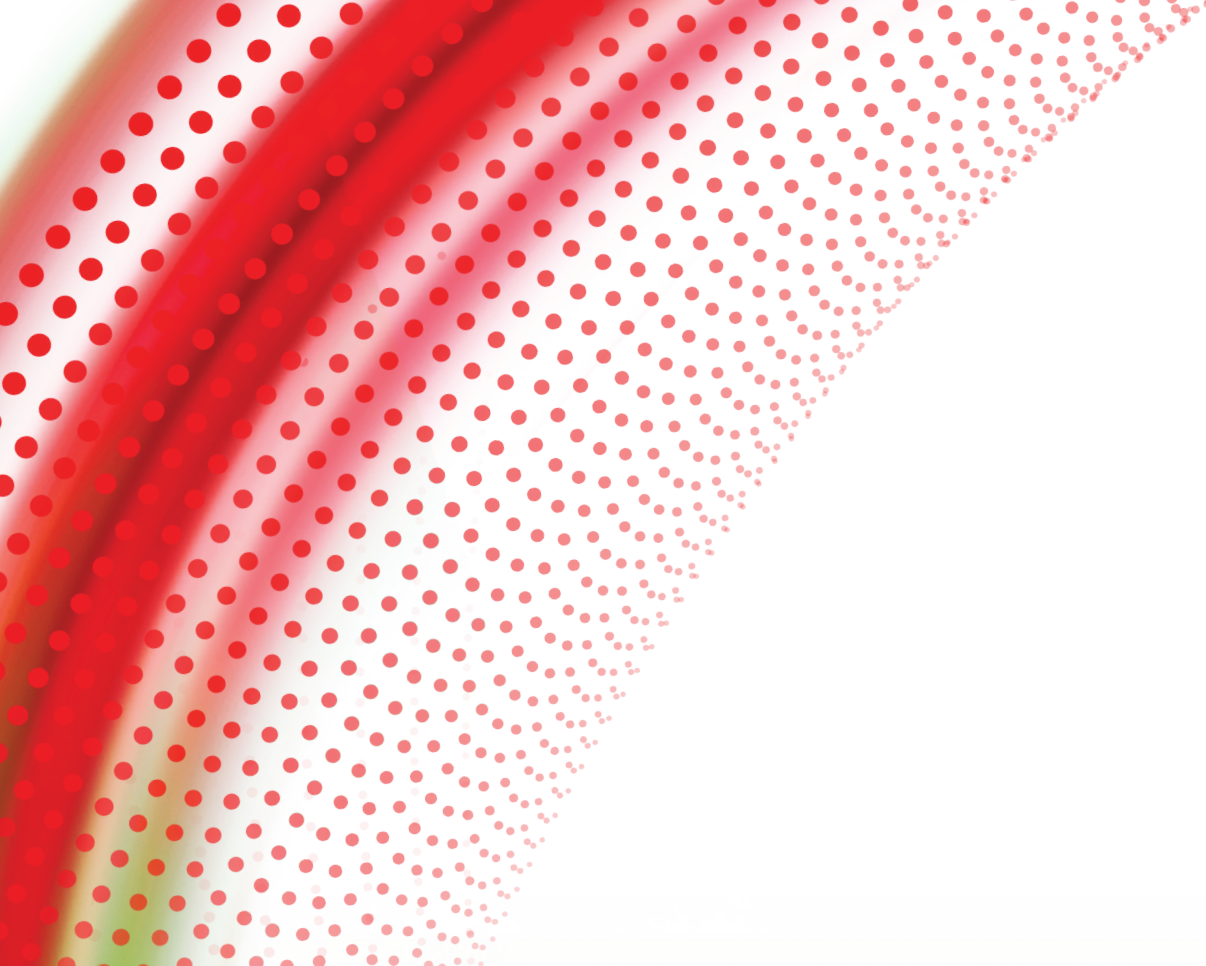




PRIRUČNIK ZA MONTERE SOLARNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA





**Saša Skoko
Marjan Lj. Ivanov
Van. prof. dr Zoltan Čorba
Prof. dr Boris Dumnić**

PRIRUČNIK ZA MONTERE SOLARNIH FOTONAPONSKIH SISTEMA



**PROMOCIJA OBNOVLJIVIH
IZVORA ENERGIJE I ENERGETSKE
EFIKASNOSTI U SRBIJI**

**Novi Sad
2022.**

Priručnik je rezultat projekta „Promocija obnovljivih izvora energije i energetske efikasnosti u Srbiji“ koji zajednički realizuju kompanija Energy Net i Nemačka organizacija za međunarodnu saradnju u Srbiji (GIZ).

Nijedan deo ovog priručnika se ne može reprodukovati ili prenositi u bilo kojoj formi ili na bilo koji način, elektronski, mehanički ili drugačije, uključujući (ali ne samo ograničeno) na fotokopiranje, zapisivanje ili korišćenje informacija, istraživanje, bez pismene dozvole autora ili vlasnika autorskih prava.

Tiraž
60 primeraka

PREDGOVOR

Živimo u vremenu kada je čovečanstvo suočeno sa velikim brojem ekoloških izazova koji se u velikoj meri mogu prevazići korišćenjem i primenom potencijala obnovljivih izvora energije. Svesna tog potencijala, Srbija je 2020. godine postala jedna od zemalja potpisnica Sofijske deklaracije o Zelenoj agendi za Zapadni Balkan prema kojoj se nastoji uticati na to da se države regiona usklade sa evropskim ciljem za postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine. Kada su u pitanju obnovljivi izvori energije, procena je da bi iz raspoloživih potencijala Srbija mogla da zadovolji oko 50 posto energetske potrebe.

Pored velikog potencijala koji ima u biomasi i geotermalnim izvorima, veliki potencijal se takođe nalazi u solarnoj energiji. Na većem delu teritorije Republike Srbije broj sati sunčevog zračenja znatno je veći nego u većini evropskih zemalja (između 1500 i 2200 sati godišnje), a jugoistočni deo naše zemlje ima najbolje uslove. Uzevši u obzir ekološke izazove sa kojima se suočava cela planeta, neophodno je preduzeti određene mere i adekvatan strateški pristup rešavanju postojećih i sprečavanju nastanka novih problema u oblasti ekologije i zaštite životne sredine.

S obzirom na to da je Vlada republike Srbije prepoznala potencijal obnovljive energije i postavila za cilj povećanje učešća obnovljivih izvora energije u bruto finalnoj potrošnji energije kao i unapređenje energetske efikasnosti u svim sektorima, od velike je važnosti postaviti dobre temelje i stvoriti adekvatne preduslove za realizaciju aktivnosti koje će doprineti ostvarivanju ciljeva kao i podizanju niva znanja i poslovnih kapaciteta kako bi se što adekvatnije odgovorilo na izazove savremenog društva.

Solarna energija postaje sve pristupačnija, a proizvodnja struje iz sunčeve energije je sve prisutnija kako u svetu tako i kod nas. Ova industrija se danas dosta brzo razvija i to dovodi do postojanja sve većeg izbora solarne tehnologije na tržištu kao i potrebe za jačanjem kapaciteta montera firmi. Monter solarnih sistema je postalo sve traženije zanimanje, a s obzirom na to da je reč o novoj i specifičnoj profesiji, potrebno je obučiti i osposobiti dovoljan broj ljudi koji će biti osposobljeni za samostalan rad i odgovoriti na potrebe savremenog tržišta rada.

Kontinuirana edukacija ima veliku važnost za profesionalni uspeh kao i povezivanje različitih teorijskih koncepata sa realnom primenom u radnom okruženju. Kao prilog tome, nastao je ovaj priručnik čiji je cilj da omogući pojedincima da brže i lakše steknu potrebno znanje i razviju veštine za obavljanje poslova montera solarnih fotonaponskih sistema. Sadržaj priručnika je prilagođen i namenjen za obuku montera solarnih fotonaponskih sistema i pokriva sve važne teme počevši od osnova elektrotehnike, informacija o fotonaponskim sistemima, uslovima instalacija, bezbednosnim merama kao i razvijanju poslovne prakse i razumevanju zahteva i potreba korisnika fotonaponskih sistema.

Priručnik je nastao kao rezultat saradnje kompanije Energy Net i Nemačke organizacije za međunarodnu saradnju u Srbiji (GIZ) koje zajednički realizuju projekat „Promocija obnovljivih izvora energije i energetske efikasnosti u Srbiji“.



SADRŽAJ

1. Osnovi elektrotehnike.....	9
2. Određivanje zahteva i potreba korisnika fotonaponskog sistema.....	45
3. Razvoj poslovne prakse.....	55
4. Opšte informacije o fotonaponskim sistemima.....	61
5. Bezbednosne mere.....	77
6. Uslovi instalacije.....	99
7. Mehanička instalacija	107
8. Električne instalacije.....	117
9. Održavanje fotonaponskih sistema.....	123
10. Dijagnostikovanje i popravka fotonaponskih sistema.....	129



1. OSNOVI ELEKTROTEHNIKE



1. UVOD

1.1. MERNE JEDINICE

Na desetoj Generalnoj konferenciji za tegove i mere (CGPM) 1954 godine usvojeno je šest osnovnih jedinica, a to su: metar, koligram, sekunda, amper, kelvin i kandela. Ovom osnovnom sistemu jedinica je kasnije dodata i jedinica mol.

CGPM je dala ime Internacionalni sistem jedinica internacionalne oznake SI za taj sistem.

Osnovne merne jedinice i veličine SI sistema, kojih ukupno ima sedam, na koje se te jedinice odnose i oznake mernih jedinica su:

VELIČINA	OSNOVNA MERNJA JEDINICA	OZNAKA
Dužina	metar	m
Masa	kilogram	kg
Vreme	sekunda	s
Jačina električne struje	amper	A
Termodinamička temperatura	Kelvin	K
Svetlosna jačina	kandela	cd
Količina materije	mol	mol

Naknadno usvojene jedinice SI sistema su:

- ravni ugao - jedinica je radijan a oznaka rad.
- prostorni ugao – jedinica je steradian a oznaka sr.

Izvedene merne jedinice se obrazuju od osnovnih mernih jedinica pomoću algebarskih izraza upotrebom matematičkih simbola množenja i deljenja.

U spisku mernih jedinica, koje pripadaju SI, koji je odštampan uz ovaj zakon i čini njegov sastavni deo, određeno je šta se podrazumeva pod tom veličinom i mernom jedinicom.

Izvedene jedinice SI sistema su:

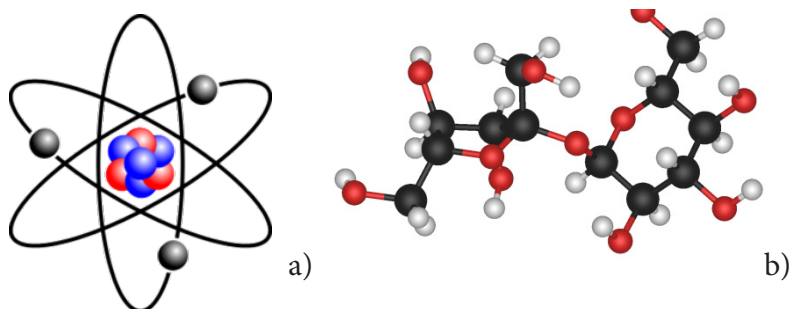
VELIČINA	JEDINICA	SIMBOL (OZNAKA)	IZVEDENA OZNAKA
količina naelektrisanja	kulon	C	As
električni napon	volt	V	$\text{kg m}^2 / \text{A s}^3$
otpor	om	Ω	$\text{kg m}^2 / \text{A}^2 \text{s}^3 ; \text{V} / \text{A}$
provodnost	simens	S	$1 / \Omega ; \text{A}^2 \text{s}^3 / \text{kg m}^2$
kapacitivnost	farad	F	$\text{C} / \text{V} ; \text{A}^2 \text{s}^4 / \text{kg m}^2$
magnetni fluks	veber	Wb	$\text{V s} ; \text{kg m}^2 / \text{A s}^2$
induktivnost	henri	H	$\text{Wb} / \text{A} ; \text{kg m}^2 / \text{A}^2 \text{s}^2$
magnetna indukcija	tesla	T	$\text{V s} / \text{m}^2 ; \text{Wb} / \text{m}^2 ; \text{kg} / \text{A s}^2$
električna indukcija	kulon po kvadr. metru	–	$\text{C} / \text{m}^2 ; \text{A s} / \text{m}^2$
sila	njutn	N	kg / s^2
rad , energija	džul	J	$\text{N m} ; \text{W s} ; \text{kg m}^2 / \text{s}^2$
snaga	vat	W	$\text{V A} ; \text{kg m}^2 / \text{s}^3 ; \text{J} / \text{s}$
jačina električnog polja	njutn po kulonu	–	$\text{N} / \text{C} ; \text{V} / \text{m} ; \text{kg m} / \text{A s}^3$
jačina magnetnog polja	amper po metru	–	$\text{A} / \text{m} ; \text{N} / \text{Wb}$
frekvencija	herc	Hz	$\text{cikl} / \text{m} ; 1 / \text{s}$
pritisak, naprezanje	njutn po kvadr. metru	–	N / m^2

U spisku mernih jedinica navedene su i merne jedinice koje se mogu upotrebljavati i ako ne pripadaju Međunarodnom sistemu mernih jedinica.

2. ELEKTROSTATIKA

2.1. STRUKTURA MATERIJJE

Imajući u vidu da energija predstavlja opšte stanje materije, odnosno da postoji jaka sprega između materije i odgovarajuće energije neophodno je prvo obratiti pažnju na strukturu materije. Razumevanje električne energije i svih pojava u elektrotehnici zahteva poznavanje strukture materije. Pod pojmom materije podrazumeva se sve ono što objektivno i nezavisno postoji od posmatrača. Pa i sam posmatrač sačinjen je od materije. Posmatrač zapaža materiju prevashodno kroz postojanje različitih materijala i fizičkih tela koji ga ogružuju. Međutim, materija ne mora da ima samo fizički oblik i da bude fizički i vizuelno opipiliva. U prirodi postoje i drugi oblici materije a koje posmatrač ne može prosto registrovati. Tu se prevashodno misli na postojanje različitih polja, kao što je gravitaciono, magnetni, električno, elektromagnetno i sl. Polje ma koje prirode bilo, nemože se osetiti (to je specijalno stanje materije i prostora) prostim čulima ali je moguće detektovati njihov uticaj na pojave u prirodi.



Slika 2.1 Principijelni izgled
a) atoma materijala, b) molekula – veza više atoma različitih osobina

Sa hemijskog aspekta poznato je da se sva tela sastoje iz molekula, dok molekul predstavlja veza više atoma istih ili različitih osobina. Atom ima veoma složenu strukturu koja se i danas analizira i izučava. Složenost strukture atoma i fizičke teorije koje opisuju atomsku strukturu nemaju konačne granice. Danas se možda više nego ikad u istoriji posvećuje ozbiljna pažnja definisanju konačne strukture atoma jer se veruje da će ona dneti odgovore na mnoga pitanja koja definišu opše postojanje materije.

Veličina	Vrednost
Naelektrisanje protona	$e^+ = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Naelektrisanje elektrona	$e^- = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Naelektrisanje neutrona	Električno neutralan
Masa elektrona	$m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Masa protona	$m_p \approx 1840 \cdot m_e$

Tabela 2.1 Osnovne vrednosti atomskih čestica.

2.2. ELEKTRISANJE TELA I KOLIČINA ELEKTRICITETA

Da bi se neko telo naelektrisalo neophodno je ostvariti na njemu višak pozitivnog ili negativnog naelektrisanja. Elektrisanje nekog tela moguće je postići na dva karakteristična načina:

1. **dodirom**, neposredni dodir materijala o materijal (npr. trenje)
2. **influencom (uticajem)** - elektrostatičkom indukcijom

Količina naelektrisanja nekog tela javlja se kao celobrojni umnožak broja viška protona ili elektrona. Zato se čini da je logično za jedinicu količine naelektrisanja uzeti upravo količinu naelektrisanja jednog elektrona ili protona. Međutim u praksi je to veoma nepraktično zbog veoma velikog broja elektrona ili protona koji se javljaju u procesu elektrisanja tela.

Zato je za međunarodnu jedinicu za količinu naelektrisanja usvojena jedinica **kulon** 1(C), u čast francuskom fizičaru Šarlu Kulonu. Prema tome, jedinica za naelektrisanje od jednog kulona iznosi:

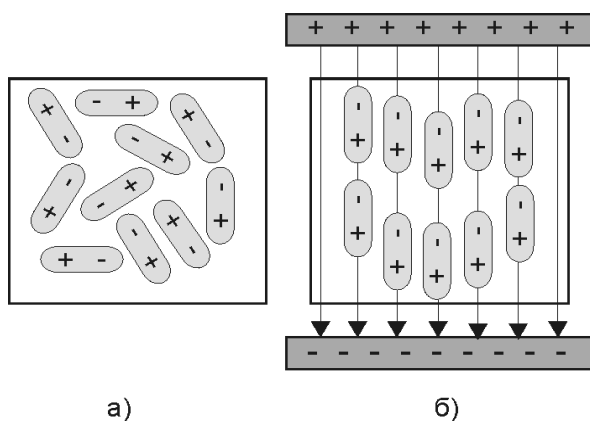
$$1[C] = 0.62418 \cdot 10^{19} \text{ (protona ili elektrona)}$$

$$e = \pm \frac{1}{0.62418 \cdot 10^{19}} = \pm 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (1)$$

Pošto količina elektriciteta može biti pozitivna ili negativna kaže se da **Q** predstavlja algebarsku vrednost količine elektriciteta. Količina naelektrisanja nekog tela može se sada izraziti ukupnim brojem elementarnih čestica (protona ili elektrona):

$$Q = \pm N \cdot e \quad (2)$$

2.3. DIELEKTRICI U ELEKTROSTATIČKOM POLJU



Dielektrici su materijali koji poseduju izolaciona svojstva odnosno makroskopski gledano ne provode električnu struju. U realnosti u dielektricima postoje veoma male struje koje se mogu detektovati i meriti i nazivaju se struje curenja u dielektriku. Što su struje curenja dielektrika manje to je dielektrik kvalitetniji. Dielektrici uneti u elektrostatičko polje interaguju sa njim u kome se nalaze što se manifestuje pojavom polarizacije u dielektriku. Polarizacija dielektrika predstavlja

Slika 2.2 Polarizacija dielektrika

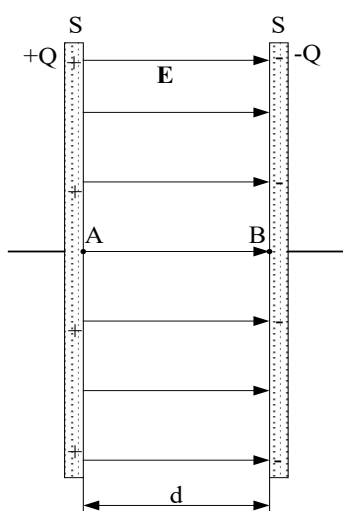
2.4. KONDENZATORI

Kondenzator je uređaj (sistem) od dva provodna tela (ploče, trake, elektrode....) naelektrisan istom količinom elektriciteta ali suprotnog znaka, međusobno rastavljen izolatorom (dielektrikom).

Oblik i veličina kondenzatora mogu biti veoma različiti, što zavisi od same primene. Zavisno od oblika elektroda kondenzatori mogu biti: pločasti, cilindrični, sferni kondenzatori sa vazдушnim, papirnim, keramičkim ili nekim drugim dielektrikom.

Kondenzatori za praksu imaju ogroman značaj jer se koriste u raznim električnim i drugim uređajima, kao npr. kod naglog prekidanja induktivnog kola, kratkotrajna bleštava svetlost za fotografisanje je naglo, kratkotrajno pražnjenje kondenzatora, pražnjenje kondenzatora se koristi i za začkasto zavarivanje, uključivanje strujnog kola nakon uključivanja prekidača za tačno određeno vreme, za merenje brzine pušcanog zrna, kod uključivanja u pogon jednofaznih asinhronih motora, za popravku faktora snage, za stabilizaciju jednosmernog napona ispravljača i dr.

U praksi se najčešće koristi pločasti kondenzator. On je napravljen od tankih aluminijumskih folija (imaju ulogu ploča - elektroda) između kojih se nalazi veoma tanka kondenzatorska hartija kao dielektrik.



Slika 2.3 Pločasti kondenzator

Da bi se smanjile fizičke dimenzije pločastog kondenzatora često se ove ploče savijaju pa kondenzator dobija spoljašnji oblik valjka.

Grafička predstava pločastog kondenzatora sa njegovim dimenzijama dat je na slici 2.3 imajući u vidu da je polje između ploča homogeno, možemo odrediti napon između ploča kondenzatora prema sledećem obrascu.

$$U = U_{AB} = V_A - V_B = Ed \quad (3)$$

Odnos količine naelektrisanja i napona na kondenzatoru predstavlja jedan od najvažnijih parametara kondenzatora i naziva se *kapacitet* kondenzatora.

$$C = \frac{Q}{U} \quad (4)$$

Na osnovu izraza (5) kapacitet kondenzatora se može izraziti preko konstruktivnih parametara kondenzatora ako je u pitanju vazдушna sredina između elektroda kondenzatora.

$$\frac{Q}{U} = C = \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (5)$$

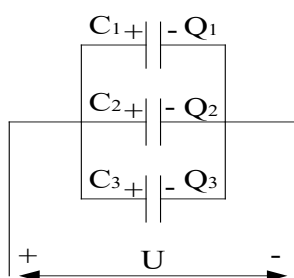
Pri čemu je: Q-količina naelektrisanja na elektrodama kondenzatora, U-napon između elektroda kondenzatora, ϵ_0 -dielektrička konstanta za vazduh i vakuum, S-površina elektroda kondenzatora, d-rastojanje između elektroda, C-kapacitet kondenzatora. Ako se između elektroda kondenzatora nalazi neka druga sredina tada izraz (6) formuliše uvažavajući permitivnost dielektrika (ϵ_0 -relativna dielektrička konstanta sredine), odnosno:

$$C = \epsilon \frac{S}{d} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d}, \quad \epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (6)$$

Jedinica za kapacitet je C/V ili **farad** (F). Farad je veoma velika jedinica zbog čega se u praksi koriste mnogo manje jedinice kao što su: mF-*milifarad*, μ F-*mikrofarad*, nF-*nanofarad*, pF-*pikofarad*.

