave i usluge pri povoljnim cijenama. Maloprodajni partneri omogućuju da se dođe do više potrošača kroz različite kanale kao npr. partnerstvo sa građevinskim tvrtkama i maloprodajnim lancima. Iako je ovo relativno skupo, nužno je kako bi se poduzeće širilo te rasla dobit. Putem maloprodajnih lanaca se može velikom broju potencijalnih kupaca prenijeti informacija o novim tehnologijama. Investitori omogućuju kupcima primamljive načine financiranja. Tvrtke ne bi bile u mogućnosti ponuditi potrošačima fotonaponske sustave bez ikakvog plaćanja unaprijed bez njih. Također je bitno da tvrtke imaju dovoljno financijskih sredstava kako bi mogle širiti

bazu potrošača. Investitori imaju koristi od toga jer dobiju postotak dobitka. Oni dobiju povrat investiranih sredstava od dugoročnog plaćanja, poreznih olakšica i poticaja. U ključne partnere spadaju i dobavljači koji opskrbljuju tvrtke komponentama fotonaponskih sustava. Potrebno ih je imati više kako bi se omogućila povoljna cijena i pravovremena isporuka.

### **Koji su prodajni kanali?**

Uz najbolji poslovni plan i proizvode ključno je dosegnuti kupca i isporučiti mu proizvode i usluge. Ključ je u tome da se putem više različitih kanala dođe do različitih segmenata kupaca. Tvrtka bi do kupaca dolazila direktnim i indirektnim kanalima ili miješanim putem svojih ili partnerskih kanala. Različito prodajno osoblje, služba za korisnike i putem usmene predaje bili bi osnovni kanali. Glavne poruke za komunikaciju su smanjeni troškovi električne energije, kvalitetni proizvodi i unaprijeđene usluge. Glavna prednost ovih tvrtki u usporedbi s ostalim tvrtkama u ovoj djelatnosti je da kupcima pruža kompletnu uslugu prelaska na obnovljive izvore energije kao cjelokupan pristup uključujući prodaju, financiranje, održavanje te praćenje skupa s fotonaponskim sustavom, baterijama, evaluacijom energetske efikasnosti i drugih povezanih servisa i proizvoda. Bitno je dugoročno zadovoljstvo kupaca koje se postiže visokokvalitetnim proizvodima i uslugama kako bi se održala dobra reputacija.

Svi kanali imaju jedno zajedničko, a to je da je potreban individualan pristup svakom korisniku koji ovisi o željama potrošača i slobodnom mjestu pogodnom za instalaciju solarnih panela. U ovom kontekstu, tvrtka stvara vrijednost u kojem omogućuje rješenja kroz razne fotonaponske projekte za individualne potrebe. To se ostvaruje u razgovoru s energetske konzultantom u kojem se diskutira o potrebama električne energije i financijskim mogućnostima. Evaluacija se bazira na potrošnji električne energije u prošlosti te količini sunčeve energije koja je dostupna na mjestu na kojem se nalazi objekt. Prodajno osoblje zatim nudi početni plan za cijeli projekt. Ukoliko se kupci odluče za projekt moguće ga je odmah potpisati čak i putem e-potpisa. Jedna od glavnih poticaja treba biti da se pojednostavi pristup čistoj energiji.

Educirano prodajno osoblje koje ide 'od vrata do vrata' i stručno predstavlja proizvode i usluge tvrtke. Najvažnije je što takvo prodajno osoblje može naći kućanstva koja nisu bila upoznata s fotonaponskim sustavima te ima personaliziran pristup licem u lice. Ovaj pristup je pogotovo povoljan za starije potencijalne korisnike koji ne barataju internetom. Konkretno za otok Mljet više od polovice stanovnika nije čulo ili ne koristi internet prema popisu stanovništva iz 2011. godine. [56]

Call centar i virtualni prodajni uredi omogućuju jednostavniju korisničku podršku i pristup korisnicima bez potrebe dolaska u dom kupca. Tvrtka nudi fotonaponske sustave i proizvode energetske efikasnosti kako novim tako i starim kupcima.

Može se napraviti program u kojemu se plaća postotak obrtnicima, firmama, organizacijama ili bilo koja pravna osoba koja preporuči svoje mušterije ili članove tvrtkama i u konačnici dovede do potpisivanja ugovora. Tvrtka bi imala jednostavne načine komunikacije i marketinšku podršku kako bi se širila solarna energija svima dostupna te se u konačnici smanjili troškovi mjesečnog računa električne energije. Primjer osoba koje bi preporučile su agenti za nekretnine, arhitekti, poduzetnici te osiguravajuće i financijske kuće.

U prodajnim uredima potrošači mogu kupiti solarne proizvode kako bi napravili tranziciju na obnovljive izvore energije uz lokalni menadžment i tim instalatera. Taj ured bi se mogao nalaziti u nekom trgovačkom lancu kao npr. Bauhaus.

Partnerstvo s građevinskim tvrtkama omogućuje marketing za proizvode i servise. Primamljivo je da one otkupe ili unaprijed plate struju koja će se proizvesti, a to je veliki poticaj pri prodaji zgrade ili stana. Ovim partnerstvom bi se moglo zajedno brendirati oglase u časopisima, dijeliti letke, raditi internet marketing i dr. Ovo nudi građevinskim tvrtkama mogućnost uštede na krovovima.

Poticalo bi se dijeljenje iskustva s fotonaponskim panelima te bi se nudila novčana nagrada svakome tko preporuči solarne panele svom prijatelju, mušteriji ili nekom drugom te naposljetku ta osoba instalira navedene. Može se npr. održavati roštiljada u kojoj bi se pozvali prijatelji, susjedi, obitelj te bi oni gledali kako funkcionira instalirani solarni sustav. Prisutan bi bio solarni konzultant koji nudi odgovore na pitanja i daje besplatne savjete. Tvrtka bi novčano ili putem smanjenja iznosa računa nagrađivala korisnika ako neki gost odluči uzeti solarne panele preko roštiljade.

### **Kakav je odnos s kupcima?**

Može se napraviti distinkcija između domaćinstava, tvrtki te javnih objekata. Solarna tvrtka želi izgraditi i održati dugoročni dobar odnos sa klijentima kroz ponudu punih servisa zajedno sa unapređivanjem energetske efikasnosti. To bi se postizalo na način da bi svaki klijent imao svog osobnog konzultanta koji bi održavao dobar odnos i kroz 20 godina omogućio dodatne proizvode i usluge kako bi se dodatno smanjili troškovi struje. To sve bi podizalo vrijednost

branda. Kako 20 godina nadilazi očekivani životni vijek glavnih dijelova opreme time bi se isto omogućilo zamjenjivanje i unapređenje opreme. Nakon isteka 20 godina omogućuje se obnova ugovora jer je nakon zamjenjivanja i obnove opreme očekivani životni vijek čak 30 godina.

Osobna konzultacija i interakcija između tvrtke i klijenta se odvija od početka do kraja projekta. Klijenti mogu odabrati način takav da nazovu pozivni centar kako bi pričali s energetske savjetnikom ili mogu imati licem u lice razgovor s energetske savjetnikom na mjestu prodaje kako bi razgovarali o mogućem smanjenju troškova električne energije. Klijenti mogu stupiti u kontakt s njima u svako doba, e-mailom, pozivom ili razgovorom uživo.

Dobro razvijeni softver bi omogućio praćenje potrošnje energije i računa u stvarnom vremenu. Također bi na taj način bilo moguće praćenje mogućih kvarova i moglo bi se obavijestiti korisnike i tvrtku u trenutku nastanka kvara. Zbog praćenja potrošnje bilo bi moguće da tvrtka preporuči moguće poboljšanje sustava, neke poticaje vlade i europske unije ili neke druge usluge.

Web stranica na kojoj bi bila omogućena komunikacija među korisnicima i razmjena iskustava te bi bilo omogućeno rješavanje problema. Na toj web stranici koja može biti povezana putem aplikacije bilo bi omogućeno objavljivanje vijesti vezanih za ponudu tvrtke. Također bi se koristile društvene mreže za komunikaciju s kupcima kao npr. Facebook, Twitter itd. Ova komunikacija je ključna u tome da tvrtka razumije očekivanja i želje kupaca.

### **Koji su segmenti kupaca ?**

Glavni segmenti kupaca su stambeni objekti, tvrtke te javne zgrade poput fakulteta, ministarstava, škola itd. U stambenim objektima bi se moglo poticati vlasnike domova da uđu u zadrugu kojom bi prešli na održivu, čistu energiju sa nižim troškovima. Tvrtka bi uz kooperaciju lokalnih ureda za prostorno uređenje i podataka sunčeve radijacije za određeni prostor mogla unaprijed dobro procijeniti kako bi trebalo projektirati fotonaponski sustav s baterijama da može opskrbljivati energijom kao i do sad ili čak više nego do sad. Tvrtka B bi imala prednost u velikim stambenim ili javnim objektima kao npr. zgradama jer ne bi bilo potrebno imati bateriju u svakom stanu posebno nego bi se instalirala jedna velika za sve stanove. Ovakav način otvara mogućnost ulaska u partnerstvo s građevinskim tvrtkama koje se bave izgradnjom te prodajom zgrada.