2.5. VEZIVANJE KONDENZATORA

Kondenzatori se mogu vezati u odgovarajuće grupe: paralelno, redno ili mešovito u cilju dobijanja određenog kapaciteta grupe kondenzatora – ekvivalentni kapacitet.



Paralelna veza kondenzatora

Paralelna veza kondenzatora ima zajednički napon za sve kondenzatore (slika 2.4). ukupno pozitivno naelektrisanje na pozitivnim elektrodama jednako je zbiru pozitivnih naelektrisanja pojedinih kondenzatora.

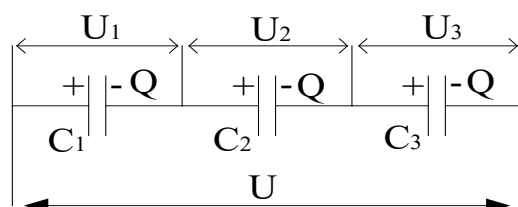
Slika 2.4 Paralelna veza kondenzatora

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1 U + C_2 U + C_3 U \quad (7)$$

Odnosno,

$$C_e = \frac{Q}{U} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (8)$$

Redna veza kondenzatora



Prilikom zajedničkog opterećivanja kondenzatora kroz svaki presek provodnika električnog kola proći će ista količina elektriciteta \$Q\$ (prosto kolo) pa će svaki kondenzator biti opterećen istom količinom naelektrisanja: \$Q_1=Q_2=Q_3=Q\$.

Slika 2.5 Redna veza kondenzatora

Ukupni napon redno vezane grupe kondenzatora je:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \quad (9)$$

Odnosno, do ekvivalentnog kapaciteta tri redno vezana kondenzatora možemo doći na sledeći način:

$$U = Q \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) \Rightarrow \frac{U}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (10)$$

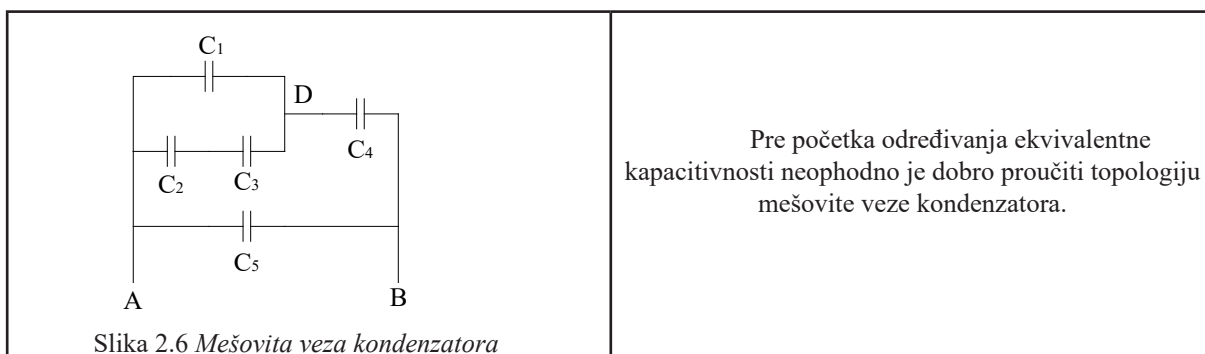
$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Odakle, nalazimo ekvivalentni kapacitet redno vezanih kondenzatora.

Mešovita veza kondenzatora

Mešovita veza kondenzatora je kombinacija paralelne i redne veze kondenzatora. Ekvivalentni kapacitet grupe dobija se postepenim svodenjem jedneveze na drugu vezu, kao na slici 2.6.

Postepenim koracima vršimo transkonfiguraciju mešovite veze kondenzatora. Postupak određivanja ekvivalentnog kapaciteta započinje tako što krećemo iz unutrašnjosti mešovite veza ka spoljašnjim priključcima između kojih tražimo ekvivalentni kapacitet.



	1. korak: Odredi se ekvivalentna kapacitivnost redne veze kondenzatora C_2 i C_3. $C_{23} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} \quad (11)$
	2. korak: Odredi se ekvivalentna kapacitivnost paralelne veze kondenzatora C_1 i C_{23}. $C_{123} = C_1 + C_{23} \quad (12)$
	3. korak: Odredi se ekvivalentna kapacitivnost redne veze kondenzatora C_4 i C_{123}. $C_{1234} = \frac{C_{123} \cdot C_4}{C_{123} + C_4} \quad (13)$
	Na kraju transformacija ukupna ekvivalentna kapacitivnost mešovite veze kondenzatora između tačaka A i B, određuje se kao paralelna veza kondenzatora C_{1234} i C_5. $C_{ekAB} = C_{1234} + C_5 \quad (14)$

3. ELEKTROKINETIKA - JEDNOSMERNE STRUJE

3.1 KAKO NASTAJE ELEKTRIČNA STRUJA U PROVODNICIMA

Elektronska teorija objašnjava da su sve materije sastavljene od atoma, a da se svaki atom sastoji od protona, neutrona i elektrona. Elektroni kruže oko atomske jezgra ogromnim brzinama (c - brzina svetlosti). U stvari svi elektroni koji kruže oko jezgra atoma po svojim putanjama čvrsto su vezani za jezgro, sem onih koji kruže po spoljnim putanjama. Elektroni koji kruže po spoljašnjoj putanji može napustiti matični atom i pridružiti se nekom susednom i tako sukcesivno. Gledano makroskopski na nivou metalne rešetke materijala, elektroni sa spoljašnjih putanja stalno se haotično kreću. Ovi elektroni se nazivaju slobodni elektroni.

Ako se lutajući – slobodni elektron priljuči atomu, tj. ako uđe u njegov vanjski krug, atom postaje negativno naelektrisan, jer novi elektron nema u atomskom jezgru svog protona, s kojim bi postizao električnu neutralnost. Isto tako ako atom izgubi jedan ili više elektrona on postaje pozitivno naelektrisan. Težina atoma se ne menja jer je skoncentrisana u jezgru atoma koja se nije menjala kod prelaska elektrona

iz jednog atomskog sistema u drugi, dok elektroni nemaju skoro nikakve težine. U nekim materijalima ima velik broj slobodnih elektrona, a to zavisi od atomske strukture materije. Dokazano je da metali imaju velik broj slobodnih elektrona koji lutaju iz jednog atomskog sistema u drugi jer su na svojim spoljnim putanjama oko jezgra labavo vezani za njega. Pošto u malom komadiću metala ima ogroman broj atoma to je verovatno, da će uvek biti približno jednak broj atoma naelektrisan pozitivno odnosno negativno, te će se prema tome metal u normalnim prilikama prema vani biti neelektričan, odnosno električno neutralan.

Ako se haotično kretanje elektrona u metalu usmeri u jednom pravcu imaćemo struju elektrona – elektronski tok ili kako se obično naziva električna struja. Prema tome, usmereni tok elektrona stvara električnu struju.

3.2 PROVODNICI I IZOLATORI

Pošto svaki metal ima manje ili više slobodnih elektrona jasno je, da se u njemu može pojaviti električna struja, zato kažemo da su metali provodne materije iz kojih se izrađuju provodnici električne stuje.

Provodnici su materijali koji imaju slobodne elektrone. Ima i materija koje nemaju slobodnih elektrona ili mali broj te prema tome, ne mogu provoditi električnu struju. Takve materije nazivaju se izolatori – dielektrici električne struje. Uglavnom, sve materije mogu se podeliti u dve kategorije provodnike i izolatore.

Među provodnike ubrajaju se svi metali kao što su: srebro, bakar, aluminijum, olovo, živa, platina itd. Srebro je bolji provodnik od bakra, ali je bakar u mnogo većoj upotrebi jer je jeftiniji od srebra.

3.3 ELEKTRIČNA STRUJA I EFEKTI PROTICANJA ELEKTRIČNE STRUJE

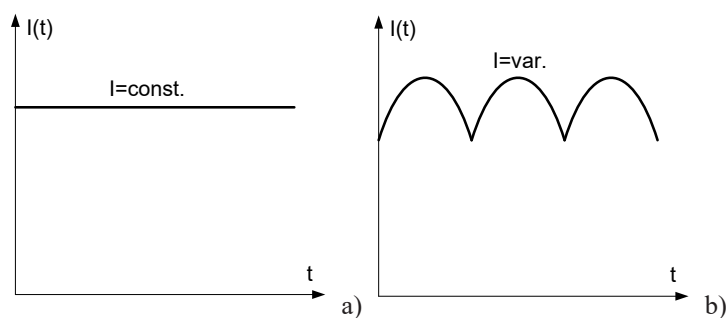
Prethodno je navedeno da svako usmereno kretanje naelektrisanja bez obzira na uzrok kretanja i vrstu čestice naziva se električnom strujom. Pojam električna "struja" uveden je zbog analogije sa strujanjem fluida u mehanici. Naime, slikovito opisano usmereno kretanje elektrona kroz provodnik slično je kretanju fluida (npr. neke tečnosti) kroz odgovarajuću cev. Električna struja može postojati u svim vrstama provodnika, poluprovodnika, gasova i vakuumu.

Da bi se uspostavila električna struja neophodno je da budu zadovoljena dva osnovna uslova:

1. da postoji dovoljan broj slobodnih naelektrisanja u materijalu,
2. da postoji električna sila koja će izazvati njihovo usmereno kretanje.

Električnu struju možemo podeliti u dve osnovne kategorije prema tome da li naelektrisanja u vremenu menjaju smer kretanja:

1. **jednosmerne struje** – osnovna odlika je usmereno kretanje naelektrisanja u provodniku samo u jednom smeru. Oblast elektrotehnike koja izučava jednosmerne struje naziva se elektrokinetika. Jednosmerne struje možemo podeliti i na dve podkategorije u zavisnosti da li se intezitet jednosmerne struje menja u vremenu ili ne:
 - a. **jednosmerna vremenski konstantna struja**- tokom vremena ne menja se intezitet struje u provodniku
 - b. **jednosmerna vremenski promenljiva struja**- tokom vremena menja se intezitet struje u provodniku ali nikako smer
2. **naizmenične struje**- tokom vremena proticanja električne struje usmerena naelektrisanja menjaju smer kroz provodnik. O naizmeničnim strujama biće više reči u jednom od narednih poglavlja.

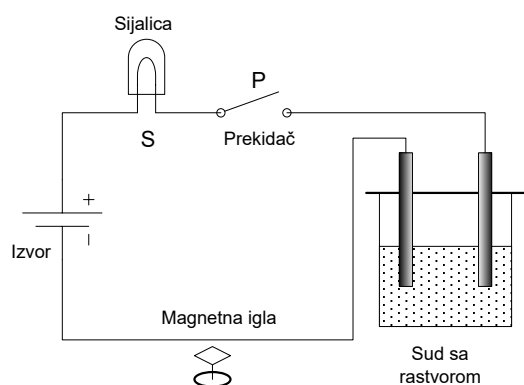


Slika 3.1 Vremenski oblici jednosmernih struja,
a) jednoscimerna vremenski konstantna struja, b) jednoscimerna vremenski promenljiva struja

Nemoguće je neposredno posmatrati električnu struju. O proticanju struje kroz provodnik može se suditi samo po pojavama koje je prate. Posmatranje ovih pojava, već odavno je ustanovljen niz zakona čije je poznavanje omogućilo da se ovlada električnom strujom bez obzira na to što je njena priroda u to vreme bila nepoznata. Izvešćemo sledeći ogled, koji će nas upoznati sa dejstvom električne struje.

Uzmemo jednu bateriju ili kako se naziva izvor električne energije, zatim jednu sijalicu i najzad jedan stakleni sud sa vodom u koji stavimo nekoliko kapi sumporne kiseline u koji potopimo dva lista staniola tako da se međusobno ne dodiruju.

Bakarnom žicom povežemo nabrojane elemente preko jednog prekidača "P" kako je to prikazano na slici 3.2.



Slika 3.2 Tri različita efekta proticanja električne struje

Zatim uzmemo magnetnu iglu koju stavimo ispod jednog provodnika tako da igla stoji paralelno sa provodnikom. Obratimo pažnju šta će se desiti ako uključimo prekidač P.

Videćemo da se vlakno sijalice usijati i emitovaće svetlost.

Dalje ćemo primetiti, da će se magnetna igla pomeriti iz svog pravca sever – jug. Najzad ćemo videti kako iz suda sa tečnošću i metalnim pločicama izlaze vrlo sitni mehurići. To se izdvajaju vodonik i kiseonik koji su sastavni delovi vode. Čim se prekidač otvori sve navedene pojave prestaju. Šta je uzrok u pojavama?

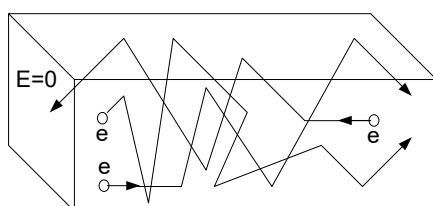
Uzrok svim ovim pojavama bila je električna struja i to:

- 1 - Provodnik kroz koji teče struja zagreva se (termičko dejstvo)
- 2 - Struja izaziva u tečnim provodnicima hemijske procese (hemijsko dejstvo)
- 3 - Struja prolaskom kroz provodnik stvara magnetno polje (magnetno dejstvo)

Iz ovog oglada jasno se vide tri dejstva električne struje; **magnetno, toplotno i hemijsko** dejstvo.

3.4 POJAM I ELEMENTI ELEKTRIČNOG KOLA

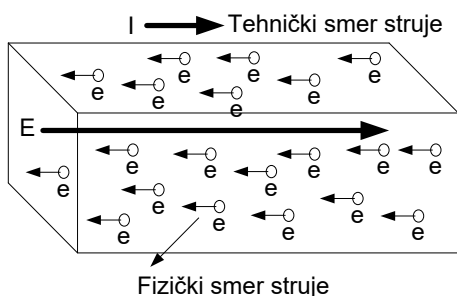
Pre nego definišemo elementarno električno kolo osvrnimo se na to kako uopšte dolazi do pojave usmerenog kretanja elektrona u provodniku. Podsetimo se da u provodnicima u kojima nema električne struje slobodni elektroni se kreću haotično kao što je to principijelno prikazano na slici 3.3.



Slika 3.3 Haotično kretanje slobodnih elektrona u provodniku

Da bi obrazovali stalnu jednosmernu struju u provodniku potrebno je obezbediti izvor jednosmerne struje sa stalnom potencijalnom razlikom na njegovim priključnim krajevima.

Kada se ovakav izvor priključi na krajeve provodnika potencijalna razlika na krajevima provodnog tela formira stalno električno polje u provodniku (E). Pod dejstvom ovoga električnog polja dolazi do usmerenog kretanja elektrona u provodniku. Pri tome se usmereni elektroni kreću u pravcu električnog polja ali u suprotnom smeru. Gledano mikroskopski orijentisano kretanje elektrona je veoma složeno, jer je praćeno stalnim interakcijama usmerenih elektrona sa atomima provodnika i stalnim mikroskopskim kretanjima elektrona unutar samog atoma. Kao rezultat ovih kretanja postojaće neka srednja statistička komponenta brzine kretanja elektrona u pravcu polja. Ova brzina se manifestuje na nivou posmatranog provodnika (makroskopski) i naziva se srednja makroskopska brzina elektrona. Sam princip kretanja elektrona pod dejstvom električnog polja izvora prikazan je na slici 3.4.



Slika 3.4 Kretanje elektrona pod dejstvom električnog polja u metalnom provodniku.

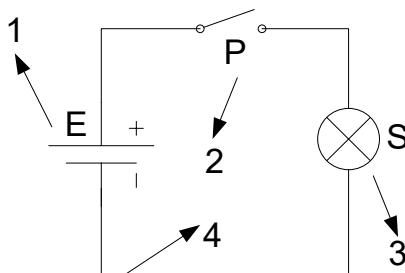
Ovde je važno naglasiti da se uočavaju dva smera električne struje. Prvi smer je **fizički** smer a to je stvarni smer kretanja elektrona u provodniku. Drugi smer je **tehnički** i on se usmerava u pravcu i smeru električnog polja u provodniku, odnosno od tačke višeg potencijala izvora polja do tačke nižeg potencijala izvora polja.

Prema tome za usmereno kretanje elektrona u provodniku neophodno je postojanje izvora jednosmerne struje koji će ostvariti električno polje u provodniku, što je preduslov za pojavu električne struje.

Pod pojmom elementarnog (strujnog) električnog kola podrazumevamo skup elemenata električnog kola koji su međusobno povezani u jednu celinu. Elementi električnog (strujnog) kola su:

1. **izvor** (generator) – obezbeđuje potencijalnu razliku na svojim priključnim krajevima (napon),
2. **prijemnik** (potrošač) – predstavlja deo električnog kola u kome se električna energija pretvara u neki drugi oblik
3. **provodnici** – su delovi električnog kola koji služe za međusobno povezivanje elemenata električnog kola i za sprovođenje električne struje,
4. **prekidač** – element koji služi za uključenje i isključenje električnog kola.

Prema tome elementarno električno kolo se sastoji od jednog izvora, potrošača, prijemnika, kao i potrebnog broja provodnika za povezivanje navedenih elemenata u tehnički funkcionalnu celinu. Na sledećoj slici je principijelno prikazano elementarno električno kolo sa označenim odgovarajućim elementima.



Slika 3.6. Elementarno električno kolo, 1- izvor, 2- prekidač, 3-potrošač, 4- provodnik

3.5 GUSTINA I INTEZITET ELEKTRIČNE STUJE

Električna struja, odnosno usmereno kretanje velikog broja električnih opterećenja karakteriše se pomoću dve fizičke veličine a to su **gustina** električne struje i **intezitet (jačina)** električne struje.

- 1. gustina električne struje** – je vektorska veličina koja opisuje usmereno kretanje električnih opterećenja u nekoj tački.
- 2. intezitet ili jačina električne struje** – je skalarna veličina koja opisuje kretanje električnih opterećenja kroz neku makroskopsku površ.

Deo prostora u kome postoji električna struja naziva se **strujno polje**. Gustina struje u nekoj tački strujnog polja definiše se pomoću sledećih veličina:

Q – naelektrisanje slobodnog nosioca (može biti pozitivno ili negativno),
 N – broj slobodnih nosilaca naelektrisanja u elementarnoj zapremini Δv ,
 v – srednja brzina brzina slobodnih nosilaca naelektrisanja u posmatranoj tački strujnog polja usled delovanja električnog polja (**E**) u provodniku.

Prema tome, gustina električne struje u nekoj tački strujnog polja se definiše kao proizvod QNv , pri čemu je uobičajena oznaka za gustinu struje **J**. Dakle prema definiciji možemo pisati analitički izraz za gustinu električne struje:

$$\mathbf{J} = NQ\mathbf{v} \quad (15)$$

Druga veoma važna veličina koja opisuje osonine električne struje je **jačina (intezitet)** električne struje. Jačina ili intezitet električne struje kroz neku elementarnu površinu ΔS se definiše kao odnos promene naelektrisanja ΔQ kroz površinu ΔS za vreme Δt i intervala vremena Δt . Prema tome intezitet električne struje predstavlja meru brzine prolaženja pokretnih opterećenja kroz elementarnu površinu ΔS . Simbol za označavanje inteziteta električne struje je veliko latinično slovo **I**.

Analitički zapisano intezitet struje kroz elementarnu površinu ΔS je:

$$\Delta I_{\text{kroz } \Delta S} = \frac{\Delta Q_{\text{kroz } \Delta S \text{ za } \Delta t}}{\Delta t} \quad (\text{definicija jačine el. struje kroz površinu } \Delta S) \quad (16)$$

Ako se umesto elementarne površine razmatra ukupna površina provodnika **S** kroz koji teče električna struja tada izraz za jačinu struje kroz površinu provodnika **S** možemo izraziti relacijom:

$$I_{\text{kroz } S} = \frac{\Delta Q_{\text{kroz } S \text{ za } \Delta t}}{\Delta t} \quad (\text{definicija jačine el. struje kroz površinu } S) \quad (17)$$

Kada kroz poprečni presek provodnika prođe u 1 sekundi 1 kulon, kažemo da je jačina električne struje 1 amper.

Amper se označava sa slovom **A**, a jačina struje sa slovom **I** kao što je ranije naglašeno: na primer $I=2A$.

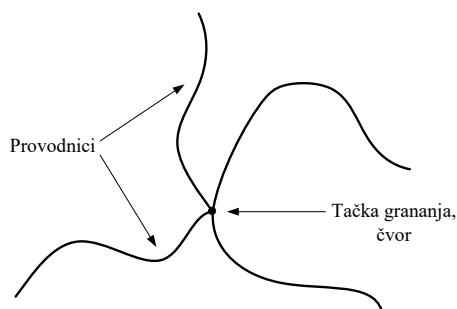
Veza između jačine električne struje i gustine električne struje data je izrazom:

$$I = J \cdot S$$

3.6 I KIRHOFOV ZAKON

U prethodnom delu definisali smo gustinu i intezitet električne struje u provodniku. U praksi često postoji potreba za grananjem strujnog toka. Grananje strujnog toka se postiže tako što se više provodnika poveže u jednu tačku. Tačka u kojoj se stiče više provodnika naziva se čvor električnog kola. U električnim kolima složenijeg tipa može biti više čvorova u kojima se vrši grananje električnog provodnika.