---

**Kakva je struktura troškova?**

Cilj je da dobit dolazi od kako poslovnih tako i privatnih subjekata s najmanjim troškom kapitala. Profitabilnost ovisi o tome može li prihod pokriti varijabilne i fiksne troškove koji nastaju pri instalaciji ili se odnose na fotonaponske sustave. Mora se pokriti cijena komponenti, troškovi rada, marketinga, garancije i ostalih troškova. Mogući su dodatni troškovi ukoliko se ne ostvari obećana proizvodnja električne energije te u navedenom slučaju će biti potrebno nadoknaditi gubitke. Trošak predstavlja i skidanje te recikliranje solarnih panela i baterija nakon isteka ugovora.

**Koji su izvori prihoda ?**

Prihodi dolaze od ponude različitih solarnih proizvoda i usluga kako privatne tako i za poslovne subjekte. Prihodi dolaze od različitih tokova novca koji dolaze od kupaca iz različitih segmenata kako bi stvarale dobit. Dugoročni odnosi sa klijentima omogućuju razvijanje izvora prihoda od mjesečnih plaćanja dostave solarne energije (ili produkata i usluga) ili omogućavanje tehničke podrške. Doduše, izvori prihoda su obično prihodi od prodaje fotonaponskih sustava, prihodi prodajom električne energije pod lizingom ili PPA te prihodi ostvareni ponudom proizvoda i usluga za energetske efikasnost.

Prodaja fotonaponskih sustava i baterija podrazumijeva kupovinu fotonaponskog sustava s baterijama dugoročnim načinom financiranja npr. zajmom. Prihodi ostvareni tijekom dugoročnog ugovora uzimaju još i u obzir troškove održavanja. Tvrtka B može omogućiti zakup prostora u velikoj bateriji.

Prihod od proizvoda i usluga za poboljšanje energetske efikasnosti se dobije nakon završetka projekta. Prodaje se kao samostalna komponenta ili se spaja s prodajom fotonaponskih sustava i baterija pod PPA ili lizingom.

Prihodi ovise o vremenskim uvjetima i vladinim poticajima jer količina energije proizvedene ovisi direktno o vremenskim uvjetima te ukoliko je dobro vrijeme eksponencijalno raste dobit od povećanja klijenata koji imaju PPA ili se plaća putem poticaja. Također na dobit utječe broj pretplatnika, mogućnost dodatnog toka novca od investitora, troškovi opreme te mogućnost smanjenja troškova poslovanja.

## Koje su glavne aktivnosti ?

Glavne aktivnosti su sljedeće:

- 1) Nabava visokokvalitetnih fotonaponskih sustava od najboljih proizvođača kako bi se jamčila visoka kvaliteta i efikasnost uz dugovječnost solarnih sustava,
- 2) Omogućavanje financiranja putem PPA ili lizinga na taj način energija iz obnovljivih izvora postaje dostupna svima
- 3) Razvoj korisničke platforme kojom bi bilo omogućeno ubrzano projektiranje i posljedično brža instalacija fotonaponskog sustava
- 4) Razne mjere kojima bi se poticalo potpisivanje novih klijenata

### 4.2. Tehno ekonomska analiza

Cijena solarnog sustava od 3120 kW iznosi 35 307 kn odnosno 4707 EUR. Cijena je dobivena ponudom Solarshopa iz Zagreba. Prosječna vrijednost godišnje insolacije na otoku Mljetu iznosi oko 1830 kWh/m<sup>2</sup>, što znači da ovakav sustav proizvodi oko 4300 kWh godišnje električne energije [57]. U slučaju tvrtke A izabrana je baterija Tesla Powerwall koja može spremiti 14 kWh električne energije po cijeni od 6770 EUR uz inverter i ostale komponente dok je u slučaju tvrtke B uzet primjer instalacije Teslinog Powerpacka čija je cijena oko 303 700 EUR za 1,03 MWh. Za efikasnost sustava je uzeto da linearno pada kroz godine do konačnih 80 % nakon 20 godina [58]. Cijene električne energije su uzete po HEP-ovom cjeniku iz rujna 2017. uz pretpostavljen godišnji rast cijene od 2 %. Razmatra se idealni slučaj u kojem je proizvodnja i potrošnja baterije približno jednaka, a baterija nadoknađuje kada to nije slučaj. Zbog toga je izostavljeno razmatranje ubacivanja električne energije u mrežu. Nakon provedene tehno ekonomske analize zaključuje se da se za tvrtku A za niti jedan životni vijek ne dobiva isplativost projekta. Dobivaju se redom za 10, 15 i 20 godina IRR vrijednosti od -10 %, -2 % te 1 % dok su cijene baterije za koju je projekt isplativ redom 366 EUR, 1963 EUR te 3387 EUR. Dok su za tvrtku B redom IRR vrijednosti za 10, 15 i 20 godina -6 %, 1 % te 4 %, a cijene baterije za koju je projekt isplativ redom 370 EUR, 2017 EUR te 3326 EUR po kućanstvu. U slučaju tvrtke B razmatrano je na način da se kapacitet Tesla Powerpacka podijeli na 75 kućanstava što odgovara kapacitetu Tesla Powerwalla od 14 kWh. Ukoliko pretpostavimo da svako kućanstvo ne koristi 14 kWh nego primjerice 7 kWh ili 10 kWh kapaciteta Tesla

Powerpacka dobivamo sljedeće rezultate: Za 7 kWh svako kućanstvo treba izdvojiti 2065 EUR za svoj dio baterije, a IRR vrijednosti su redom za 10, 15 i 20 godina -1%, 5% te 7%, dok za 10 kWh baterije po kućanstvu svako kućanstvo od njih ukupno 103 treba izdvojiti 2949 EUR za svoj dio baterije te su IRR vrijednosti redom -3%, 3% te 6%.