Za tačku u električnom kolu kažemo da je čvor ako se u tu tačku stiče više od dva provodnika.



Slika 3.7 Primer grananja električnih provodnika u čvoru

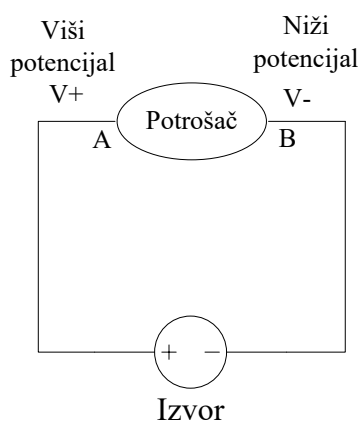
Nemački fizičar Kirhof je uočio eksperimentalnim putem odgovarajuću zakonitost koja važi za provodnike sa električnom strujom koji se stiču u jednom čvoru. Tu zakonitost je formulisao na sledeći način: *algebarski zbir struja u čvoru električnog kola jednak je nuli*. Ova formulacija predstavlja 1. Kirhofov zakon i odnosi se na struje u čvorovima razgranatog električnog kola. Prethodnu formulaciju možemo iskazati na drugi način: *zbir svih struja koje ulaze u čvor električnog kola jednaka je zbiru struja koje iz čvora izlaze*. Analitički zapis 1. Kirhofovog zakona je prikazan sledećom jednačinom:

$$\pm \sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (\text{prvi Kirhofov zakon}) \quad (18)$$

3.7 RAZLIKA POTENCIJALA, NAPON U ELEKTRIČNOM KOLU

Ranije je naglašeno da je električna struja usmereno kretanje opterećenja u provodniku pod dejstvom električnog polja E koje se formira u provodniku. Električni izvor priključen u električno kolo formira električno polje u provodniku. Električno polje se formira tako što je usmereno kroz provodnik od pozitivnog pola izvora ka negativnom polu izvora. Tačka u električnom kolu od koje počinju linije vektora E naziva se tačka višeg potencijala u električnom kolu.

Tačka u kojoj poniru linije vektora električnog polja naziva se tačka nižeg potencijala u električnom kolu.



Slika 3.8 Prosto električno kolo, potencijali, napon

Na slici 3.8 prikazano je prosto električno kolo. Tačka A povezana je na pozitivan pol izvora (+), zato kažemo da je tačka A na višem potencijalu (V+), analogno tačka B povezana je na negativan pol izvora (-) zato kažemo da je tačka B na nižem potencijalu (V-).

Kada je električni izvor priključen na potrošač kao što je prikazano na slici 3.14. tada na krajevima potrošača postoji potencijala razlika.

Razlika potencijala na krajevima potrošača predstavlja napon U . Analitički možemo zapisati:

$$U_{AB} = V_A - V_B [V] \quad (19)$$

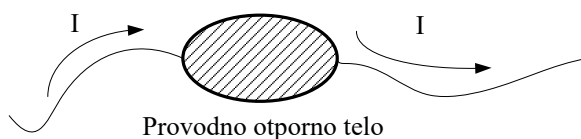
Jedinica za potencijal u kolu jednosmerne struje je **volt (V)**, takođe ista jedinica se koristi za napon u električnom kolu. Napon u kolu jednosmerne struje označava se slovom U , dok se potencijal obično obeležava slovom V .

3.8 OTPORNICI

Svi materijali se na odgovarajući nači suprotstavljaju proticanju električne struje. Međutim, eksperimentalnim putem može se uočiti da se različiti materijali različito ponašaju sa aspekta suprotstavljanja proticanju električne struje (provodljivosti). Zapaženo je da pojedini materijali imaju manji stepen provodljivosti električne struje u odnosu na druge materijale, odnosno pojedini materijali pružaju veći **otpor** proticanju električne struje u odnosu na druge. Prema tome, fizička pojava **otpore** (suprotstavljanja) kretanju elektrona kroz provodnik naziva se **električna otpornost**.

Materijali koji imaju izražen efekat električnog otpora proticanju struje nazivaju se **otporni materijali**, od kojih se izrađuju posebni elementi električnih kola, odnosno **otpornici**.

Otpornici su elementi električnih kola koji imaju povećan stepen električnog otpora u odnosu na druge provodne delove električnog kola.



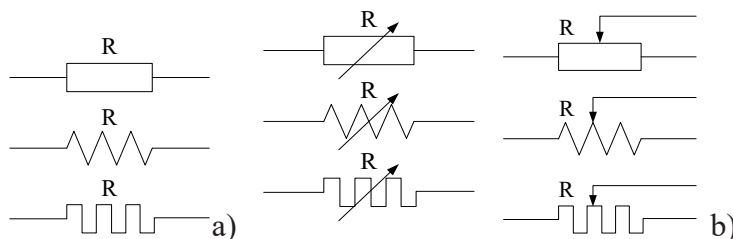
Slika 3.9 Provodno telo u delu strujnog kola – otpornik (opšti izgled)

Otpornik se u električnim šemama predstavlja posebnim simbolom i označava velikim latiničnim slovom R. Jedinica za električnu otpornost je 1 **om** (Ω - veliko grčko slovo omega).

Otpornici se mogu podeliti u dve osnovne kategorije i to:

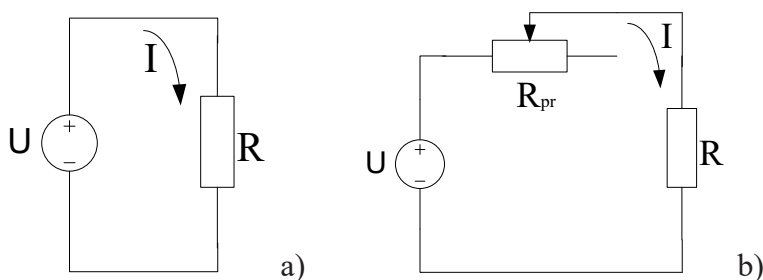
1. **stalni otpornici** – ove otpornike karakteriše sam naziv, oni imaju konstantnu vrednost električnog otpora, otporno telo se putem dva priključna provodna izvoda povezuje u električno kolo,
2. **promenljivi otpornici** – kod ove vrste otpornika vrednost otpora se može menjati, njih karakterišu tri priključna provodna izvoda od kojih su dva sa otpornog tela a treći izvod predstavlja priključni kontakt klizača pomoću koga menjamo električni otpor u kolu.

Na sledećoj slici 3.10. prikazani su najčešće korišćeni simboli stalnih i promenljivih otpornika u električnim kolima.



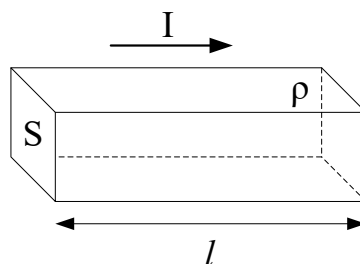
Slika 3.10 Simboli otpornika najčešće korišćeni u električnim šemama
a) stalni otpornik, b) promenljivi otpornik

Da bi kroz otpornik tekla električna struja neophodno je otpornik povezati sa oba priključna kraja u električno kolo. Osnovni princip povezivanja otpornika sa izvorom napajanja prikazano je na slici 3.11a).



Slika 3.11 Povezivanje otpornika u električno kolo, a) povezivanje otpornika sa izvorom napajanja
b) povezivanje stalnog i promenljivog otpornika u električno kolo

Na slici 3.11b) prikazano je povezivanje promenljivog otpornika u električno kolo. Pri tome se uočava da je promenljivi otpornik vezan u električno kolo preko dva priključna mesta. Jedno mesto predstavlja izvod sa samog otpornog tela dok je drugo mesto izvod klizača promenljivog otpornika. Treće priključno mesto (drugi izvod sa otpornog tela) ostao je nepovezan. Na ovaj način je omogućena promena struje u električnom kolu promenom položaja klizača promenljivog otpornika R_{pr} od neke minimalne do maksimalne vrednosti.

Slika 3.12 Pravi homogeni provodnik specifične otpornosti ρ

Posmatrajmo pravi provodnik pravougaonog poporečnog preseka i specifične otpornosti ρ sa slike 3.12. Iako je poznato da je osnovni parametar svakog otpornika njegova unutrašnja otpornost R , postavlja se pitanje da li se ova otpornost može odrediti preko konstruktivnih parametara otpornika kao što su: dužina provodnika, poprečni presek, specifični otpor i sl. Odgovor na ovo pitanje je potvrđan, vrednost otpora nekog provodnika može se odrediti na sledeći način:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (20)$$

Često se umesto otpornosti R za opisivanje otpornika koristi recipročna vrednost otpornosti $1/R$. Recipročna vrednost električne otpornosti je posebna električna veličina i naziva se **električna provodnost** otpornika i obeležava se slovom G . Električna otpornost i provodnost otpornika su međusobno obrnuto proporcionalne veličine i mogu se opisati sledećom relacijom.

$$G = \frac{1}{R} \quad (21)$$

Prema prethodnoj relaciji možemo zaključiti da je jedinica za provodnost $1/\Omega$, odnosno A/V . Zbog važnosti pojma električne provodnosti i veoma česte praktične primene ova jedinica je dobila posebno ime, **simens** (siemens) i označava se sa S . Ako se osvrnemo na definiciju specifične provodnosti sada je jasno zašto ona ima jedinicu simens po metru S/m .

Otpornici su pasivni elementi i oni su u električnim kolima isključivo prijemnici (potrošači). Primena otpornika u praksi je veoma velika. Ne postoji oblast ili disciplina u elektrotehnici gde se sa praktičnog aspekta ne koriste otpornici u određene svrhe.

3.9 OMOV ZAKON

Omov zakon predstavlja jedan od fundamentalnih zakona elektrodinamike i elektrotehnike uopšte. Važnost Omovog zakona je izuzetno velika jer su se njegovom formulacijom po prvi put u jednu celinu povezale tri osnovne električne veličine: električni napon, jačina električne struje i električni otpor. Znači, Omov zakon uspostavlja relaciju između napona struje i otpora na nekom elementu u električnom kolu.

Omov zakon definiše da je struja u električnom kolu direktno srazmerna naponu a obrnuto srazmerna otporu, što analitički možemo napisati u sledećem obliku:

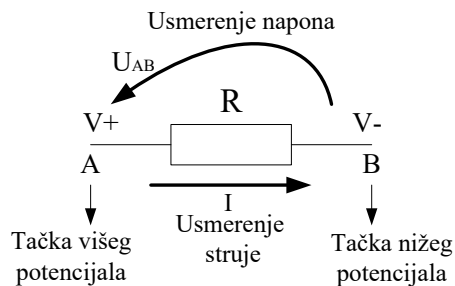
$$I = \frac{U}{R} \quad \text{(formulacija Omovog zakona)} \quad (22)$$

Lako je uočiti da iz prethodne jednakosti mogu proizaći još dve potpuno ravnopravne formulacije Omovog zakona.

$$R = \frac{U}{I}, \text{ i } U = R \cdot I \quad (23)$$

Omov zakon u električnim kolima može se primeniti na deo strujnog kola (neki element, potrošač, otpornik) i na celo strujno kolo. Prilikom pisanja jednačina po Omovom zakonu veoma je

važno pridržatati se referentnih smerova napona i struja. Navedeni principi ilustrativno su prikazani na sledećoj slici.



Slika 3.13 Referentni smerovi napona i struje otpornika

3.10 VEZIVANJE OTPORNIKA, ODREĐIVANJE EKVIVALENTNE OTPORNOSTI

Otpornici se u praksi mogu vezati u grupe, pri tome razlikujemo tri osnovna načina vezivanja otpornika:

1. redna veza otpornika
2. paralelna veza otpornika
3. mešovita veza otpornika

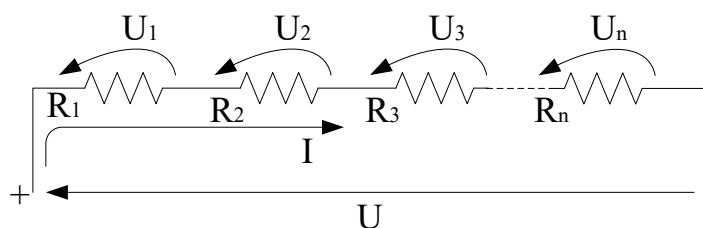
Prilikom analize načina vezivanja otpornika nećemo uzimati u obzir unutrašnji otpor provodnika za povezivanje otpornika jer je on zanemarljivo mali u odnosu na otpore otpornika.

a) Redna veza otpornika

Redna veza otpornika formira se tako što se kraj jednog otpornika veže na početak drugog otpornika i tako sukcesivno u zavisnosti od toga koliko otpornih elemenata ima u rednoj vezi.

Ako u nekom električnom kolu imamo n redno vezanih otpornika tada se do izraza za ekvivalentnu otpornost redne veze dolazi zbirom otpora svih n vezanih otpornika, odnosno:

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (24)$$



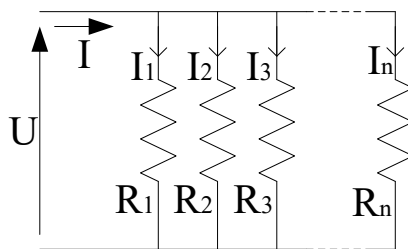
Slika 3.14 Redna veza n otpornika

b) Paralelna veza otpornika

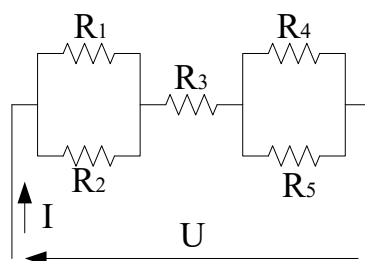
Paralelna veza otpornika se formira tako što se počeci svih otpornika vezuju u jednu začku električnog kola a krajevi u drugu tačku električnog kola, pri tome je napon na paralelnoj vezi svih otpornika isti.

Ako postoji n paralelno vezanih otpornika odrgovarajućih otpornosti tada se do ekvivalentne vrednosti otpora dolazi na sličan način primenom sledećeg izraza.

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (25)$$

Slika 3.15 Paralelna veza n otpornikaa) **Mešovita veza otpornika**

Mešovita veza otpornika predstavlja kombinaciju redne i paralelne veze otpornika. Određivanje ekvivalentne otpornosti mešovite veze vrši se postepenom transkonfiguracijom paralelno i redno vezanih elemenata u mešovitoj vezi. Kao primer navodi se mešovita veza otpornika prikazana na slici 3.16.



Slika 3.16 Mešovita veza otpornika

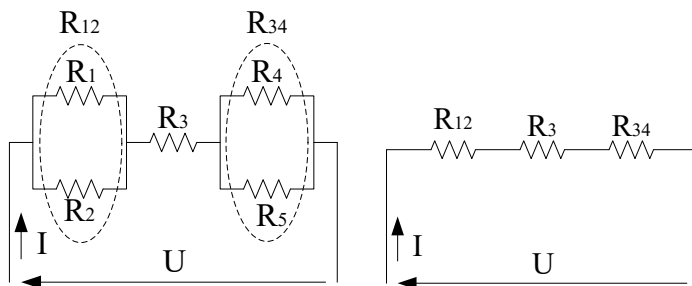
Sa slike 3.16 se uočava da su otpornici R_1 i R_2 međusobno paralelno vezani, kao i otpornici R_4 i R_5 . Te dve paralelne veze su u rednoj vezi sa otpornikom R_3 . Da bi odredili ekvivalentnu otpornost prvo ćemo odrediti ekvivalentne otpore paralelnih veza.

$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (26)$$

Analogno tome odredi se otpor paralelne veze četvrtog i petog otpornika,

$$\frac{1}{R_{45}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \Rightarrow R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} \quad (27)$$

Nakon proračuna ekvivalentnih otpora paralelnih veza mešovita veza se može predstaviti preko sledećih ekvivalentnih otpora.



Slika 3.17 Transkonfiguracija mešovite veze otpornika

Na kraju se uočava da je preostala redna veza otpora R_{12} , R_3 i R_{45} da bi se odredila ekvivalentna

otpornost mešovite veze, tako da do ekvivalentnog otpora dolazimo primenom izraza za određivanje otpora redno vezanih otpornika.

$$R_e = R_{12} + R_3 + R_{45} \quad (28)$$

3.11 DŽULOV ZAKON

Elektroni se pod uticajem sila električnog polja usmereno kreću kroz provodnik. Prilikom sudara sa atomima kristalne rešetke elektroni im predaju svoju kinetičku energiju, tako da dolazi do povećanja vibracija kristalne rešetke i oslobađanja toplotne energije u provodniku. Ovaj zakon o pretvaranju električne energije u toplotu nosi naziv Džulov zakon,

$$W_J = R \cdot I^2 \cdot t \quad (29)$$

Jedinica za rad električne struje i energiju je Džul $1J=1Ws=1VAs$. U praksi se zbog jednostavnosti koriste veće jedinice, na primer: $1kWh = 3.6 \cdot 10^6 J$.

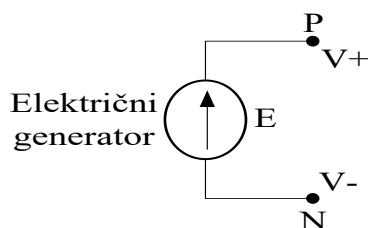
Pošto je proces pretvaranja električne energije u toplotu po pretpostavci konstantan jer provodnikom teče vremenski konstantna struja, snaga te transformacije, odnosno brzina pretvaranja električne energije u toplotu je:

$$P = \frac{A}{t} = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} \quad (30)$$

Jedinica za električnu snagu je **vat** (1W). U zavisnosti od vrednosti snaga u električnom kolu često se u praksi koriste pomoćne jedinice kao što su: 1mW, 1kW, 1MW i veće.

3.12 ELEKTRIČNI GENERATORI

Električni generatori predstavljaju jedan od osnovnih elemenata električnih kola. U uvodnom delu elektrotehnike naglasili smo da usmereno kretanje naelektrisanja u provodniku izaziva električno polje. Električno polje u provodniku se javlja ako je provodnik svojim krajevima priključen na električni izvor koji na krajevima provodnika stvara potencijalnu razliku.



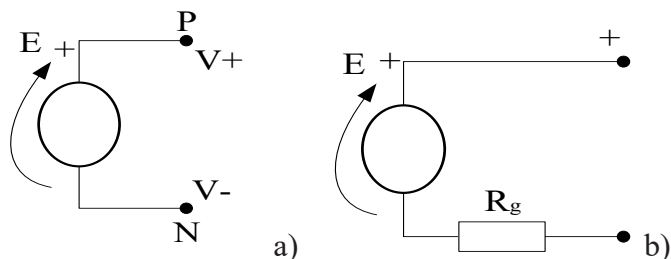
Slika 3.18 Šematski prikaz električnog generatora

Dve osnovne veličine koje opisuju karakteristike električnog generatora su: **elektromotorna sila** generatora (E) i **unutrašnja otpornost** generatora (R_g).

Elektromotorna sila je po definiciji jednaka količniku rada koji izvrše strane sile u generatoru pri prenošenju kroz generator naelektrisanja ΔQ sa negativne na pozitivnu elektrodu i tog naelektrisanja ΔQ . Odnosno, analitički zapisano:

$$E = \frac{A_{za \Delta Q}}{\Delta Q} = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{rad stranih sila pri prenošenju naelektrisanja} \\ \Delta Q \text{ sa negativne na pozitivnu elektrodu generatora} \end{array} \right]}{\Delta Q} \quad (31)$$

Usvojeni simbol (oznaka) za vremenski konstantnu elektromotornu silu (skraćeno *ems*) je E. Jedinica je **volt** [V].



Slika 3.19 Električni generator;
a) usmerenje elektromotorne sile generatora
b) predstavljanje unutrašnje otpornosti generatora

Nakon definisanja elektromotrne sile generatora moguće je odrediti **snagu generatora**. Proizvod struje koja teče kroz generator i elektromotrne sile generatora predstavlja snagu generatora, što analitički možemo zapisati primeno sledećeg obrasca,

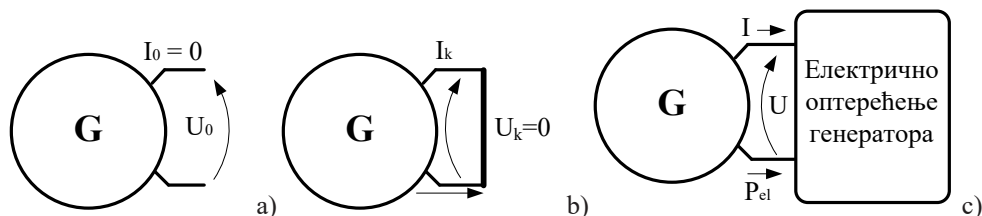
$$P_g = E \cdot I \text{ (snaga generatora)} \quad (32)$$

Druga veoma važna veličina koja karakteriše ponašanje generatora u električno kolu jeste njegova unutrašnja otpornost R_g . Kod realnih generatora prilikom proticanja električne struje kroz generator jedan deo električne energije se bespovratno gubi pretvarajući se u toplotu. Gubici koji se u generatoru pretvaraju u toplotu na unutrašnjem otporu generatora nazivaju se još i Džulovi gubici generatora. Ovi gubici se analitički mogu odrediti primenom obrasca:

$$P_{\text{u generatoru}} = R_g \cdot I^2 \quad (33)$$

Svaki električni generator može se naći u tri karakteristična radna režima:

a) režim praznog hoda, b) režim kratkog spoja i c) režim opterećenja.



Slika 3.20 Režimi rada električnih generatora: a) režim praznog hoda, b) režim kratkog spoja, c) režim opterećenja.

3.13 II KIRHOFOV ZAKON

Drugi Kirhofov zakon govori o napanskoj ravnoteži elektromotornih sila i padova napona duž neke konture u električnom kolu i može se definisati na sledeći način:

u svakoj zatvorenoj konturi složenog električnog kola algebarski zbir svih elektromotornih sila i padova napona jednak je nuli (prva formulacija),

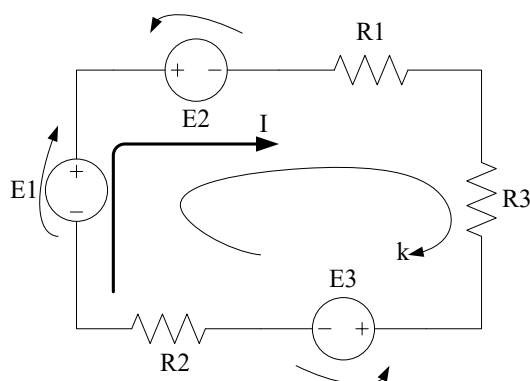
ili

algebarski zbir svih elektromotornih sila jednak je algebarskom zbiru padova napona duž neke konture električnog kola (druga formulacija).

Matematička formulacija prethodne dve definicije može se napisati na sledeći način:

$$\pm \sum_{j=1}^n E_j \pm \sum_{k=1}^m (R_k I_k) = 0 \quad (\text{Drugi Kirhofov zakon saglasno prvoj formulaciji}) \quad (34)$$

$$\pm \sum_{j=1}^n E_j = \pm \sum_{k=1}^m (R_k I_k) \quad (\text{Drugi Kirhofov zakon saglasno drugoj formulaciji}) \quad (35)$$

Slika 3.21 Pretpostavljeni smer struje I , i smer obilaska po konturi k

Primer naponske jednačine po II Kirhofovom zakonu po drugoj formulaciji je:

$$E_1 - E_2 - E_3 = R_1 I + R_2 I + R_3 I. \quad (36)$$

Primenom II Kirgofovog zakona moguće je odrediti struju u električnom kolu Na sledeći način:

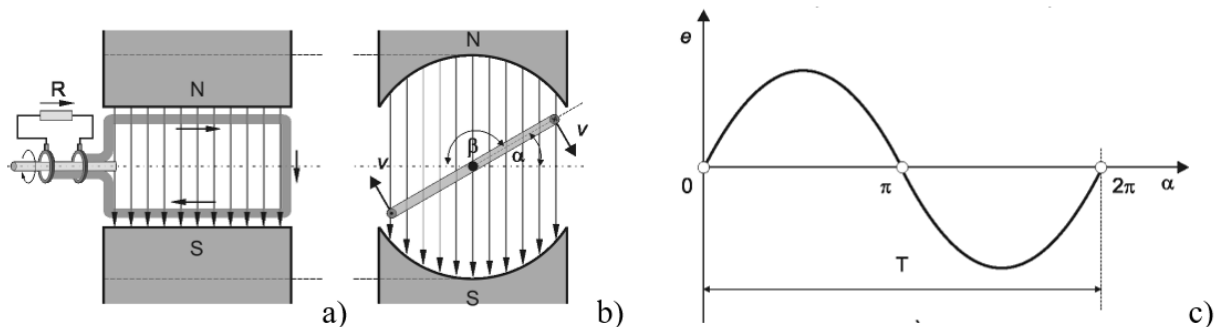
$$I = \frac{E_1 - E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (37)$$

4. NAIZMENIČNE STRUJE

4.1 DOBIJANJE MONOFAZNOG NAIZMENIČNOG NAPONA I STRUJE

Ranije smo pomenuli da je električna struja usmereno kretanje slobodnih elektrona u provodnicima i da se pod dejstvom elektromotorne sile ti slobodni elektroni kreću u zatvorenom električnom kolu. Ukoliko elektromotorna sila pokreće elektrone u zatvorenom električnom kolu samo u jednom smeru, tada se ta elektromotorna sila naziva jednosmernom, a struja koju ona daje jednosmernom strujom. Međutim, ukoliko elektromotorna sila pokreće elektrone u zatvorenom električnom kolu čas u jednom, a čas u drugom smeru, tada se ta elektromotorna sila naziva naizmeničnom, a struja koju ona daje naizmeničnom strujom. Jedan od načina dobijanja naizmenične elektromotorne sile prikazan je na slici 4.1. Ako se jedan navojak obrće između polova magneta, u njemu će se indukovati elektromotorna sila. Krajevi tog navojka su vezani za prstenove, preko kojih su preko četkica, koje naležu na te prstenove, povezani sa prijemnikom R , kroz koji teče struja, slika 4.1. Pri obrtanju navojka, provodnici koji obrazuju navojak presecaju magnetne silnice magneta, pa se u njima indukuje elektromotorna sila e , koja je data izrazom

$$e = B \cdot \ell \cdot v \cdot \sin \alpha \quad (38)$$



Slika 4.1. Princip dobijanja naizmenične struje

Smer te indukovane elektromotorne sile je u provodnicima navojka prikazan je na slici 4.1. Pod dejstvom tih elektromotornih sila u prijemniku otpora R , teći će električna struja.

Iz izraza za elektromotornu silu je, vidi se da se njena vrednost stalno menja u vremenu pri obrtanju navojka. Kada se polovi navojka nađu u osi polova magneta, tada je ugao α između njih 90° , pa je u tom trenutku vrednost indukovane elektromotorne sile u navojku najveća (maksimalna).

Kada navojak dođe u položaj gde je ugao α jednak 0° , vrednost indukovane elektromotorne sile u provodniku navojka zavisi od toga pod kojim se polom provodnik nalazi. Sa slike 4.1. se vidi da će u provodniku, kada se on nađe pod severnim magnetnim polom, biti isti smer elektromotorne sile, a uoliko se nađe pod južnim, smer će biti suprotan.

Na slici 4.1.c prikazana je elektromotorna sila u navojku kada se on obrne za 360° . Ako bi se navojak i dalje obrtao, navedene promene indukovane elektromotorne sile bi se i dalje u njemu ponavljale. Vreme trajanja pune promene elektromotorne sile nazivase perioda T .

Broj punih promena naizmenične veličine elektromotorne sile u jednoj sekundi naziva se učestanost ili frekvencija f .

Jedinica učestanosti je **herc** (Hz).

Učestanost od jednog herca ima naizmenična veličina čija se jedna puna promena završi za jednu sekundu.

Odnos između učestanosti i periode data je izrazom

$$f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz}] \quad (39)$$

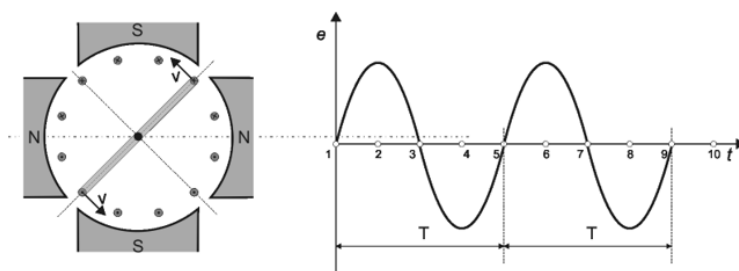
Odnosno

$$T = \frac{1}{f} \quad [\text{s}] \quad (40)$$

Ako bi se navojak obrtao u magnetnom polju, koje potiče od dva para polova, (slika 4.2), u svakom provodniku navojka bi se indukovala elektromotorna sila čija je učestanost data izrazom

$$f = p \cdot \frac{n}{60} \quad [\text{Hz}] \quad (41)$$

gde je p – broj pari polova, a n - broj obrtaja navojka u minuti.



Slika 4.2. Indukovana ems u generatoru sa dva para polova

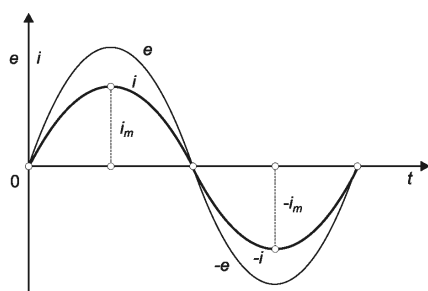
Ako se elektromotorna sila menja po sinusnom zakonu, po istom zakonu će se menjati i struja koju ona daje (slika 4.3). Sa dijagrama na slici se vidi da se vrednost elektromotorne sile, odnosno struje, stalno menja u vremenu od nule do neke maksimalne vrednosti u jednom i u drugom smeru.

Jedna od osnovnih veličina naizmenične struje je kružna učestanost koja se može odrediti na sledeći način:

$$\omega = 2\pi \cdot f \quad (42)$$

Kod naizmeničnih struja razlikujemo:

- trenutnu vrednost elektromotorne sile e , struje i , i napona u
- maksimalnu vrednost elektromotorne sile E_m , struje I_m i napona U_m
- efektivnu vrednost elektromotorne sile E , struje I i napona U .



Slika 4.3. Indukovana elektromotorna sila i struja

Trenutna vrednost naizmenične veličine (napona, struje i elektromotorne sile) je vrednost te veličine u bilo kom trenutku vremena, što znači da ona može imati bilo koju vrednost od nule do maksimalne,

Maksimalna vrednost naizmenične veličine (napona, struje i elektromotorne sile) je najveća vrednost te veličine koja se može postići.

Efektivna vrednost naizmenične veličine (napona, struje i elektromotorne sile) je vrednost te veličine koja je manja od maksimalne vrednosti te veličine. Ako je promena naizmenične veličine sinusna, imamo da je:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad (43)$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (44)$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (45)$$

U praksi, kada se govori o vrednosti naizmenične veličine, misli se na efektivnu vrednost te veličine.

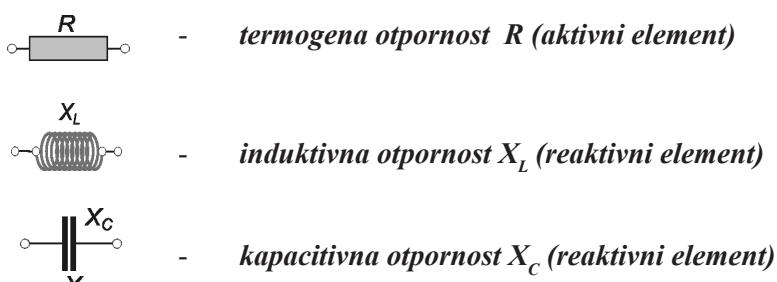
Instrumenti za merenje su tako podešeni da mere efektivnu vrednost naizmeničnih veličina. Tako na primer, izmereni naizmenični napon iznosi 230 V, a to je ustvari efektivna vrednost tog napona.

Njegova maksimalna vrednost iznosi

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U = \sqrt{2} \cdot 230 \text{ V} = 324,3 \text{ V}$$

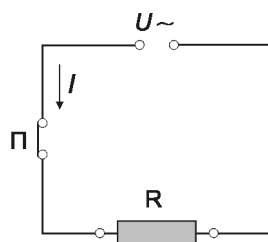
4.2 OTPORNOST U KOLU NAIZMENIČNE STRUJE

U kolu naizmenične struje mogu se javiti tri vrste otpornosti:



1. Termogeni otpor (omski, aktivni) R

Jednosmerna struja se ravnomerno raspoređuje po preseku provodnika, tako da je ceo provodnik aktivan. Međutim, naizmenična struja nema istu gustinu po preseku provodnika i što je njena učestanost veća, tok struje se raspoređuje više po površini provodnika, a manje po unutrašnjem delu.



Slika 4.4 Otpornik u kolu naizmenične struje

Na slici 4.4 prikazan je otpornik priključen na naizmenični napon. Kroz njega će proticati naizmenična struja. Trenutna vrednost napona je sinusna funkcija:

$$u = U_m \sin \omega \cdot t \quad (46)$$

Struja koja prolazi kroz otpornik R u svakom trenutku zavisi od napona, pa je zato trenutna vrednost struje

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega \cdot t \quad (47)$$

Odnosno

$$i = I_m \sin \omega \cdot t \quad (48)$$

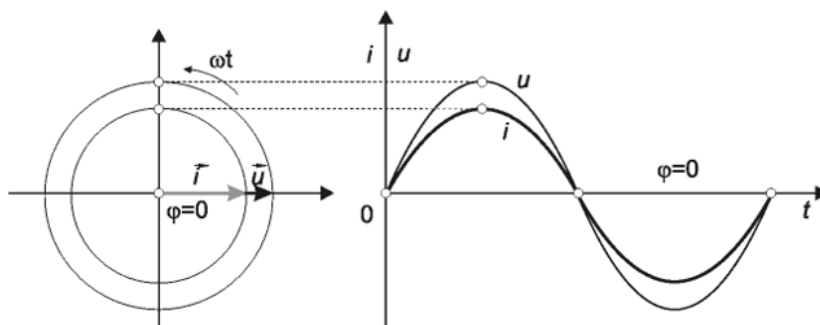
Prema tome, maksimalna vrednost struje izražena preko maksimalne vrednosti napona je:

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad (49)$$

Ili efektivna vrednost struje

$$I = \frac{U}{R} \quad (50)$$

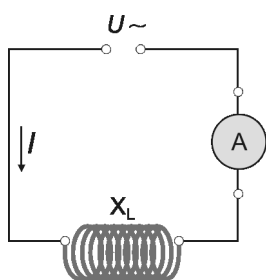
Iz navedenog se može zaključiti da je struja kroz otpor najveća kada je napon najveći, odnosno kada je napon jednak nuli i struja je jednaka nuli. To znači da su ove dve naizmenične veličine u fazi (slika 4.5).



Slika 4.5. Fazorski i vremenski dijagram napona i struje za omsko opterećenje

U ovom otporniku se električna energija izvora pretvara u toplotnu, pa se ova vrsta otpora naziva **aktivni otpor**.

2. Induktivni otpor X_L



Ako na naizmjenični napon priključimo zavojnicu (kalem) koja ima induktivitet L , čiji je aktivni otpor zanemarljivo mali ($R = 0$), kroz tu zavojnicu će proticati naizmjenična struja čija učestanost odgovara učestanosti naizmjeničnog napona na koji je zavojnica priključena, slika 4.6.

Slika 4.6. Induktivnost u kolu naizmjenične struje

Priključujući različite zavojnice (kod kojih je aktivni otpor zanemarujući), primetićemo da će se jačina struje menjati. To znači da svaka zavojnica ima neki svoj otpor čija vrednost utiče na vrednost struje u tom kolu. Otpor koji se javlja u zavojnici, kada kroz nju protiče naizmjenična struja, nazivamo **induktivni otpor** i označavamo ga sa X_L .

Veličina koja karakteriše osobine kalema (zavojnice) naziva se induktivnost kalema, a jedinica induktivnosti je 1 **henri** [H].

Matematički izraz za induktivni otpor je

$$X_L = 2\pi f L \quad [\Omega] \quad (51)$$

Odnosno

$$X_L = \omega L \quad [\Omega] \quad (52)$$

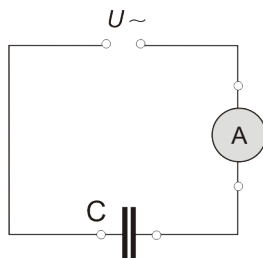
gde je: X_L - induktivni otpor u omima [Ω], f - učestanost [Hz], L - induktivitet u [H] i ω - ugaona brzina u [rad/s].

Struja koja teče kroz zavojnicu može se izračunati po Omovom zakonu:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega L} = \frac{U}{2\pi f L} \quad [A] \quad (53)$$

3. Kapacitivni otpor X_C

Kada se na kondenzator određenog kapaciteta C priključi naizmjenični napon, u tom kolu će teći neka naizmjenična struja, slika 4.7.



Slika 4.7. Kondenzator u kolu naizmjenične struje

Električni otpor u kondenzatoru nazivamo kapacitivni otpor. On zavisi od kapaciteta kondenzatora i učestanosti naizmjeničnog napona koji je priključen na kondenzator.

On je dat izrazom

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{\omega C} \quad (54)$$

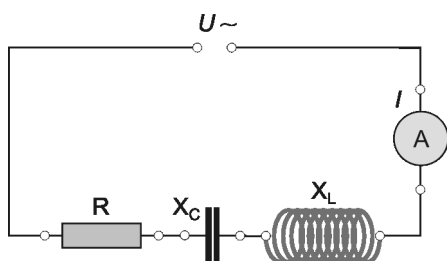
Efektivna vrednost električne naizmenične struje u kolu, u kojem postoji samo kapacitivni otpor, data je izrazom

$$I = \frac{U}{X_C} \quad [A] \quad (55)$$

gde je U - efektivna vrednost naizmeničnog napona na koji je kondenzator priključen, a X_C - kapacitivni otpor kondenzatora.

4.3 IMPENDANSA – REDNA VEZA RLC ELEMENATA

U električnom kolu naizmenične struje obično se pomenuti otpori nalaze kombinovano. Na slici 4.8 prikazano je električno kolo naizmenične struje u kome su redno vezani aktivni, induktivni i kapacitivni otpor. Jasno je da vrednosti struje u ovom kolu zavise od napona izvora i vrednosti aktivne, induktivne i kapacitivne otpornosti.



Slika 4.8 Redna veza RLC elemenata u kolu naizmenične struje

Zbog prirode induktivnog i kapacitivnog otpora, ukupan otpor tog kola je uvek manji od algebarskog zbira vrednosti sva tri otpora u kolu.

Ukupan otpor u kolu naizmenične struje nazivamo **impedansa kola**, označavamo ga sa Z i izražavamo u **omima** $[\Omega]$.

Ona je data izrazom

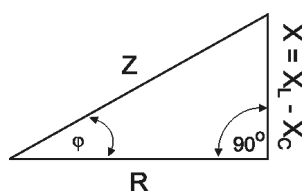
$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2 \quad (56)$$

Ranije je objašnjeno da zavojnica i kondenzator predstavljaju reaktivne otpore. Razlika tih otpora predstavlja ukupni reaktivni otpor X ,

$$X = X_L - X_C \quad (57)$$

Izraz za impedansu je :

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} \quad [\Omega] \quad (58)$$



Slika 4.9 Trougao otpora RLC elemenata u kolu naizmenične struje

Kako ovaj izraz predstavlja izraz za *Pitagorinu teoremu* za hipotenuzu pravouglog trougla, to znači da se ovi otpori odnose kao stranice pravouglog trougla, slika 4.9, čiji je ugao φ , koji predstavlja ugao između vektora naizmeničnog napona i struje u tom kolu.

Na osnovu rečenog zaključujemo da će u jednom električnom kolu naizmenična struja i napon biti fazno pomereni ako postoji neka vrednost ukupnog reaktivnog otpora X . Ako je induktivni otpor veći od kapacitivnog, napon će prednjačiti u odnosu na struju za neki ugao φ , a ako je kapacitivni veći od induktivnog, napon će kasniti za strujom za neki ugao φ . Prema tome, Omov zakon za električno kolo naizmenične struje glasi,

$$I = \frac{U}{Z} \quad [\text{A}] \quad (59)$$

Gde je,

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (60)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} \quad Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2} \quad (61)$$

4.4 SNAGA NAIZMENIČNE STRUJE

Ranije je rečeno da u električnom kolu naizmeničnog napona i struje postoje dve vrste otpora – aktivni i reaktivni.

U aktivnom otporu se električna energija izvora struje pretvara u **toplotnu, mehaničku** ili neku drugu vrstu energije, koju možemo koristiti.

U reaktivnim elementima (induktivnom i kapacitivnom), električna energija izvora se pretvara u **magnetnu** (u zavojnici), odnosno u **elektrostatičku** (u kondenzatoru), pa se potom ove energije ponovo pretvaraju u električnu, koje se vraćaju izvoru struje.

Zato se i snaga termogenih otpora naziva aktivna **snaga** P , a snaga reaktivnih otpora **reaktivna snaga** Q .

Na slici 4.10 prikazano je električno kolo naizmenične struje u kome se nalaze redno vezana sva tri optpora. Kako snaga pretvaranja električne energije u nekom otporu zavisi od vrednosti tog otpora i kvadrata struje koja kroz njega protiče

- u **termogenom** (omskom) otporu je aktivna snaga jednaka

$$P = R I^2 = U_R I \quad (62)$$

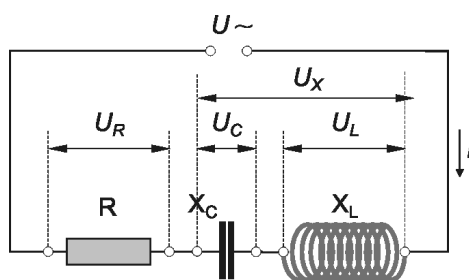
- u **induktivnom otporu** (kalemu, zavojnici) je reaktivna snaga zavojnice jednaka

$$Q_L = X_L I^2 = U_L I \quad (63)$$

- u **kapacitivnom otporu** (kondenzatoru) je reaktivna snaga kondenzatora jednaka

$$Q_C = X_C I^2 = U_C I \quad (64)$$

Znači, da zaključimo, reaktivna snaga se javlja na reaktivnim elementima a to su kalem (zavojnica) i kondenzator. Za obeležavanje aktivne i reaktivne snage postoji i drugi način koji je u literaturi rasprostranjen. Tako aktivnu snagu pobeležavamo sa P , dok reaktivnu snagu sa Q . Za pojedine reaktivne elemente označavanje se može vršiti na sledeći način Q_L za kalem i Q_C za kondenzator.



Slika 4.10 Redna veza RLC elemenata u kolu naizmjenične struje

Ukupna reaktivna snaga Q u nakom kolu data je izrazom

$$Q = X^2 I^2 = (X_L - X_C) I^2 \quad (65)$$

Odnosno,

$$Q = U_X I = (U_L - U_C) I \quad (66)$$

gde je X – ukupni reaktivni otpor koji predstavlja razliku između induktivnog i kapacitivnog otpora.