**Tablica 2. Parametri tehno ekonomske analize**

Parametar	Tvrtka A-baterija u kućanstvu	Tvrtka B- baterija na mreži
Diskontna stopa	5 %	5 %
Cijena FN sustava	4707 EUR	4707 EUR
Proizvodnja električne energije putem FN	4340 kWh	4340 kWh
Životni vijek opreme	10, 15 i 20 godina	10, 15 i 20 godina
Cijena baterije	6770 EUR Tesla Powerwall [59]	303700 EUR – Tesla Powerpack [60]
Kapacitet baterije	14 kWh	1,03 MWh
Efikasnost sustava	Linearan pad do 80 % nakon 20 godina [58]	Linearan pad do 80 % nakon 20 godina [58]
Električne energije (HEP rujana 2017.)	0,1167 EUR/kWh	0,1167 EUR/kWh
Fiksno plaćanje za opskrbu i mjerno mjesto	27,84 EUR/godišnje	27,84 EUR/godišnje
Pretpostavljeni godišnji rast cijene električne energije	2 %	2 %

**Tablica 3. Cash flow tablica za FN s baterijom za svako kućanstvo zasebno**

Investicija		Proizvodnja			Prihodi u EUR	Troškovi u EUR	Cashflow U EUR
Godina		Cijena kWh struje u EUR	Proizvodnja iz FN (kWh)	Smanjenje efikasnosti FN (kWh)	Trošak električne energije za 4200 kWh	Zbog smanjenja efikasnosti FN	
0	11477.6	0.117	4200	0	585.2	0.0	-10892.4
1	0	0.119	4158	42	590.6	37.1	553.5
2	0	0.121	4116	84	596.0	43.0	553.0
3	0	0.124	4074	126	601.4	49.1	552.3
4	0	0.126	4032	168	606.8	55.4	551.4
5	0	0.129	3990	210	612.2	62.0	550.2
6	0	0.131	3948	252	617.6	68.9	548.7
7	0	0.134	3906	294	623.0	76.0	547.0
8	0	0.137	3864	336	628.3	83.4	544.9
9	0	0.139	3822	378	633.6	91.0	542.6
10	0	0.142	3780	420	638.9	99.0	540.0
11	0	0.145	3738	462	644.2	107.2	537.0
12	0	0.148	3696	504	649.4	115.7	533.7
13	0	0.151	3654	546	654.6	124.6	530.0
14	0	0.154	3612	588	659.8	133.7	526.0
15	0	0.157	3570	630	664.9	143.2	521.6
16	0	0.160	3528	672	670.0	153.1	516.9
17	0	0.163	3486	714	675.0	163.3	511.7
18	0	0.167	3444	756	679.9	173.8	506.1
19	0	0.170	3402	798	684.8	184.7	500.1
20	0	0.173	3360	840	689.7	196.0	493.7

**Tablica 4. Cash flow tablica za FN s baterijom na mreži za 7 kWh po kućanstvu**

Investicija		Proizvodnja			Prihodi u EUR	Troškovi u EUR	Cashflow U EUR
Godina		Cijena kWh struje u EUR	Proizvodnja iz FN (kWh)	Smanjenje efikasnosti FN (kWh)	Trošak električne energije za 4200 kWh	Zbog smanjenja efikasnosti FN	
0	6773.586	0.117	4200	0	585.2	0.0	-6188.4
1	0	0.119	4158	42	590.6	37.1	558.9
2	0	0.121	4116	84	596.0	43.0	564.2
3	0	0.124	4074	126	601.4	49.1	569.4
4	0	0.126	4032	168	606.8	55.4	574.6
5	0	0.129	3990	210	612.2	62.0	579.7
6	0	0.131	3948	252	617.6	68.9	584.9
7	0	0.134	3906	294	623.0	76.0	590.0
8	0	0.137	3864	336	628.3	83.4	595.1
9	0	0.139	3822	378	633.6	91.0	600.2
10	0	0.142	3780	420	638.9	99.0	605.2
11	0	0.145	3738	462	644.2	107.2	610.2
12	0	0.148	3696	504	649.4	115.7	615.1
13	0	0.151	3654	546	654.6	124.6	620.1
14	0	0.154	3612	588	659.8	133.7	624.9
15	0	0.157	3570	630	664.9	143.2	629.7
16	0	0.160	3528	672	670.0	153.1	634.4
17	0	0.163	3486	714	675.0	163.3	639.1
18	0	0.167	3444	756	679.9	173.8	643.7
19	0	0.170	3402	798	684.8	184.7	648.3
20	0	0.173	3360	840	689.7	196.0	652.7

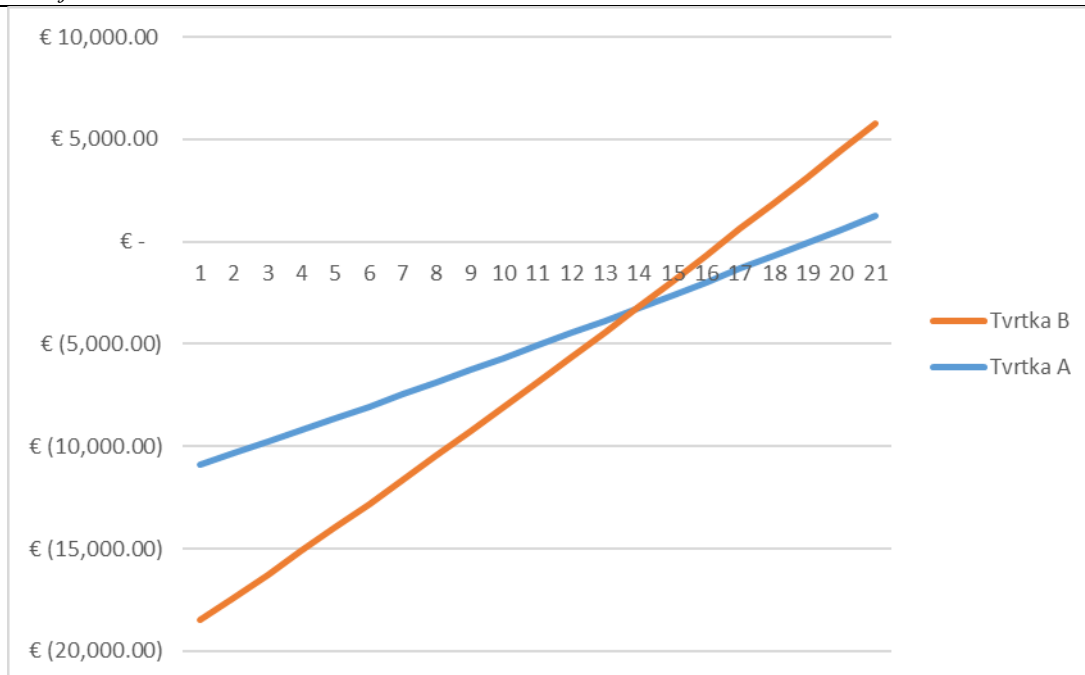


Tablica 5. Cash flow tablica za FN s baterijom na mreži za 10 kWh po kućanstvu

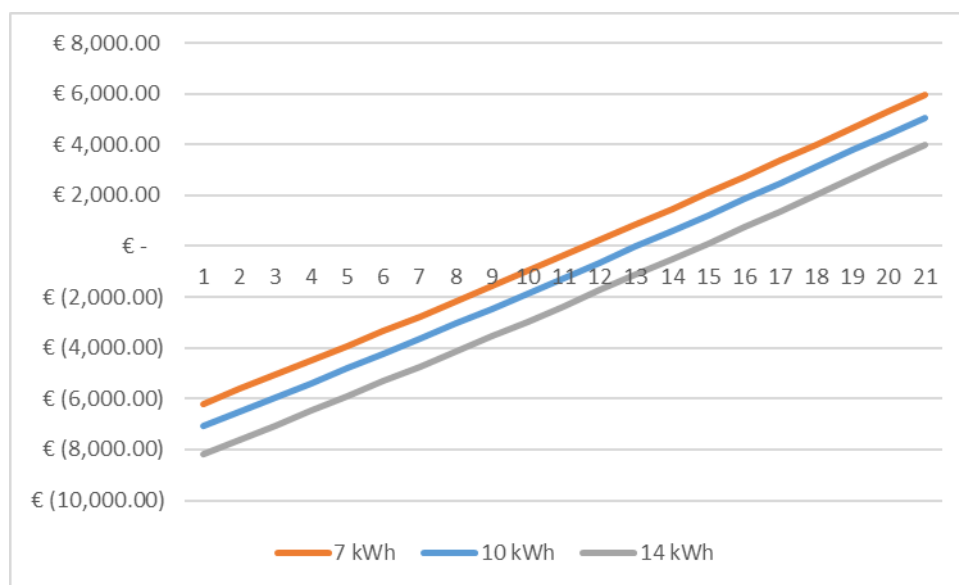
Investicija		Proizvodnja			Prihodi u EUR	Troškovi u EUR	Cashflow U EUR
Godina		Cijena kWh struje u EUR	Proizvodnja iz FN (kWh)	Smanjenje efikasnosti FN (kWh)	Trošak električne energije za 4200 kWh	Zbog smanjenja efikasnosti FN	
0	7656.144	0.117	4200	0	585.2	0.0	-7071.4
1	0	0.119	4158	42	590.6	37.1	558.9
2	0	0.121	4116	84	596.0	43.0	564.2
3	0	0.124	4074	126	601.4	49.1	569.4
4	0	0.126	4032	168	606.8	55.4	574.6
5	0	0.129	3990	210	612.2	62.0	579.7
6	0	0.131	3948	252	617.6	68.9	584.9
7	0	0.134	3906	294	623.0	76.0	590.0
8	0	0.137	3864	336	628.3	83.4	595.1
9	0	0.139	3822	378	633.6	91.0	600.2
10	0	0.142	3780	420	638.9	99.0	605.2
11	0	0.145	3738	462	644.2	107.2	610.2
12	0	0.148	3696	504	649.4	115.7	615.1
13	0	0.151	3654	546	654.6	124.6	620.1
14	0	0.154	3612	588	659.8	133.7	624.9
15	0	0.157	3570	630	664.9	143.2	629.7
16	0	0.160	3528	672	670.0	153.1	634.4
17	0	0.163	3486	714	675.0	163.3	639.1
18	0	0.167	3444	756	679.9	173.8	643.7
19	0	0.170	3402	798	684.8	184.7	648.3
20	0	0.173	3360	840	689.7	196.0	652.7