Isto tako, napon na krajevima ukupnog reaktivnog otpora U_X predstavlja razliku napona na krajevima induktivnog i kapacitivnog otpora, tako da je

$$U_X = U_L - U_C, \text{ ako je } U_L > U_C$$

$$U_X = U_C - U_L, \text{ ako je } U_L < U_C$$

U ovom kolu (slika 4.10) napon izvora ima određenu vrednost U i u njemu teče struja I . Proizvod napona izvora i struje u kolu predstavlja prividnu snagu P_s (ili oznaka S) u tom kolu

$$S = UI = Z I^2 \quad (67)$$

Prema tome, u kolu naizmjenične struje postoje tri vrste snaga

- aktivna snaga (P)
- reaktivna snaga (Q) и
- prividna snaga (S).

Ove snage se međusobno razlikuju i po jedinicama u kojima se izražavaju.

Jedinica za aktivnu snagu je **vat** (W), za reaktivnu VAR – **volt amper reaktivni** (VAR), a za prividnu **volt amper** (VA). Veza između aktivne, reaktivne i prividne snage data je sledećim izrazom:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (68)$$

Odnosno,

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (69)$$

Ako u jednom električnom kolu znamo vrednost naizmjeničnog napona izvora U , jačinu struje I koja u tom kolu teče i ugao φ između vektora napona i struje, snage u njemu možemo izraziti preko ovih veličina, koristeći pri tome trougao snage

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W] \quad (70)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [VA_r] \quad (71)$$

$$S = U \cdot I \quad [VA] \quad (72)$$

4.5 FAKTOR SNAGE

Odnos aktivne i prividne snage u kolu naizmenične struje naziva se faktor snage tog električnog kola

$$\frac{P}{S} = \cos \varphi \quad (73)$$

Kako ugao φ pokazuje fazni pomeraj između napona i struje, faktor snage će zavisi od vrednosti otpora u kolu.

Na primer, svaki električni prijemnik koji je predviđen za naizmeničnu struju ima *aktivni* otpor, a ukoliko ima i namotaje u njima se javlja i induktivni otpor. Faktor snage tog prijemnika ima neku vrednost koja je veća od nule, *ali* je manja od jedinice. Ta vrednost faktora snage je uvek naznačena na samom prijemniku.

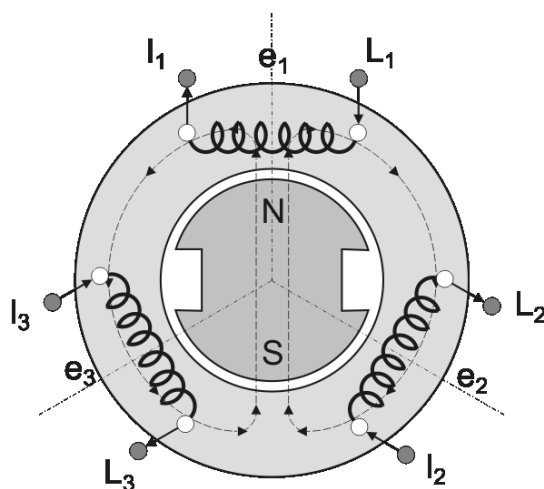
4.6 TROFAZNE NAIZMENIČNE STRUJE

Višefazne (polifazne) naizmenične struje dobijaju se u generatorima u kojima ima više namotaja. Oni su međusobno simetrično raspoređeni, tako da se u njima indukuju naizmenične elektromotorne sile čije su maksimalne vrednosti uvek jednake ali se ne postižu u isto vreme jer su te elektromotorne sile fazno pomerene.

Namotaj generatora naizmenične struje u kome se indukuje naizmenična elektromotorna sila nazivamo faza. Ako generator ima samo jedan namotaj, on daje jednofazni naizmenični napon i struju i nazivamo ga jednofazni generator naizmenične struje i napona. Ukoliko generator ima tri namotaja (tri faze), tada on daje trofaznu naizmeničnu struju i napon i nazivamo ga trofazni generator naizmenične struje i napona.

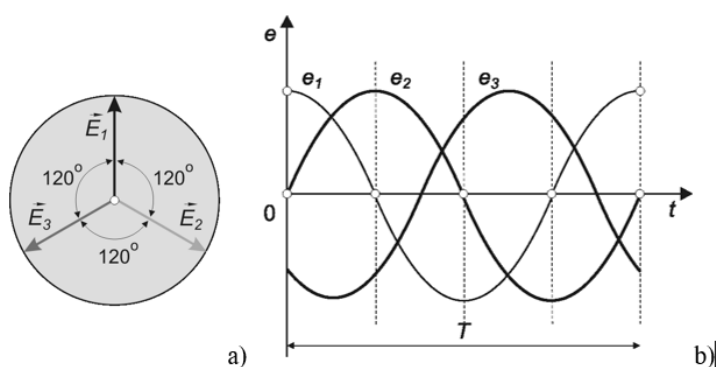
Danas je u najširoj primeni trofazni sistem proizvodnje i prenosa električne energije.

Prednost trofaznog sistema je, pored ostalog, i u tome što on obezbeđuje prenos električne energije sa manjim gubicima i sa manjim utroškom materijala za prenosne vodove.



Slika 4.11 Trofazni generator

Na slici 4.11 prikazan je generator trofazne naizmenične struje. Kod njega su tri namotaja statora simetrično raspoređena, pa pri obrtanju rotora (magneta), u namotajima statora će se indukovati odgovarajuće elektromotorne sile: e_1 , e_2 i e_3 (slika 4.12).



Slika 4.12. Vremenski dijagram indukovanih elektromotornih sila generatora

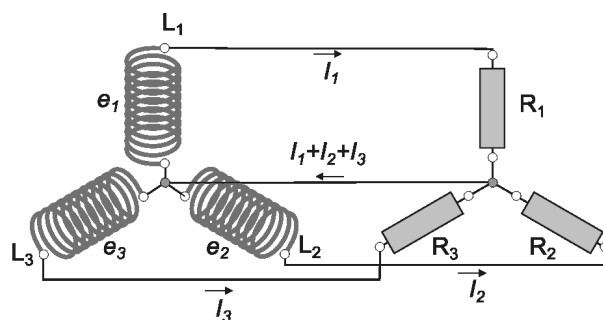
Koristeći dijagram elektromotornih sila u tri faze generatora, prikazanog na slici 4.12., lako se može utvrditi da je u svakom trenutku zbir elektromotornih sila pojedinih faza jednak nuli

$$e_1 + e_2 + e_3 = 0$$

Ako je trofazni sistem (slika 4.13), simetrično opterećen, tada će i zbir tih struja u svakom trenutku biti jednak:

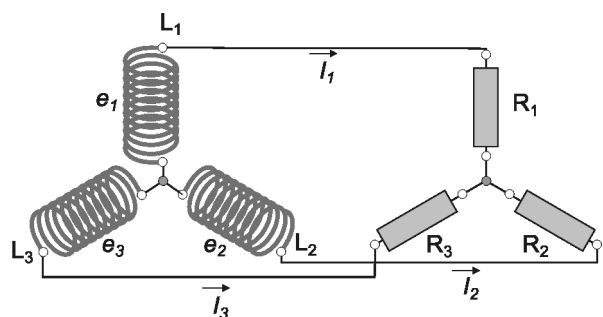
$$i_1 + i_2 + i_3 = 0,$$

što znači da praktično kroz povratni vod ne teče nikakva struja i on se može, kao nepotreban, sasvim izbaciti (slika 4.14).



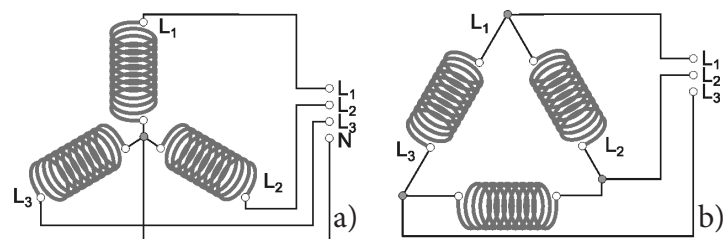
Slika 4.13. Principska šema trofaznog sistema sa nultim provodnikom.

Kod simetrično opterećenog trofaznog sistema potrebna su tri voda, a ako bi se koristio jednofazni napon, za istu snagu bi bilo potrebno šest napojnih vodova.



Slika 4.14 Principska šema trofaznog sistema bez nultog provodnika.

Namotaji tri faze generatora međusobno mogu biti spregnuti u **zvezdu** (slika 4.15a) ili u **trougao** (slika 4.15b).



Slika 4.15 Spoj namotaja trofaznog generatora: a) spoj u zvezdu, b) spoj u trougao.

Ako se zanemari vrednost otpora namotaja faza, umesto elektromotornih sila (E_1 , E_2 i E_3) možemo posmatrati odgovarajuće napone (U_1 , U_2 i U_3). Kod trofaznog sistema, bez obzira da li je veza u zvezdu ili trougao, razlikujemo dve vrste napona

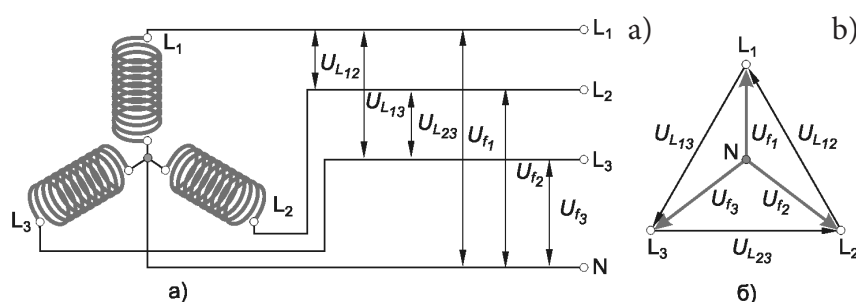
- Napon između faznog i nultog provodnika – **fazni napon** U_f
- Napon između dva fazna provodnika – **linijski napon** U_L (međufazni napon)

Kada su faze generatora naizmenične struje vezane u zvezdu (slika 4.16a), vektorski dijagram linijskih napona i struja prikazan je na slici 4.16b.

Stranice ravnostranog trougla predstavljaju linijske napone, a fazni napon je jednak $2/3$ visine tog ravnostranog trougla:

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_f \quad (74)$$

$$U_f = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \quad (75)$$



Slika 4.16 Naponi trofaznog sistema, a) označavanje pojedinih napona, b) vektorski dijagram napona

Na primer, kod gradske niskonaponske mreže napon jedne faze iznosi:

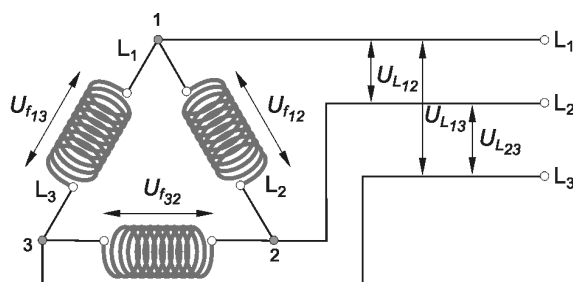
$$U_f = 230 \text{ V}$$

pa je linijski napon (napon između dve faze),

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_f = \sqrt{3} \cdot 230 = 400 \text{ V}$$

Kod sprege namotaja u trougao (slika 4.17), linijski napon je ujedno i fazni

$$U_f = U_L$$



Slika 4.17 Spoj namotaja trofaznog generatora u trougao.

4.7 SNAGA TROFAZNOG SISTEMA NAIZMENIČNE STRUJE

U trofaznom sistemu naizmjenične struje, kao i u jednofaznom, razlikujemo tri vrste snaga

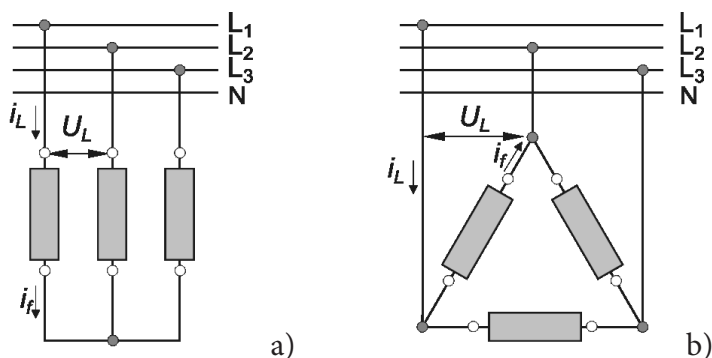
P = aktivnu snagu [W]
 Q = reaktivnu snagu [Var]
 S = prividnu snagu [VA].

U trofaznom sistemu su tri jednofazna sistema vezana u zvezdu ili trougao, pa njihovu snagu možemo naći ako saberemo snage pojedinih faza.

Ukoliko su sve tri faze iste snage (simetrično opterećen trofazni sistem), tada je ukupna snaga trofaznog sistema

$$P = 3U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi \quad (76)$$

Pri izračunavanju snaga trofaznog sistema koriste se linijski naponi i struje, koji se pogodnije mere od faznih. Na slici 4.18 prikazan je trofazni prijemnik čije su faze vezane u **zvezdu** (slika 4.18a) i u **trougao** (slika 4.18b).



Slika 4.18 Veza trofaznog potrošača: a) spoj u zvezdu, b) spoj u trougao.

Veza između faznih i linijskih napona i struja u spoju zvezda dat je sledećim izrazima:

$$U_f = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \quad (77)$$

$$I_f = I_L \quad (78)$$

Pa je izraz za snagu za vezu u zvezdu:

$$P = 3U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = 3 \frac{U_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

Veza između faznih i linijskih napona i struja u spoju trougao dat je sledećim izrazima:

$$U_f = U_L \quad (79)$$

$$I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \quad (80)$$

Pa je izraz za snagu za vezu u trougao $P = 3U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = 3 \frac{U_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \cdot \cos \varphi$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

Prema tome, snaga trofaznog prijemnika je

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W]$$

bez obzira da li su faze prijemnika vezane u zvezdu ili trougao.

Na sličan način može se pokazati da je izraz za reaktivnu snagu trofaznog prijemnika

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [Var]$$

odnosno za prividnu snagu trofaznog prijemnika

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad [VA]$$

5. DIGITALNA BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Digitalna brojila su merni instrumenti koji se koriste za merenje i registrovanje aktivne i reaktivne električne energije. U poređenju sa analognim brojilima, digitalna brojila imaju sledeće prednost:

- Veću tačnost,
- Očitavanje na znatno veće udaljenosti,
- Dodatne mogućnosti, kao što je kompjuterska obrada i slično,
- Automatska regulacije (uključivanje i isključivanje) različitih tarifnih sistema,
- Razne kontrole rada (tačnost rada, krijumčarenje utrošene energije i slično),
- Baždarenje, koje je veoma bitno, je znatno jednostavnije.

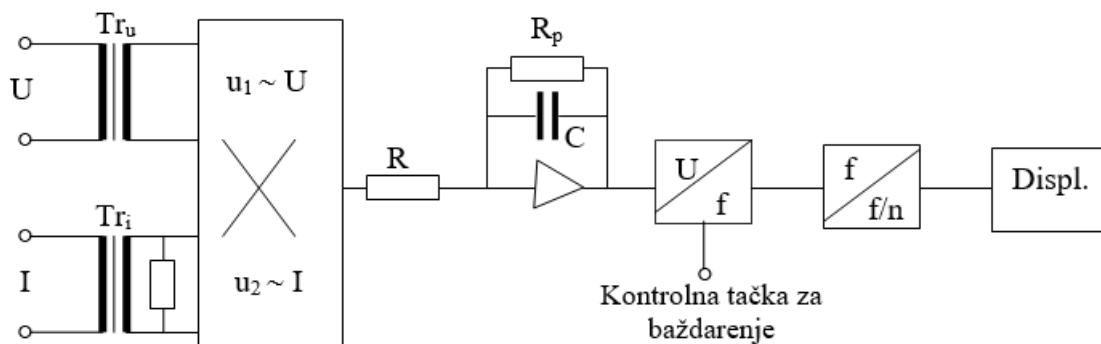


Slika 5.1 Izgled savremenih digitalnih brojila.

Električna energija predstavlja angažovanu snagu u određenom vremenu, pa je:

$$W_{el} = P t \text{ [kWh]}$$

Električno brojilo je merni uređaj na čijem se izlazu dobije napon koji je proporcionalan sa potrošenom energijom na nekom potrošaču za određeno vreme. Vrednost utrošene energije se registruje digitalnim zapisom. Blok šema digitalnog brojila za jednofazni sistem prikazana je na slici 5.2.



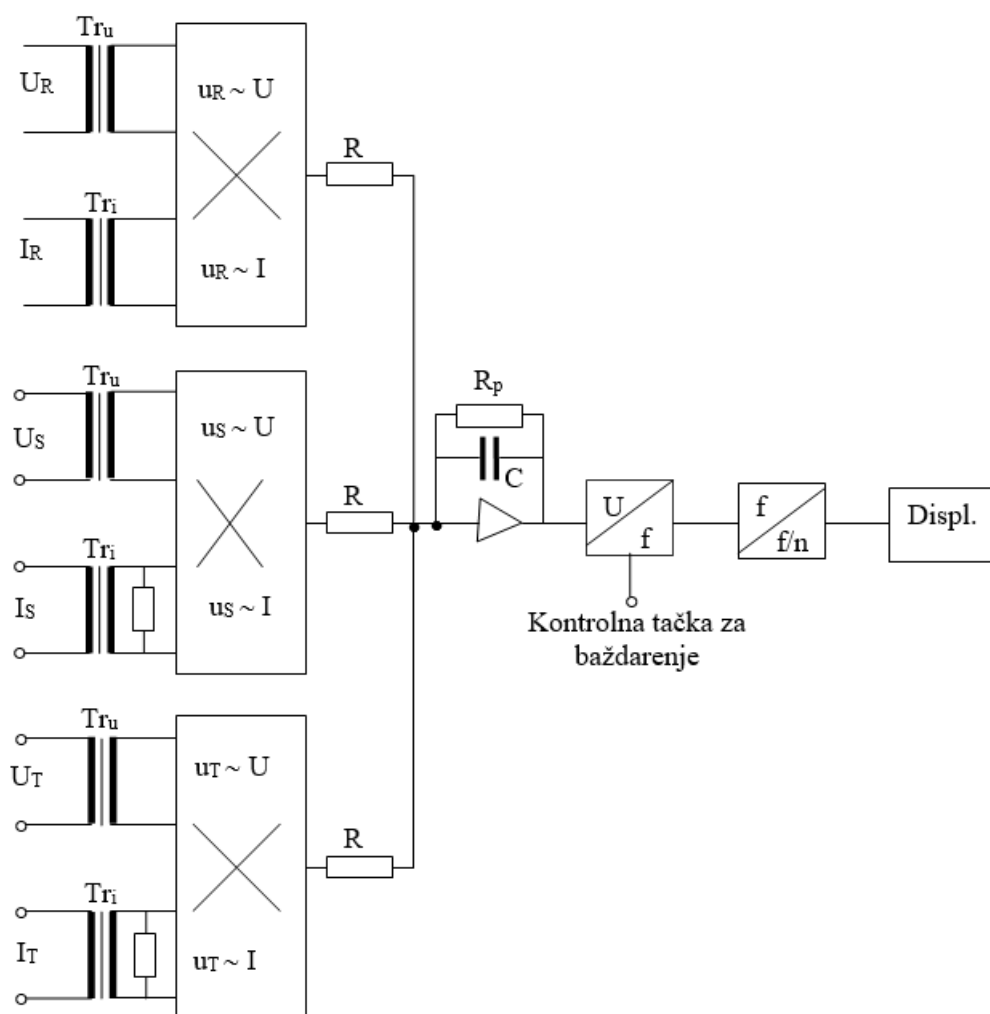
Slika 5.2. Blok šema jednofaznog digitalnog brojila aktivne električne energije

Kako se vidi na blok šemi digitalno brojilo aktivne električne energije sastoji se od kola za množenje, koje je potpuno identično kao kod digitalnog vatmetra. Izlazni signal ovog kola za množenje čini ulaz u blok koji se sastoji od pojačala – oslabljivača, kojem pripadaju elementi R , R_p i C . U ovom bloku se prilagođava izlazni signal napona koji šalje množač. Zadatak kondenzatora C je da propušta signal na niskoj frekvenciji (niskopropusni filtr), kao što je objašnjeno kod digitalnog vatmetra. Na izlazu ovog bloka (blok za prilagođavanje signala) treba da se dobije jednosmerni napon koji će biti proporcionalan sa električnom aktivnom snagom. Ovaj napon je potpuno jednak naponu u sledećem bloku u kojem se on pretvara u frekvenciju (U/f). Kako se u konvertoru ($U \Rightarrow f$) jednosmerni napon poznate vrednosti pretvara u frekvenciju, ova frekvencija f mora biti proporcionalna naponu U koji se konvertovao. Na taj način je uspostavljena linearna veza između frekvencije i konvertovanog napona, odnosno napona na izlazu množača (ova dva napona se izjednače, tj. kompenzuju), a samim tim je i frekvencija linearna sa aktivnom snagom koja je dovedena na ulaz množača. Brojanjem impulsa n , koji nastaju pri pretvaranju frekvencije f u broj impulsa n ($f \Rightarrow f/n$) u narednom bloku za neko određeno vreme t ovaj broj impulsa je određen snagom koja je dovedena na ulaz množača, a samim tim i na potrošaču, i vremenom.