Tablica 6. Cash flow tablica za FN s baterijom na mreži za 14 kWh po kućanstvu

Investicija		Proizvodnja			Prihodi u EUR	Troškovi u EUR	Cashflow U EUR
Godina		Cijena kWh struje u EUR	Proizvodnja iz FN (kWh)	Smanjenje efikasnosti FN (kWh)	Trošak električne energije za 4200 kWh	Zbog smanjenja efikasnosti FN	
0	8756.933	0.117	4200	0	585.2	0.0	-8171.8
1	0	0.119	4158	42	590.6	37.1	558.9
2	0	0.121	4116	84	596.0	43.0	564.2
3	0	0.124	4074	126	601.4	49.1	569.4
4	0	0.126	4032	168	606.8	55.4	574.6
5	0	0.129	3990	210	612.2	62.0	579.7
6	0	0.131	3948	252	617.6	68.9	584.9
7	0	0.134	3906	294	623.0	76.0	590.0
8	0	0.137	3864	336	628.3	83.4	595.1
9	0	0.139	3822	378	633.6	91.0	600.2
10	0	0.142	3780	420	638.9	99.0	605.2
11	0	0.145	3738	462	644.2	107.2	610.2
12	0	0.148	3696	504	649.4	115.7	615.1
13	0	0.151	3654	546	654.6	124.6	620.1
14	0	0.154	3612	588	659.8	133.7	624.9
15	0	0.157	3570	630	664.9	143.2	629.7
16	0	0.160	3528	672	670.0	153.1	634.4
17	0	0.163	3486	714	675.0	163.3	639.1
18	0	0.167	3444	756	679.9	173.8	643.7
19	0	0.170	3402	798	684.8	184.7	648.3
20	0	0.173	3360	840	689.7	196.0	652.7



**Slika 11.** Cash flow kroz godine tvrtke A i tvrtke B za 14 kWh po kućanstvu



**Slika 12.** Cash flow kroz godine tvrtke B za kapacitet baterija od 7 kWh, 10 kWh te 14 kWh po kućanstvu

**Tablica 7. Cijena električne energije pri kojoj je sustav isplativ**

Životni vijek opreme (godina)	10	15	20
Tvrtka A (Tesla Powerwall 14 kWh)	0,26 EUR/kWh	0,20 EUR/kWh	0,16 EUR/kWh
Tvrtka B (Tesla Powerpack 14 kWh po kućanstvu)	0,20 EUR/kWh	0,15 EUR/kWh	0,13 EUR/kWh
Tvrtka B (Tesla Powerpack 10 kWh po kućanstvu)	0,18 EUR/kWh	0,14 EUR/kWh	Isplativo je- IRR=6%
Tvrtka B (Tesla Powerpack 7 kWh po kućanstvu)	0,15 EUR/kWh	0,12 EUR/kWh	Isplativo je- IRR=7%

\*Pri analizi troškova električne energije fiksni dio troškova za opskrbu i priključak u iznosu od 27.84 EUR godišnje je ostao konstantan

## **5. ZAKLJUČAK**

Hrvatska, pogotovo njeni južniji dijelovi zbog velike insolacije imaju značajan fotonaponski potencijal. U ovom radu osmišljen je poslovni model za integraciju fotonaponskih sustava s baterijama u kućanstvima i baterijom na mreži na otoku Mljetu. Nakon provedene tehno ekonomske analize zaključeno je da je projekt neisplativ za slučajeve u kojima svako kućanstvo ima na raspolaganju 14 kWh kapaciteta električne energije bilo u bateriji na mreži bilo u bateriji u kućanstvu, a glavni razlog je previsoka cijena baterija. Iako se predviđa da će ta cijena vremenom padati kako će doći do razvijanja novih tehnologija to u ovom trenutku još nije slučaj. Također, porastom broja električnih automobila otvara se mogućnost korištenja njihovih baterija koje će postati nedovoljno dobre za namjenu u automobilima zbog smanjene gustoće energije što za stambene svrhe nema veliki značaj. Baterije bi u primjeni sa fotonaponskim sustavima mogle revolucionirati način na koji koristimo energiju te je sad tek početak njihove primjene i očekuje se daljnji razvoj. One omogućuju spremanje viška proizvedene električne energije te njegovo korištenje kada je to potrebno. Ukoliko promatramo bateriju od 1 MWh ona nudi maksimizaciju iskoristivosti kroz napredne sustave vođenja i pretpostavku da svako kućanstvo neće kontinuirano koristiti 14 kWh zakupljeno. Kao što je pokazano uz pretpostavku zakupa 7 kWh po kućanstvu, odnosno 10 kWh po kućanstvu ostvarena je isplativost uz vijek trajanja opreme od 20 godina. Treba napomenuti da je ova analiza provedena uz dosta pretpostavki te bi se za konkretnije podatke trebala provesti dodatna analiza.

## 6. LITERATURA

- [1] A. Čotar, Fotonaponski sustavi, Rijeka, 2012.
- [2] <https://www.google.it/maps/place/Mljet/@42.8360973,17.2026472,9.48z/data=!4m5!3m4!1s0x134bb88fa0af9aa3:0xd0adaf419f1911ef!8m2!3d42.7477712!4d17.5150139>.
- [3] <http://policonomics.com/experience-curve/>.
- [4] International Energy Agency. Key world energy statistics, 2014.
- [5] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change, 2014.
- [6] European Commission. Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth, 2010.
- [7] Parra D et al. Optimum community energy storage system for PV energy timeshift. Appl Energy, 2015.
- [8] Colmenar-Santos A et al. Profitability analysis of grid-connected photovoltaic, 2012.
- [9] Shivashankar S et al. Mitigating methods of power fluctuation of photovoltaic, 2016.
- [10] Luthander R et al. Photovoltaic self-consumption in buildings: a review. Appl.
- [11] Luthander R et al. Photovoltaic self-sufficiency in buildings: a review. Appl, 2015.
- [12] Munkhammar J, Grahn P, Widén J. Quantifying self-sufficiency of on-site, 2013.
- [13] Drysdale B, Wu J, Jenkins N. Flexible demand in the GB domestic electricity, 2015.
- [14] Hoppmann J et al. The economic viability of battery storage for residential, 2014.
- [15] Eurostat. Table nrg\_100a – simplified energy balances – annual data. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database> on 11/07/2015.
- [16] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/iea-global-installed-pv-capacity-leaps-to-303-gw,19.9.2017..>
- [17] Balcombe P, Rigby D, Azapagic A. Energy self-sufficiency, grid demand variability and consumer costs: integrating solar PV, Stirling engine CHP and battery storage, Appl Energy, 2015.
- [18] European Commission. Best practices on renewable energy selfconsumption. European Commission, 2015.
- [19] Petersen Jens-Phillip. Energy concepts for self-supplying communities based on local and renewable energy sources: a case study from northern Germany. Sustain Cities Soc, 2016.
- [20] Parra D, Pattel M. Effect of tariffs on the performance and economic benefits of PV-coupled battery systems. Appl Energy, 2016.
- [21] European Commission. Local storage: the way forward for solar PV? Strategic Energy Technologies Information System, 2013.
- [22] Steel W. Sweden set to launch residential energy storage scheme. Renew Energy World, 2016.
- [23] Self-generation incentive program. California public utilities commission <<http://www.cpuc.ca.gov/sgip/>> [accessed January 2017].