To znači da je ovaj broj impulsa indirektno povezan sa utrošenom aktivnom energijom na potrošaču, jer je ta energija srazmerna sa P i t ($W = Pt$). Registracija broja impulsa je trajna, tj. on traje sve dok je potrošač uključen. Brojač broja impulsa je najčešće elektromagnetni brojač impulsa, koji je sličan klasičnom mehaničkom brojaču indukcionog brojila. Kada se potrošač isključi napon pada na nulu što automatski dovodi do toga da brojač prestane da vrši registraciju impulsa (brojanje). Ponovnim uključenjem, napon će dati signal bloku u kojem se frekvencija f pretvara u broj impulsa n , pa će brojač početi da ponovo registruje utrošak električne energije, sabirajući je sa predhodnim stanjem.

Ako se radi o trofaznom digitalnom brojilu tada su potrebna tri bloka za množenje. To znači da je na svakoj fazi po jedan blok za množenje. Ti množači su potpuno identični, kao što su i naponsko strujni elektromagneti kod trofaznog indukcionog brojila. Blokovi za množenje su na izlazu vezani sa tri identična otpornika, preko kojih se signali dovode u kolo za sumiranje. Na taj način se ukupni signali (impulsi) povežu sa ukupnom aktivnom snagom, čime je i omogućena i registracija ukupne aktivne snage trofaznog sistema. Dakle, trofazni sistem treba posmatrati kao tri jednofazna, pa i trofazno digitalno brojilo je kombinacija tri jednofazna (kao što je bio slučaj kod indukcioni brojila).

Digitalna brojila imaju mogućnost da memorišu registrovane podatke. Ovi memorisani podaci



SI.5.3. Blok šema trofaznog digitalnog brojila aktivne električne energije

se mogu preneti i dalje obrađivati na kompjuteru. Digitalna brojila mogu biti povezana tako da se očitavanja mogu vršiti na jednom mestu (računski centar). Na ovaj način moguće su razne kontrole i provere. Takođe sa tog centralnog mesta moguće su razne varijante uključivanja i isključivanja različitih tarifa (niža tarifa, veća tarifa, vikend tarifa itd.). Zbog navedenih mogućnosti, koje su već danas prisutne, klasična analogna se u potpunosti zamenjuju sa digitalnim.

Treba imati u vidu da se prilikom montaže digitalnih brojila mora voditi računa o tome da su ta brojila dobila saglasnost (resornog ministarstva) za primenu. Uz tu saglasnost bitna je i godina proizvodnje, kako bi se izbeglo dodatno baždarenje brojila. Brojila koja su stara do godinu dana ne moraju se baždariti, jer je to urađeno u fabrici gde su proizvedena. Sva starija brojila moraju ići na ponovno baždarenje.

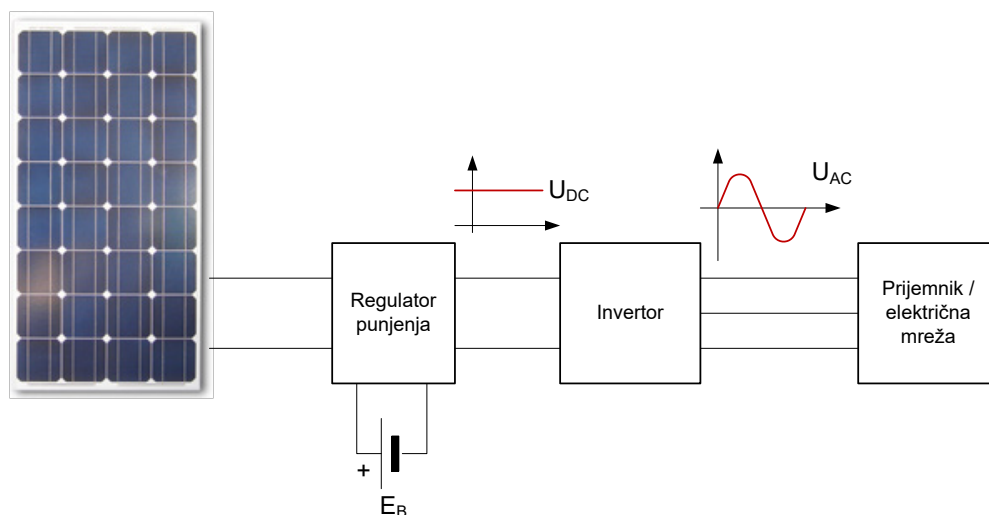
Pri povezivanju brojila strogo poštovati šema kaja se daje na samom poklopcu.

Digitalna brojila u domaćinstvu se direktno priključuju. Brojila u industriji gde su prisutni veći potrošači, kao što su razne livnice (indukcione peći), priključuju se preko mernih transformatora. Priključenje može biti indirektno, tj. preko strujnog i naponskog mernog transformatora, ili poluindirektno kada se koristi samo jedan merni transformator (strujni ili naponski). Povezivanje mernih transformatora je potpuno isto kao kod indukcionih brojila.

6. OSNOVNI PRINCIP RADA FOTONAPONSKOG SISTEMA

Na slici 6.1 prikazan je osnovna struktura jedne fotonaponske elektrane. Osnovni delovi prikazanog sistema su:

1. Fotonaponski panel
2. Regulator punjenja akumulatorske baterije (baterija)
3. Monofazni ili trofazni inverter
4. Potrošač(prijemnik) i/ili električna mreža



Slika 6.1 Osnovna struktura fotonaponskog sistema.

Fotonaponski panel povezan je sa regulatorom punjenja akumulatorskih baterija sa jedne strane, dok je sa druge strane povezan na ulazne priključke invertorskog modula. Na regulatoru punjenja postoje i priključni kontakti za povezivanje akumulatorske baterije. Invertor je sa naizmenične strane povezan na prijemnik ili električnu mrežu u zavisnosti od vrste fotonaponske elektrane, odnosno da li je predviđena da radi u ostvrskom režimu ili je predviđena da radi na distributivnu mrežu.

Fotonaponski sistemi obezbeđuju električnu energiju na osnovu sunčevog zračenja, i ta energija se preko regulatora punjenja skladišti u akumulatorske baterije.

Električna energija iz akumulatorskih baterija se dovodi na ulaz invertora. Napon na ulazu invertora je jednosmerne prirode. Invertor je uređaj energetske elektronike koji jednosmerne napone i struje pretvara u naizmenične. Naizmenični napon dobijen na izlazu invertora služi za napajanje prijemnika koji su predviđeni za rad na naizmeničnom sistemu napajanja, ili je povezan na električnu mrežu i električnu energiju injektuje u distributivni sistem.



2. ODREĐIVANJE ZAHTEVA I POTREBA KORISNIKA FOTONAPONSKOG SISTEMA, STATUS KUPAC/ PROIZVOĐAČ



Zakonski okviri za proizvodnju električne energije iz OIE u Republici Srbiji

Investitor koji gradi objekat za proizvodnju električne energije treba da stekne pravo na izgradnju objekta za proizvodnju električne energije i pravo na obavljanje proizvodnje električne energije. Pravni okvir Republike Srbije nudi definisanu proceduru, mada ponekad neusklađenu sa stanjem na terenu.

Pravo na izgradnju objekta za proizvodnju električne energije, pa tako i FN elektrane i pravo na obavljanje proizvodnje električne energije su definisani i uređeni zakonima, uredbama i pravilnicima. Neki najvažniji su u daljem tekstu nabrojani:

- Zakon o energetici („Službeni glasnik RS“, broj 145/14, 95/18),
- Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije („Službeni glasnik RS“, broj 40 od 22. aprila 2021.)
- Zakon o planiranju i izgradnji („Sl. glasnik RS“, broj 72/09, 81/09, 52/21),
- Zakon o zaštiti životne sredine („Sl. glasnik RS“, broj 135/04 i 36/09),
- Zakon o zaštiti od požara („Sl. glasnik RS“, broj 111/09, 20/15, 87/18),
- Zakon o efikasnom korišćenju energije („Službeni glasnik RS“, broj 25/13),
- Nacionalni akcioni plan za korišćenje obnovljivih izvora energije (NAPOIE) („Sl. glasnik RS“, broj 53/13),
- Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine („Sl. glasnik RS“, broj 101/15),
- Uredba o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije, privremenog povlašćenog proizvođača i proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora energije („Sl. glasnik RS“, broj 56/16) i pripadajuće izmene uredbe „Sl. glasnik RS“, br. 60/17 i „Sl. glasnik RS“, br. 54/19,
- Uredba o podsticajnim merama za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i iz visokoefikasne kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije („Sl. glasnik RS“, broj 56/16) i pripadajuće izmene („Sl. glasnik RS“ broj 60/17 i „Sl. glasnik RS“ broj 91/18),
- Uredba o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja i obaveza između kupca – proizvođača i snabdevača („Službeni glasnik RS“, broj 83 od 27. avgusta 2021.),
- Pravilnik o posebnoj vrsti objekata i posebnoj vrsti radova za koje nije potrebno pribavljati akt nadležnog organa, kao i vrsti objekata koji se grade, odnosno vrsti radova koji se izvode, na osnovu rešenja o odobrenju za izvođenje radova, kao i obimu i sadržaju i kontroli tehničke dokumentacije koja se prilaže uz zahtev i postupku koji nadležni organ sprovodi („Službeni glasnik RS2“, broj 102 od 24. jula 2020, 16 od 26. februara 2021, 87 od 10. septembra 2021),
- Pravilnik o sadržini, načinu i postupku izrade i načinu vršenja kontrole tehničke dokumentacije prema klasi i nameni objekata („Sl. glasnik RS“, broj 73/2019)

Ostali prateći zakoni i podzakonska akta.

Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije definiše podsticaje za proizvodnju električne energije iz OIE u određenom podsticajnom periodu kroz dva sistema [8]:

- sistem tržišnih premija i
- sistem fid-in tarifa.

Sistem tržišne premije predstavlja dodatak na tržišnu cenu električne energije koja se definiše kroz sistem aukcije. Početna cena (ispod koje se investitori nadmeću) određena je od strane Agencije za energetiku Republike Srbije, na osnovu adekvatne metodologije, dok se investitori nadmeću do popunjavanja kovte (instalisanе snage u MW) koju određuje vlada. Kroz sistem tržišne premije obezbeđuje se podsticajni period od 15 godina i prioritetan pristup sistemu. U postupku aukcije, donošenjem rešenja o dodeljivanju prava na tržišnu premiju stiče se status privremenog povlašćenog proizvođača, a nakon zaključenog ugovora o tržišnoj premiji stiče se status povlašćenog proizvođača električne energije [8].

Sistem fid-in tarife podrazumeva dodelu podsticajne otkupne cene (garantovane) po kWh isporučene električne energije u elektroenergetski sistem. Ostvarenje prava na fid-in tarifu moguće je samo za mala postrojenja (ispod 500 kW) i demonstracione projekte. Visina fid-in tarife je definisana

u postupku aukcije po istom sistemu po kome se stiču i tržišne premije. Elektrane u sistemu fid-in tarife su oslobođene balansne odgovornosti, a fid-in tarifa traje 15 godina. Rešenjem o priznanju prava na fid-in tarifu stiče se status privremenog povlašćenog proizvođača, a nakon potpisivanja ugovora sa garantovanim snabdevačem i sticanje statusa povlašćenog proizvođača [8].

Ukoliko elektrana nije korisnik premije niti fid-in tarife, proizvođač može steći status proizvođača iz obnovljivih izvora energije i obezbediti digitalni sertifikat garancije o poreklu energije. Garancije o poreklu izdaje operator prenosnog sistema.

Novi zakon [8] takođe po prvi put definiše proizvodnju električne energije za sopstvenu potrošnju, takozvani status kupac-proizvođač energije (prosumer), gde pasivni kupci postaju aktivni učesnici na tržištu sa mogućnošću samostalnog upravljanja energijom na osnovu proizvodnje i potrošnje.

Kupac-proizvođač

Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije definiše status kupca-proizvođača kao krajnjeg kupca koji je na unutrašnje instalacije priključio sopstveni objekat za proizvodnju električne energije iz OIE, pri čemu se proizvedena električna energija koristi za snabdevanje sopstvene potrošnje, a višak proizvedene električne energije isporučuje u distributivni sistem.

Prilikom obračuna električne energije definisano je neto merenje, koje se primenjuje za domaćinstva i neto obračun koji se primenjuje za ostale krajnje kupce.

Neto merenje je definisan kao način obračuna neto električne energije, pri kome se viškom isporučene električne energije, u toku jednog meseca, umanjuje neto količina električne energije u toku narednog meseca.

Neto obračun je način obračuna neto električne energije, pri kome se vrednost viška predate električne energije, u toku jednog meseca obračunava i naplaćuje na osnovu ugovora između kupca-proizvođača i snabdevača;

Kupac-proizvođač ima pravo da samostalno ili posredstvom agregatora:

- proizvodi električnu energiju za sopstvenu potrošnju;
- skladišti električnu energiju za sopstvene potrebe;
- da višak proizvedene električne energije isporuči u prenosni sistem, distributivni sistem, odnosno zatvoreni distributivni sistem;
- i druga prava i obaveze u skladu sa Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije i zakonom kojim se uređuje oblast energetike.

Prema zakonu [8] kupac-proizvođač ne može koristiti podsticajne mere u vidu tržišne premije i fid-in tarife, niti može imati pravo na garanciju porekla.

Ono što je veoma bitno je da instalisana snaga proizvodnog objekta kupca-proizvođača ne može biti veća od odobrene snage priključka krajnjeg kupca. Ukoliko se želi veća snaga proizvodnog objekta od odobrene snage priključka, potrebno je tražiti od nadležne distribucije povećanje snage.

Stambena zajednica može imati prava i obaveze kupca-proizvođača u skladu sa ovim zakonom.

Kupac-proizvođač zaključuje ugovor o potpunom snabdevanju, odnosno ugovor o otkupu električne energije sa snabdevačem u skladu sa zakonom kojim se uređuje energetika.

Snabdevač ima obavezu da kupcu-proizvođaču koji je domaćinstvo ili mali kupac, ponudi ugovor o potpunom snabdevanju sa neto merenjem ili neto obračunom u skladu sa kriterijumima i uslovima propisanim podzakonskim aktom.

Period za poravnanje potraživanja i obaveza između kupca-proizvođača i snabdevača je jedna godina i završava se 1. aprila. Kupac-proizvođač nema pravo na potraživanja za količinu isporučene električne energije koja je veća od količine preuzete električne energije u navedenom periodu.

Operator distributivnog sistema je dužan da prioriteto preuzima električnu energiju od strane kupca-proizvođača, osim u slučaju kada je ugrožena sigurnost rada sistema.

Operator distributivnog sistema je dužan da na mestu primopredaje električne energije kupca-proizvođača ugradi brojilo koje omogućava odvojeno merenje količine predate i preuzete električne energije, u skladu sa zakonom kojim se uređuje energetika i ovim zakonom. Standardno, distribucija ugrađuje četvorokvadrantno dvosmerno brojilo.

Operator distributivnog sistema je dužan da uspostavi registar kupaca-proizvođača priključenih na distributivni sistem [8]

Realizacija fotonaponskih sistema malih i srednjih snaga za domaćinstva, stambene zajednice i ostale objekte u statusu kupac-proizvođač

Do donošenja novog zakona o obnovljivim izvorima energije i promene Zakona o energetici bila je ista procedura sticanja prava na izgradnju i obavljanja proizvodnje električne energije, bez obzira na status i snagu FN elektrane. Novi zakon razlikuje prostiju proceduru za sticanje statusa kupac-proizvođač.

Po toj istoj proceduri za sve, Lokalna samouprava je nakon podnošenja prijave putem centralne objedinjene procedure (CEOP) prvo izdala Lokacijske uslove, a potom Građevinsku dozvolu ili Rešenje o odobrenju za izvođenje radova, u zavisnosti od snage elektrane. Nezavisno od objedinjene procedure, investitor se obraćao nadležnoj distribuciji radi ishodovanja uslova za projektovanje i priključenje za proizvodni objekat i za rešenje o priključenju na DSEE. Ova procedura se i dalje primenjuje u nekim slučajevima, u zavisnosti od statusa proizvodnog objekat i snage elektrane.

U skladu sa važećim zakonima po uprošćenoj proceduri Elektrodistibucija Srbije sa sedištem u Beogradu je za sad definisala proceduru za sledeće kupce-proizvođače [9]:

- domaćinstva sa direktnim merenjem i objekti koji nisu domaćinstva i stambene zajednice instalirane snage fotonaponskih modula do 10,8 kW,
- objekti koji nisu domaćinstva i stambene zajednice instalirane snage fotonaponskih modula od 10,8 kW do 50 kW i
- stambene zajednice u statusu kupac-proizvođača instalirane proizvodne snage fotonaponskih modula do 50 kW.

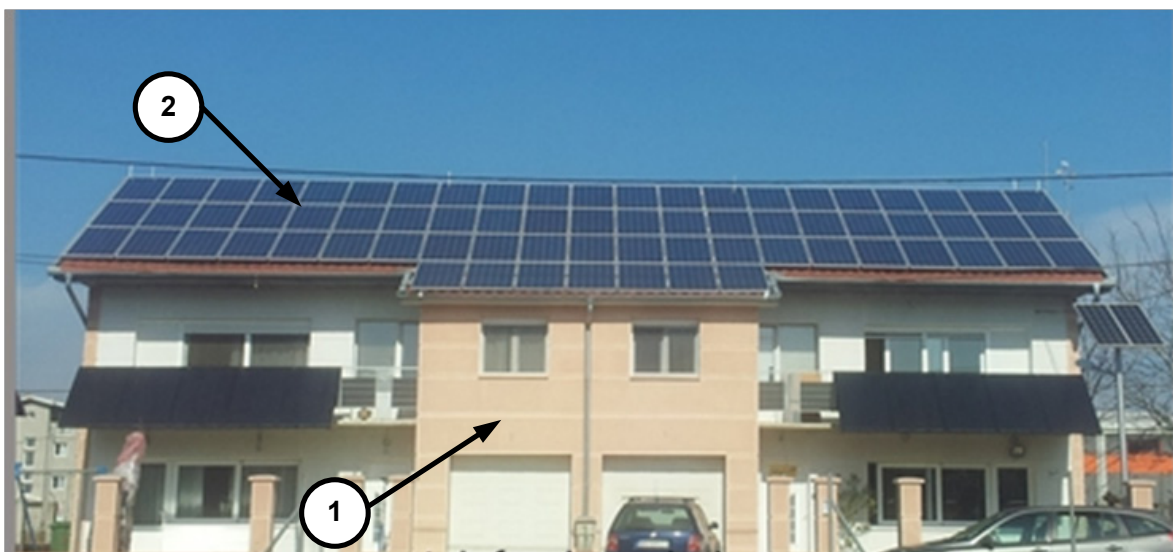
Ispunjavanjem procedure koje zahteva elektrodistibucija za gore navedene subjekte stiče se status kupac-proizvođač, bez obraćanja Lokalnoj samoupravi. Ovo čini realizaciju projekta jednostavnijom.

Status kupac-proizvođač u skladu sa zakonom mogu steći sva preduzeća ako na svojim objektima izgrade FN elektranu snage veće od 50 kW, s tim da procedura nije pojednostavljena. Ovo znači da se primenjuju stara pravila, obraćanje Lokalnoj samoupravi i nadležnoj distribuciji.

Domaćinstva sa direktnim merenjem i objekti koji nisu domaćinstva i stambene zajednice instalirane snage fotonaponskih modula do 10,8 kW

Da bi se za domaćinstva sa direktnim merenjem (slika 1.1) i objekte koji nisu domaćinstva i stambene zajednice instalirane snage fotonaponskih modula do 10,8 kW stekao status kupca-proizvođača potrebno je da krajnji kupac [8]:

- izgradi proizvodni objekat instalirane proizvodne snage ne veće od postojeće odobrene snage priključka,
- izvrši prilagođenje mernog mesta i
- zaključi ugovor o potpunom snabdevanju električnom energijom sa neto merenjem ili neto obračunom.



Slika 1.1 FN elektrana na porodičnoj kući: 1-objekat, 2-fotonaponski paneli

Izgradnja proizvodnog objekta se vrši prema Pravilniku o posebnoj vrsti objekata i posebnoj vrsti radova za koje nije potrebno pribavljati akt nadležnog organa, kao i vrsti objekata koji se grade, odnosno vrsti radova koji se izvode, na osnovu rešenja o odobrenju za izvođenje radova, kao i obimu i sadržaju i kontroli tehničke dokumentacije koja se prilaže uz zahtev i postupku koji nadležni organ sprovodi [10]. Prema ovom pravilniku definisanim u članu 2, stav 4a, nije potrebno pribavljanje akta nadležnog organa za FN elektrane instalisane snage do 50 kW.

Instalaciju FN elektrane vrše pravna lica sa odgovarajućom licencom na osnovu dokumenta „Opšti tehnički uslovi“ koji mora da zadovolji proizvodni objekat. Poslednja verzija ovog dokumenta je izdata od strane Elektrodistribucije Srbije 3. decembra 2021. godine.

Opštim uslovima se definišu tehnički uslovi koje treba da zadovolji proizvodni objekat fotonaponske tehnologije i koji će raditi paralelno sa distributivnim sistemom električne energije u cilju ostvarivanja prava kupca-proizvođača, kao i način dokazivanja usaglašenosti proizvodnog objekta i unutrašnjih instalacija postojećeg objekta kupca sa ovim Opštim uslovima i propisima.

Nakon izgradnje proizvodnog objekta, izvođač radova je u obavezi da izda krajnjem kupcu potvrdu o ispravnosti uređaja i instalacija i usklađenosti sa propisima i standardima, a koja sadrži izjavu odgovornog izvođača radova, ateste za ugrađenu opremu i uređaje i izveštaje o sprovedenim funkcionalnim ispitivanjima.

Prilagođenje mernog mesta počinje predajom zahteva nadležnoj elektrodistribuciji putem elektronske pošte. Nakon obrade zahteva elektrodistribucija zakazuje termin za zamenu brojila, koje vrši izvođač radova koga je angažovao krajnji kupac. Ukoliko priključak kupca, sa ormanom mernog mesta, nije u vlasništvu Elektrodistribucije Srbije, potrebno je da krajnji kupac potpiše Ugovor o preuzimanju mernih uređaja, merno razvodnih ormara, priključnih vodova, instalacija i opreme u merno razvodnom ormanu, u skladu sa Zakonom o energetici.

Nakon zamene brojila postoji mogućnost priključenja FN elektrane na DSEE. Međutim, strogo je zabranjena isporuka električne energije u distributivni sistem od strane krajnjeg kupca pre sticanja statusa kupca-proizvođača, odnosno pre zaključivanja ugovora o potpunom snabdevanju sa neto merenjem i upisa u registar kupaca-proizvođača. Operator distributivnog sistema može izvršiti obustavu isporuke i preuzimanja električne energije u skladu sa Zakonom o energetici.

Nakon izgradnje FN elektrane i prilagođenja mernog mesta krajnji kupac potpisuje ugovor o potpunom snabdevanju sa neto merenjem.

Objekti koji nisu domaćinstva i stambene zajednice instalirane snage fotonaponskih modula od 10,8 kW do 50 kW

Da bi se stekao status kupca-proizvođača za objekte koji nisu domaćinstva i stambene zajednice instalirane snage fotonaponskih modula od 10,8 kW do 50 kW potrebno je da krajnji kupac [9]:

- podnese zahtev za separat o priključenju proizvodnog objekta krajnjeg kupca,
- izradi idejni projekat,
- podnese zahtev za izdavanje odobrenja za priključenje proizvodnog objekta,
- zaključi ugovor o pružanju usluge za priključenje,
- izgradi proizvodni objekat u skladu sa odobrenjem za priključenje,
- ispuni obaveze iz ugovora o pružanju usluge za priključenje,
- zaključi ugovor o potpunom snabdevanju električnom energijom sa neto merenjem ili neto obračunom,
- podnese zahtev za puštanje proizvodnog objekta u probni rad, koji prelazi u trajan rad po ispunjenju definisanih uslova.

Izgradnja proizvodnog objekta se vrši prema Pravilniku o posebnoj vrsti objekata i posebnoj vrsti radova za koje nije potrebno pribavljati akt nadležnog organa, kao i vrsti objekata koji se grade, odnosno vrsti radova koji se izvode, na osnovu rešenja o odobrenju za izvođenje radova, kao i obimu i sadržaju i kontroli tehničke dokumentacije koja se prilaže uz zahtev i postupku koji nadležni organ sprovodi [10]. Prema ovom pravilniku definisanim u članu 2, stav 4a, nije potrebno pribavljanje akta nadležnog organa za FN elektrane instalisane snage do 50 kW.

Prvi korak ove grupe krajnjih kupaca (slika 1.2) je podnošenje zahteva za izdavanje separata. Formular zahteva je veoma sličan formularu zahteva za izdavanje uslova za projektovanje i priključenje (UPP). Pored osnovnih podataka o podnosiocu zahteva i proizvodnom objektu, potrebno je popuniti

tabele o godišnjoj potrošnji objekta, procenjenoj proizvodnji elektrane i planiranom stanju električne energije na obračunskom mestu nakon izgradnje elektrane. Tehnički parametri koji se traže su odobrena snaga potrošnje, planirano povećanje odobrene snage, naznačena prividna snaga i maksimala aktivna snaga elektrane, broj invertora, granične vrednost faktora snage. Uz zahtev je potrebno priložiti i određenu dokumentaciju kojim se dokazuje identitet podnosioca zahteva i vlasništvo nad objektom. Sa tehničkog aspekta potrebno je izraditi idejno rešenje u skladu sa propisima ili opisati tehničke karakteristike proizvodnog objekta od značaja na međusobni uticaj elektrane i sistema.



Slika 1.2 FN elektrana na krovu proizvodnog objekta: 1-krov objekta, 2-fotonaponski paneli.

Nakon izdavanja Separata od strane nadležne distribucije potrebno je predati zahtev za izdavanje odobrenja za priključenje. Zajedno sa ovim zahtevom se predaje idejni projekat izrađen u skladu sa zakonom. Nakon izrade odobrenja za priključenje Elektrodistibucija Srbije krajnjem kupcu dostavlja ponudu za zaključenje Ugovora o pružanju usluge za priključenje na DSEE kojim se definišu međusobna prava i obaveze, rok i troškovi koji se odnose na izgradnju priključka.

Bitno je napomenuti da pre zaključenja ugovora mesto priključenja sa mernim mestom po Zakonu o energetici mora preći u vlasništvo Elektrodistibucije Srbije.

Nakon sprovođenja prethodnih procedura sledi izgradnja FN elektrane. Elektrana se mora izgraditi u skladu sa izdatim Separatom, odnosno Odobrenjem za priključenje, u suprotnom neće biti omogućeno priključenje FN elektrane na DSEE.

Kada su sve obaveze iz ugovora o pružanju usluge za priključenje ispunjene, zaključuje se ugovor o potpunom snabdevanju električnom energijom sa neto merenjem ili neto obračunom. Potom se podnosi zahtev za puštanje proizvodnog objekta u rad. Objekat se pušta u rad nakon tehničke kontrole od strane nadležne elektrodistibucije.

Stambene zajednice u statusu kupac-proizvođač za instalisane proizvodne snage fotonaponskih modula do 50 kW

Stambena zajednica zainteresovana za sticanje statusa kupca-proizvođača donosi odluku skupštine stambene zajednice, u skladu sa propisima kojima se uređuje stanovanje i održavanje zgrada. Na osnovu te odluke, članovi skupštine stambene zajednice zaključuju ugovor o međusobnim odnosima članova stambene zajednice, koji sadrži podatke o vlasnicima posebnih delova zgrade, koji grade zajednički proizvodni objekat i pripadajućim mernim mestima [9].

Izgradnja proizvodnog objekta se vrši prema Pravilniku o posebnoj vrsti objekata i posebnoj vrsti radova za koje nije potrebno pribavljati akt nadležnog organa, kao i vrsti objekata koji se grade, odnosno vrsti radova koji se izvode, na osnovu rešenja o odobrenju za izvođenje radova, kao i obimu i sadržaju i kontroli tehničke dokumentacije koja se prilaže uz zahtev i postupku koji nadležni organ sprovodi [10]. Prema ovom pravilniku definisanim u članu 2, stav 4a, nije potrebno pribavljanje akta nadležnog organa za FN elektrane instalisane snage do 50 kW.

Instalisana snaga FN elektrane se određuje na osnovu članova 5 i 13 „Uredbe o kriterijumima, uslovima i načinu obračuna potraživanja i obaveza između kupca-proizvođača i snabdevača“.

Član 5 ističe da je instalisana snaga proizvodnog objekta sa fotonaponskim panelima:

- instalisana snaga invertora, u kW pri $\cos \varphi = 1$, kada je nazivna snaga invertora manja ili jednaka zbiru instalisanih snaga fotonaponskih panela ili
- zbir instalisanih snaga fotonaponskih panela, kada je nazivna snaga invertora, veća od zbira instalisanih snaga fotonaponskih panela.

Slika 1.3 prikazuje primer izgrađene FN elektrane na zelenom krovu objekta za zajedničko stanovanje.



Slika 1.3 FN elektrana na krovu stambene zajednice: 1-objekat, 2-fotonaponski paneli

Član 13 gore spomenute Uredbe definiše instalisanu snagu FN elektrane koji zajednički grade članovi iste skupštine stambene zajednice na način da ne sme biti veća od jednovremene snage mernih mesta zajedničke potrošnje i potrošnje posebnih delova u vlasništvu članova skupštine stambene zajednice koji grade zajedničku elektranu, utvrđene na osnovu Pravila o radu distributivnog sistema električne energije, a prema kojima je dimenzionisan priključak.

Da bi stekli status kupca-proizvođača, prethodno je potrebno da stambena zajednica:

- podnose zahtev za izdavanje odobrenja za priključenje proizvodnog objekta,
- zaključi ugovor o pružanju usluge za priključenje,
- izgradi proizvodni objekat u skladu sa odobrenjem za priključenje,
- ispuni obaveze iz ugovora o pružanju usluge za priključenje i
- zaključi ugovor o potpunom snabdevanju električnom energijom sa neto merenjem.

Objekti u statusu kupac-proizvođač instalisane snage fotonaponskih modula iznad 50 kW

Do sada je bilo reči o fotonaponskim elektranama snaga do 50 kW i načina sticanja statusa kupca-proizvođača za objekat krajnjeg kupca. U svim slučajevima se sprovodila uprošćena procedura, obraćanje samo Elektrodistribuciji Srbije.

Kada objekat krajnjeg kupca ima veću odobrenu snagu priključka od 50 kW, moguće je izgraditi FN elektranu iste ili manje snage u statusu kupac-proizvođač. U ovom slučaju nema uprošćene procedure. Investitor se paralelno obraća Elektrodistribuciji Srbije i nadležnim organima za izdavanje građevinske dozvole u okviru Lokalne samouprave u skladu sa Zakon o planiranju i izgradnji [11].

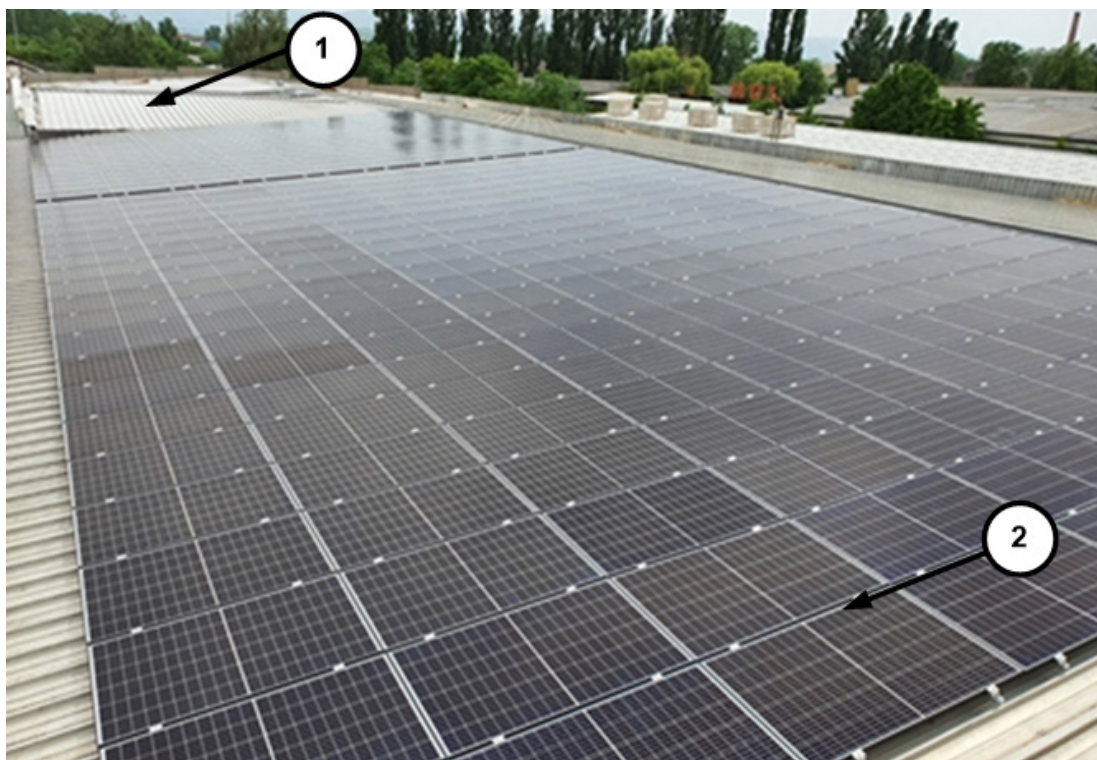
Izgradnja proizvodnog objekta snage iznad 50 kW se vrši prema Pravilniku o posebnoj vrsti objekata i posebnoj vrsti radova za koje nije potrebno pribavljati akt nadležnog organa, kao i vrsti objekata koji se grade, odnosno vrsti radova koji se izvode, na osnovu rešenja o odobrenju za izvođenje radova, kao i obimu i sadržaju i kontroli tehničke dokumentacije koja se prilaže uz zahtev i postupku koji nadležni

organ sprovodi [10]. Prema ovom pravilniku definisanim u članu 3, stav 34, za FN elektrane čija je snaga iznad 50 kW a za potrebe krajnjeg kupca koji stiče status kupca-proizvođača organ nadležan za izdavanje građevinske dozvole izdaje Rešenje o odobrenju za izvođenje radova. Ovo znači da treba izraditi idejno rešenje (IDR) radi ishodovanja lokacijskih uslova. Nakon izdavanja lokacijskih uslova izrađuje se Idejni projekta (IDP) i zajedno sa elaboratom zaštite od požara (EZO_P) predaje se putem centralne objedinjene procedure (CEOP) radi ishodovanja rešenja o odobrenju za izvođenje radova.

Priča se tu ne završava. Potrebno je izraditi projekat za izvođenje (PZI) i zajedno sa glavnim projektom zaštite od požara (GPZO_P) predati Ministarstvu unutrašnjih poslova Republike Srbije, sektoru za vanredne situacije, radi dobijanja saglasnosti za tehničku dokumentaciju koja se odnosi na zaštitu od požara. Potom se pristupa izvođenju radova. Formirana komisija za tehnički prijem elektrane sačinjava izveštaj koji se putem CEOP upućuje nadležnoj instituciji radi dobijanja upotrebne dozvole.

Sa druge strane, potrebno je podneti zahtev za UPP nadležnoj elektrodistribuciji. Nakon izrade UPP od strane distribucije, podnosi se zahtev za odobrenje priključenja, pa zahtev za priključenje. Pre priključenja sledi tehnički prijem FN elektrane od strane elektrodistribucije uz prethodno ispunjenje svih obaveza i uslova od strane krajnjeg kupca, koji su ranije definisani kroz izdata dokumenta. Nakon regulisanja balansne odgovornosti i zaključenja ugovora o eksploataciji FN elektrane vrši se priključenje elektrane na DSEE.

Bitno je napomenuti da se elektrane snage do 160 kVA priključuju na niski naponski nivo od 0,4 kV. Sve elektrane većih snaga se po dokumentu „Pravila o radu distributivnog sistema“ [12] priključuju na srednjenaponski nivo (10 kV, 20 kV ili 35 kV). Priključenje elektrana na srednjenaponskom nivou je moguće jedino uz izgradnju srednjenaponskog postrojenja i daljinskog nadzora, što značajno povećava troškove izgradnje.



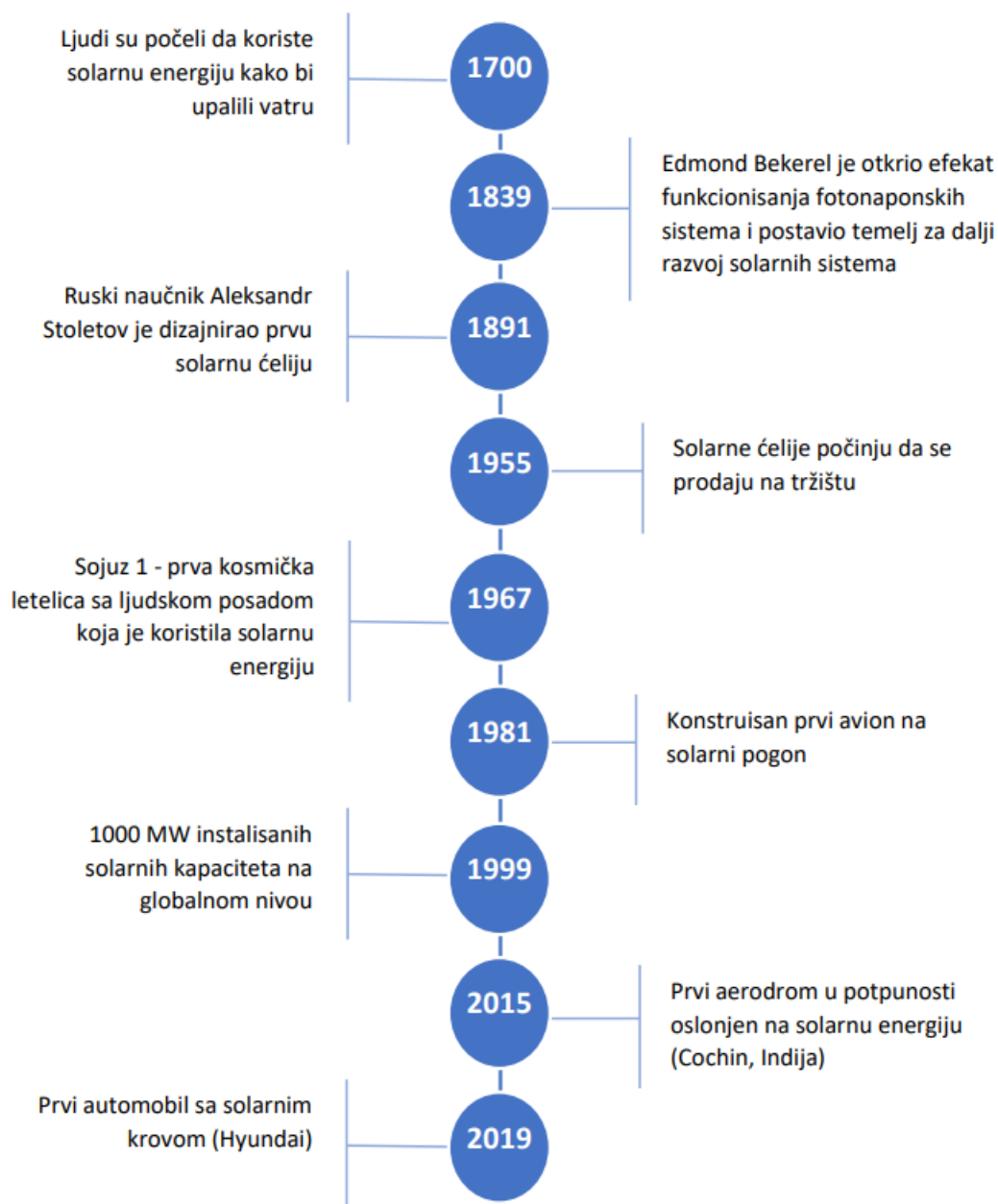
Slika 1.4 FN elektrana na krovu fabrike: 1-krov fabrike, 2-fotonaponski paneli.



3. RAZVOJ POSLOVNE PRAKSE



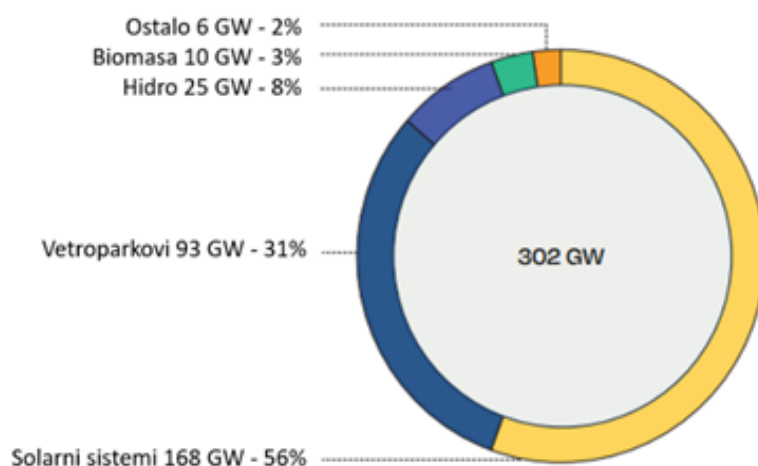
Poslovna praksa u oblasti obnovljivih izvora energije i u Srbiji, ali i u regionu i na globalnom nivou u velikoj meri je definisana i opredmećena trenutnim kretanjima na tržištu opreme, odnosno pre svega solarnih panela, invertera i solarne konstrukcije, ali i I značajno poremećenim lancima snabdevanja. Najintenzivniji uticaj ovakvih kretanja se ogleda u delimičnom usporavanju razvoja I izgradnje novih solarnih kapaciteta, budući da su rokovi isporuke opreme produženi. Dodatni izazov predstavlja poremećaj na tržištu elektronskih komponenti koji dovodi nadalje do predimenzioniranja tražnje u odnosu na ponudu. Sa druge strane prepoznatost aktuelne globalne agende, odnosno težnje za povećanjem udela obnovljivih izvora energije u ukupnom energetsom miksu I portfoliju, dovela je do intenzivnih ulaganja u razvoj tehnologija proizvodnje solarnih komponenti. Posledica ovakvih praksi je povećanje efikasnosti solarne opreme, duži vek trajanja i smanjivanje cene po kW instalisane snage.



Pored navedenih izazova koje su prisutni u bezmalo svim sferama današnjeg poslovanja, solarna industrija je beležio veoma dobre rezultate, a instalisani kapaciteti su se značajno povećavali iz godine u godinu. 2021. Godine ukupno je na mrežu priključeno 167,8 GW novih solarnih kapaciteta na svetskom nivou, što je zapravo rast od 21% u odnosu na postignuti rast prethodne, 2020. godine (+139,2 GW). To je dovelo do ukupne cifre globalno instalisanih solarnih kapaciteta od oko 940 GW na kraju 2021.