- [24] Sustainability Incentives Scheme. Adelaide city council.  
<<http://www.adelaidecitycouncil.com/your-council/funding/sustainable-city-incentivesscheme/>> [accessed January 2017].
- [25] Egido M, Lorenzo E. The sizing of stand alone PV-systems: a review and a proposed new method. *Sol Energy Mater Sol Cells*, 1992.
- [26] <http://www.chemistryexplained.com/Ru-Sp/Solar-Cells.html>, April 2017.
- [27] A. a. Mermin, *Solid state physics*, 1976.
- [28] <https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/considerations-grid-pv-systems>, April, 2017.
- [29] <http://raciohouse.sk/statna-dodacia/>, 15.06.2017..
- [30] <http://www.solardirect.com/pv/pvbasics/pvbasics.htm>.
- [31] Crompton, T. R. (2000-03-20). *Battery Reference Book* (third ed.). Newnes. p. Glossary 3. ISBN 0080499953.
- [32] Hoppmann J et al. The economic viability of battery storage for residential, 2014.
- [33] Chung D, Elgqvist E, Santhanagopalan S. Automotive lithium-ion battery (LIB) supply chain and U.S. competitiveness considerations. *Clean energy manufacturing center*, 2015.
- [34] Diouf B, Podo R. Potential of lithium-ion batteries in renewable energy. *Renew Energy*, 2015.
- [35] Grace K. Where will the graphite. lithium and cobalt for the battery revolution come from? *The mining report*, 2015.
- [36] Wang X et al. Economic and environmental characterization of an evolving Liion battery waste stream. *J Environ Manage*, 2014.
- [37] Assunção A, Moura P, Almeida A. Technical and economic assessment of the Assunção A, Moura P, Almeida A. Technical and economic assessment of the to support solar energy. *Appl Energy*, 2016.
- [38] Darcovich K et al. Control strategies and cycling demands for Li-ion storage batteries in residential micro-cogeneration systems. *Appl Energy*, 2015.
- [39] <http://www.small-farm-permaculture-and-sustainable-living.com/what-are-the-best-batteries-for-stand-alone-power-systems1.html>.
- [40] <https://www.solar-electric.com/learning-center/batteries-and-charging/battery-types-for-solar-electric-systems.html>.
- [41] <http://www.solarpowerworldonline.com/2015/08/what-is-the-best-type-of-battery-for-solar-storage/>.
- [42] C. Zott, R. Amit, L. Massa, The business model: recent developments and future research, *J. Manage* 37, 2011.
- [43] H. Chesbrough, R. Rosenbloom, The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spinoff companies, *Ind. Corp. C.* 11, 2002.
- [44] M. Morris, M. Schindehutte, J. Allen, The entrepreneur's business model: toward a unified perspective, *J. Bus. Res.* 58 (2005) 726e735, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.,> 2003.
- [45] J. Magretta, Why business models matter, *Harv Bus. Rev.* 80 (5), 2002.
- [46] <http://strujaplin.com/energetsko-trziste/potrosnja-struje>.
- [47] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>.

- 
- [48] <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2015/11/19/complete-battery-storage-comparison-and-review>, 22.09.2017..
- [49] <http://www.investopedia.com/ask/answers/021115/what-formula-calculating-net-present-value-npv-excel.asp>.
- [50] P. H. Guilherme de Oliveira e Silva, Photovoltaic self-sufficiency of Belgian households using lithium-ion batteries, and its impact on the grid, 2017.
- [51] De Reuver, Mark, Harry Bouwman, and Timber Haaker. "Business model roadmapping: A practical approach to come from an existing to a desired business model." *International Journal of Innovation Management* 17.01 (2013).
- [52] Y. P. Alexander Osterwalder, *Business Model Generation*, 2010.
- [53] Li J, Danzer M. Optimal charge control strategies for stationary photovoltaic battery systems. *J Power Sour*, 2014.
- [54] [http://www.dzs.hr/Hrv/censuses/census2011/results/htm/h02\\_01\\_01/h02\\_01\\_01\\_zup19.html](http://www.dzs.hr/Hrv/censuses/census2011/results/htm/h02_01_01/h02_01_01_zup19.html).
- [55] <http://prigorski.hr/zbog-pozara-problemi-s-elektricnom-energijom-i-telekomunikacijama/>, 9.16.2017..
- [56] [http://www.dzs.hr/Hrv/censuses/census2011/results/htm/h01\\_01\\_34/h01\\_01\\_34\\_zup19\\_2682.html](http://www.dzs.hr/Hrv/censuses/census2011/results/htm/h01_01_34/h01_01_34_zup19_2682.html).
- [57] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>.
- [58] <http://energyinformative.org/lifespan-solar-panels/>.
- [59] [https://www.tesla.com/de\\_DE/powerwall?redirect=no](https://www.tesla.com/de_DE/powerwall?redirect=no), 25.5.2017..
- [60] <http://www.businessinsider.com/tesla-powerpack-2-commercial-battery-facts-features-2016-11?IR=T#the-powerpack-is-massive-at-a-weight-of-3575-pounds-its-capable-of-storing-up-to-200-kwh-of-energy-per-pack-3>, 15.05.2017..
- [61] International Energy Agency. 2014 snapshot of global PV markets, 2015.
- [62] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/its-official-more-residential-solar-customers-buy-than-lease>.
- [63] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/us-residential-solar-purchases-will-overtake-leasing-in-2017>.

---

**PRILOZI**

I. CD-R disc