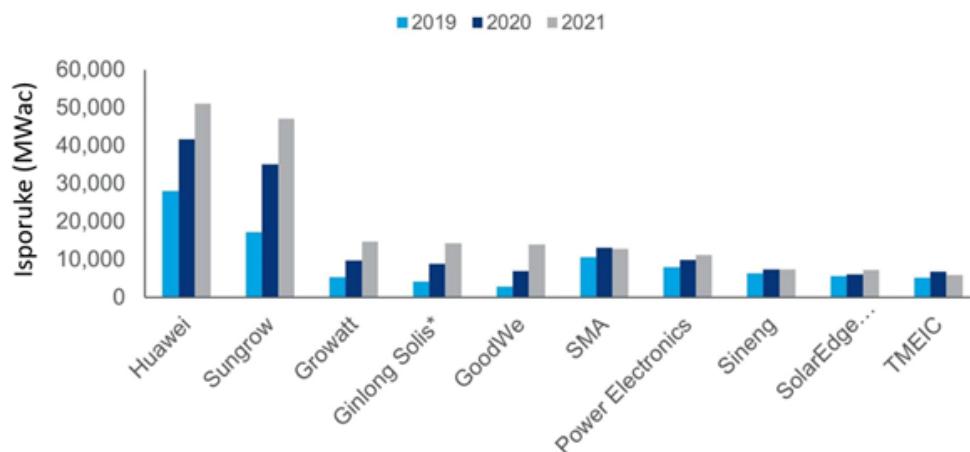
Godine. Pokazatelj da od ukupno novoinstaliranih 300 GW kapaciteta obnovljivih izvora energije, čak 56% otpada na solarne sisteme, što dodatno stavlja akcenat na ovu energetska granu. Nosioci ovako značajnog rasta su pre svega Kina, SAD I Indija sa ukupno bezmalo 100 GW novih solarnih kapaciteta u 2021. godini. I pored poteškoća u snabdevanju, ograničene raspoloživosti I većih cena komponenti očekuje se da se 2022. godina završi novim rekordom u novoizgrađenim kapacitetima. Ukoliko se, sa druge strane, sagleda ukupno instalirani kapacitet solarnih sistema po glavi stanovnika slika je značajno drugačija u poređenju sa prethodnim prikazom. Na vrhu se nalazi Australija sa instaliranih 1.049 W po stanovniku. Slede je Holandija sa 825 W, zatim Nemačka sa 714 W, pa Japan sa 616 W, Belgija sa 599 W I tako dalje.

Obnovljivi izvori energije - novi kapaciteti u 2021. godini



Oprema koja je danas dostupna na tržištu I koja se u najvećoj meri ugrađuje u solarne elektrane dolazi iz azijskih zemalja, mada se ta slika polako menja, s obzirom na već pomenute lance snabdevanja. Naime, u poslednjih nekoliko godina svedoci smo sve češćeg pojavljivanja evropskih proizvođača koji kvalitetom uspevaju da budu konkurentni i da postižu veoma dobre rezultate.

Rast u isporukama opreme/invertera 2019-2021



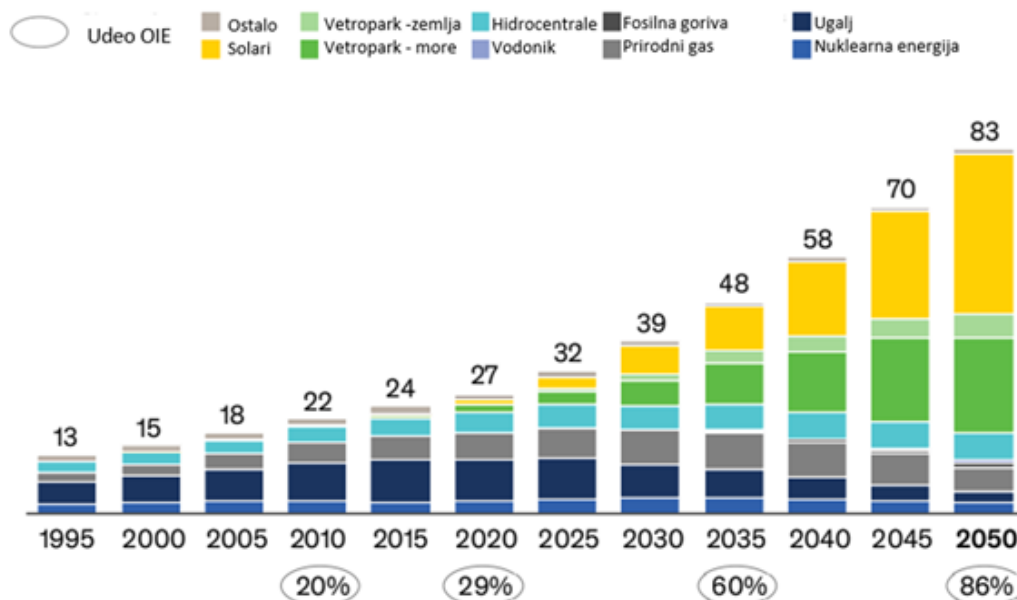
S obzirom na ekonomiju obima i instalisane proizvodne kapacitete u Aziji, a pre svega u Kini, Evropski proizvođači još uvek nisu u mogućnosti da cenom u potpunosti pariraju opremi koja dolazi sa istoka, mada je očekivano da se i u tom segmentu dostigne ravnoteža. Svakako Azija ostaje najdominantniji proizvođač komponenti, koje u svom proizvodnom procesu koriste i evropski proizvođači solarnih panela.

Najznačajniji proizvođači solarnih panela na globalnom nivou kada se ukupna isporuka modula 2021. godine uzme u obzir su Longi Solar, Trina Solar, JA Solar, Jinko Solar, Canadian Solar, Risen Energy, First Solar, Suntech Power. Svaka od prve četiri kompanije sa navedenog spiska je premašila cifru od 20GW isporučenih panela 2021. godine.

Kada se uzme u obzir sve prikazano u prethodnih nekoliko strana, stiče se utisak i dobija se predstava o naporima i težnji da se ukupan energetske miks u što kraćem vremenskom periodu značajno promeni u korist "čistih" tehnologija, koje intenzivno utiču na smanjenje emisije CO₂ i globalno zagrevanje.

Pre samo tri godine, od ukupno na svetskom nivou proizvedenih 26.900 TWh električne energije, oko jedne četvrtine bilo je iz obnovljivih izvora. Od tih 25%, oko 10% je otpadalo na energiju solara i vetroparkove. Potpuna dominacija u tom trenutku je pripadala fosilnim gorivima.

Ukupna svetska proizvodnja električne energije (TWh)



Do kraja ove decenije, tj. do 2030. godine planirano je da udeo električne energije iz solarnih i vetro elektrana poraste na 42%, odnosno četiri puta. To znači da će na globalnom nivou ukupan instalisani kapacitet solarnih elektrana premašiti 5.200 GW do 2030. godine. Do 2050. godine iz obnovljivih izvora energije bi trebalo da se proizvodi gotovo 90% ukupnih globalnih potreba za energijom, uz skoro potpuno isključivanje fosilnih goriva.

Energetska tranzicija kojoj svedočimo i koja će se sve intenzivnije dešavati svakako neće zaobići ni Srbiju. Srbija ima značajan potencijal za razvoj solarnih kapaciteta, sa jedne strane zahvaljujući veoma dobroj geografskoj poziciji i velikom broju sunčanih sati godišnje (1500-2200), a sa druge strane uzimajući u obzir ukupno raspoložive površine i kapacitete krovova. Nadalje usvajanjem seta zakona i pravnih akata u protekle dve godine, predvođenih Zakonom o obnovljivim izvorima energije iz aprila 2021. godine stekli su se značajni uslovi za rast instalisanih kapaciteta pre svega u oblasti solara. Cene električne energije koje su intenzivnije rasle u Evropskoj Uniji, zabeležile su pozitivan trend i u Srbiji.

Dalja povećanja cena su najavljena u narednom periodu i takva kretanja, iako nepovoljna za potrošače, pozitivno utiču na stvaranje novih mogućnosti i solarne elektrane čine veoma isplativom investicijom.

Projekti izgradnje solarnih elektrana u Srbiji, pre svega u komercijalnom sektoru, odnosno u industriji, uglavnom podrazumevaju zaokruživanje svih aktivnosti od ishodovanja svih neophodnih dozvola, preko izgradnje solarne elektrane, puštanja iste u rad, do servisiranja u garantnom i vangarantnom roku.



4. OPŠTE INFORMACIJE O FOTONAPONSKIM SISTEMIMA



Fotonaponski sistemi-uvod

Svaki fotonaponski (FN) sistem koji pretvara sunčevu energiju u električnu se sastoji iz tri osnovne komponente; FN panel, energetski pretvarač jednosmernog napona u naizmeničan, takozvani inverter i konstrukcije za fiksiranje FN panela, drugim rečima noseća konstrukcija FN panela. Pored ove tri osnovne komponente svaki FN sistem čine sklopna i zaštitna oprema, kablovi za povezivanje FN panela (DC kablovi) i kablovi za povezivanje naizmenične strane FN sistema (AC kablovi). Pored navedene opreme, a u zavisnosti od vrste FN sistema, moguća je instalacija i druge opreme. O ovoj opremi će biti reči kasnije, kada se budu opisivali pojedine vrste FN sistema.

Fotonaponski paneli

Povećanje snage

Jedna standardna fotonaponska ćelija razvija malu električnu snagu, reda nekoliko vati, u opsegu 5 W do 10 W. Sistemi koji koriste sunčevu energiju za dobijanje električne energije, znatno su većih snaga. Radi povećanja snage, FN ćelije se u električnom smislu povezuju međusobno, mehanički se ojačavaju i na taj način se formira fotonaponski panel, prikazan na slici 1.1 u sredini.



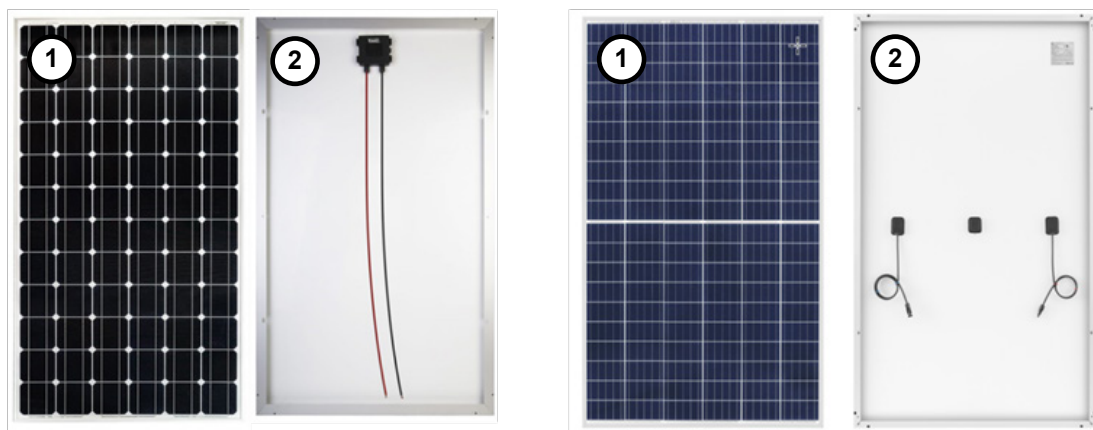
Slika 1.1 – 1-FN ćelija, 2-izgled FN panela, 3-simbol FN panela

Donedavno u FN panelima standardne FN ćelije (prikazana levo na slici 1.1) su se isključivo vezivale na red. Odsdora, standard postaje povezivanje FN ćelija kombinovano, redno-paralelno. Pri ovome međusobno se povezuju takozvane polućelije, standardne ćelije presečene na pola (engleski; half-cut cell). Trenutno su najisplativiji za ugradnju FN paneli u opsegu snaga od 450 Wp do 550 Wp, sa tendencijom povećanja snage svake godine. Već danas se proizvode FN paneli snage iznad 600 Wp [6].

Uglavnom snaga jednog FN panela ne zadovoljava potrebe potrošača. Iz tog razloga se formiraju FN nizovi (engleski; PV string). Oni se dobijaju rednom vezom FN panela. Redna veza čini različit broj FN panela, koja prvenstveno zavisi od tipa pretvarača i invertora. Pošto se snage invertora stalno povećavaju formiranje redne veze nije dovoljno, pa se FN nizovi međusobno spajaju paralelno. Na taj način se dolazi do redno-paralelne veze FN panela, odnosno formiranja FN polja (engleski; PV array).

Konstrukcija FN panela

FN panel sačinjen od silicijumskih monokristalnih ili polikristalnih fotonaponskih ćelija se sastoji iz podloge, zaštitnog sloja napravljenog od Etil Vinil Acetata (EVA folija), FN ćelije smeštene između EVA folije, providnog gornjeg sloja, metalnog rama i priključne kutije. Iz priključne kutije se izводе dva kabla, standardnog prečnika 4 mm², na čijim krajevima se nalaze konektori za međusobno spajanje FN panela, slika 1.2. Materijali od kojih se izrađuju FN paneli treba da su otporni na UV zrake i vremenske prilike tokom dugi niz godina (25–30 godina). Treba da obezbede nepropusnost na padavine i vlagu, da imaju veliku mehaničku otpornost, električnu izolaciju.



Slika 1.2 Izgled prednje i zadnje strane FN panela sa standardnim ćelijama (levo) i polućelijama (desno): 1-prednja strana, 2-zadnja strana

Podloga je najčešće tanka polimerna ploča izrađena od tedlara (polivinil fluorid – PVF). Zaštitni sloj omogućava spoj FN ćelija sa donjom podlogom i gornjim slojem. Najčešće korišćen materijal je EVA folija. Karakteristike ovog materijala su mekoća, velika moć apsorpcije udara i potresa, veliki stepen prozirnosti i UV otpornost. EVA je stabilan na velike temperaturne promene i ima malu termičku otpornost. Gornji sloj treba da je proziran, sa što manje refleksije i treba da omogući prolaz talasnih dužina na koje su FN ćelje najosetljivije. Za silicijumske FN panele to su talasne dužine između 350 nm i 1200 nm. Pored dobrih optičkih karakteristika materijal za gornji sloj treba da je mehanički otporan i čvrst, UV stabilan u dužem vremenskom intervalu, stabilan na širok opseg temperaturnih promena i nepropustljiv za vodu i paru. Postoji nekoliko materijala koji se koriste za izradu gornjeg sloja FN panela kao što su akrilni materijali, polimeri i kaljeno staklo. Okvir FN panela čini metalni ram, napravljen tipično od eloksiranog aluminijuma. Priključna kutija treba da zaštiti metalne kontakte za priključenje kabla, od vlage i pare, da ne bi došlo do korozije i degradacije električnih performansi FN panela. Ako bajpas diode nisu integrisane u FN panel, postavljaju se u priključnu kutiju [6].

Električne karakteristike FN panela

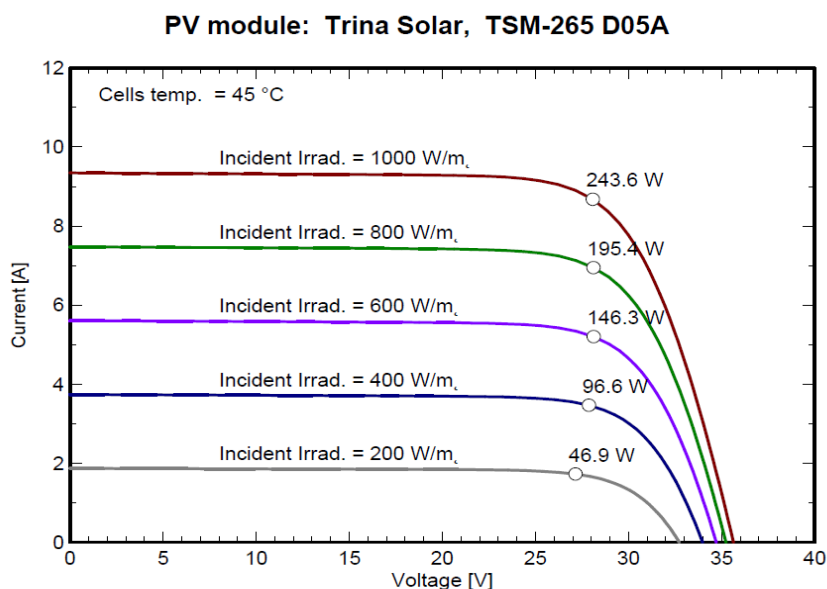
Napon i struja, pa samim tim i snaga FN panela su temperaturno zavisne. Sa povećanjem temperature povećava se struja, smanjuje se napon i snaga FN panela. Temperaturni koeficijenti napona (β), struje (α) i snage (γ) FN panela definišu uticaj temperature na navedene električne parametre FN panela. Solarno zračenje ima presudan uticaj na struju, odnosno snagu FN panela. Možemo smatrati da se snaga FN panela linearno menja u funkciji promene solarnog zračenja. Temperatura i solarno zračenje se u prirodi stalno menjaju, temperatura nešto sporije, a zračenje ponekad veoma brzo (promenljivo oblačno vreme), čime se i snaga FN panela menja sporije ili brzo. Da bi se odredila nominalna snaga FN panela, odnosno ostale električne karakteristike potrebno je definisati ambijentalne uslove rada. Nominalna izlazna snaga FN panela se određuje u laboratorijskim uslovima. Ti uslovi su standardizovani i odnose se na zračenje, temperaturu i uslove spektralnog zračenja (dužina putanje sunčevih zraka kroz zemljinu atmosferu).

Pored nominalne izlazne snage, koja predstavlja istovremeno i maksimalnu izlaznu snagu FN panela za date uslove, mere se i drugi najznačajniji parametri, kao što su struja kratkog spoja, napon praznog hoda, struja i napon pri maksimalnoj snazi i efikasnost. Sve ove veličine se utvrđuju pri takozvanim standardnim uslovima testiranja (engleski: Standard Test Condition, STC) i pri nominalnoj radnoj temperaturi ćelije (engleski: Nominal Operating Cell Temperature, NOCT). Veličine koje su definisane STC i NOCT uslovima su prikazane u tabeli 1.1. Kasnije u ovom poglavlju biće još reči o standardima koji definišu načine ispitivanja FN panela.

Tabela 1.1 Uslovi testiranja FN panela u laboratoriji

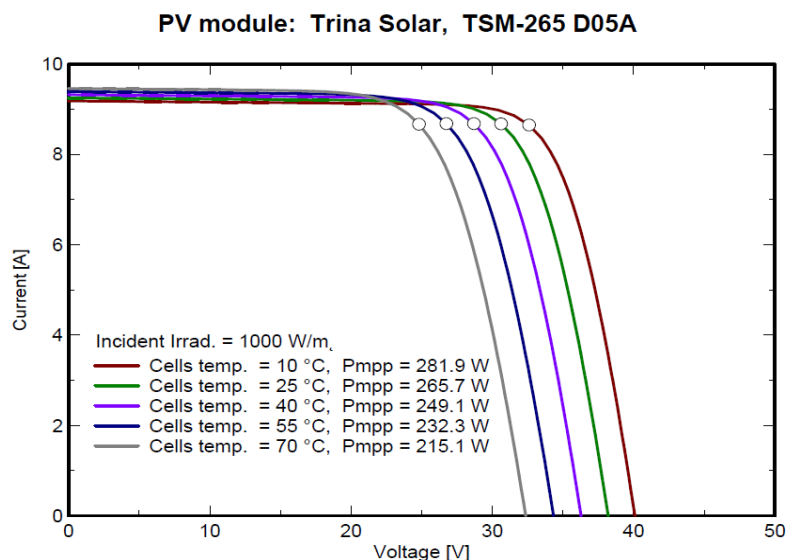
Ambijentalne veličine	STC	NOCT
Zračenje	1000 W/m ²	800 W/m ²
Temperatura vazduha	-	20 °C
Temperatura ćelije	25 °C	-
Optička masa vazduha (AM)	1,5	1,5
Brzina vetra	-	1 m/s

Slika 2.3 prikazuje strujno–naponsku karakteristiku (I–U kk) FN panela pri konstantnoj temperaturi FN panela od 45 °C (NOCT temperatura), za različite nivoe solarnog zračenja (200, 400, 600, 800, 1000 W/m²). Na graficima su obeležene tačke maksimalne snage (TMS) FN panela za date ambijentalne uslove, kao i njihove vrednosti[6].



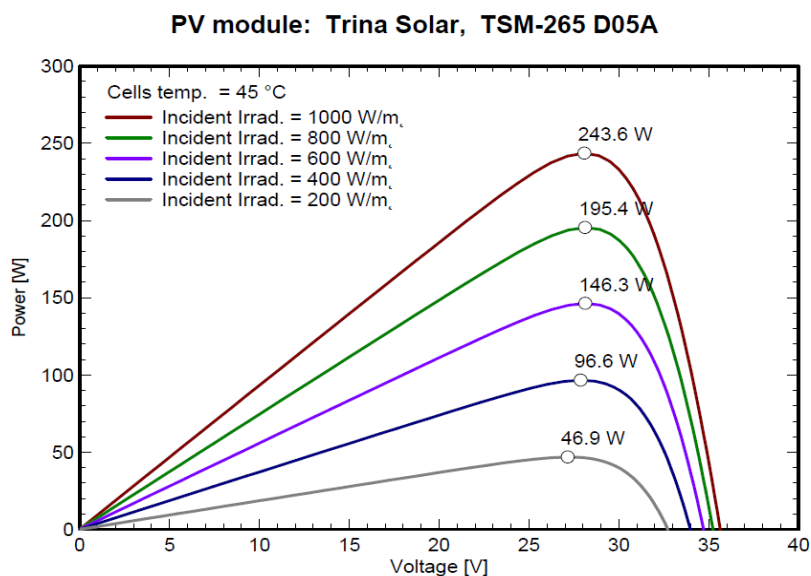
Slika 1.3 I–U kk FN panela u funkciji promene solarnog zračenja dobijena pomoću softvera PVsyst

Slika 1.4 prikazuje I–U kk FN panela pri konstantnom solarnom zračenju od 1000 W/m² (STC zračenje), za različite temperature FN panela (10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C, 70 °C).



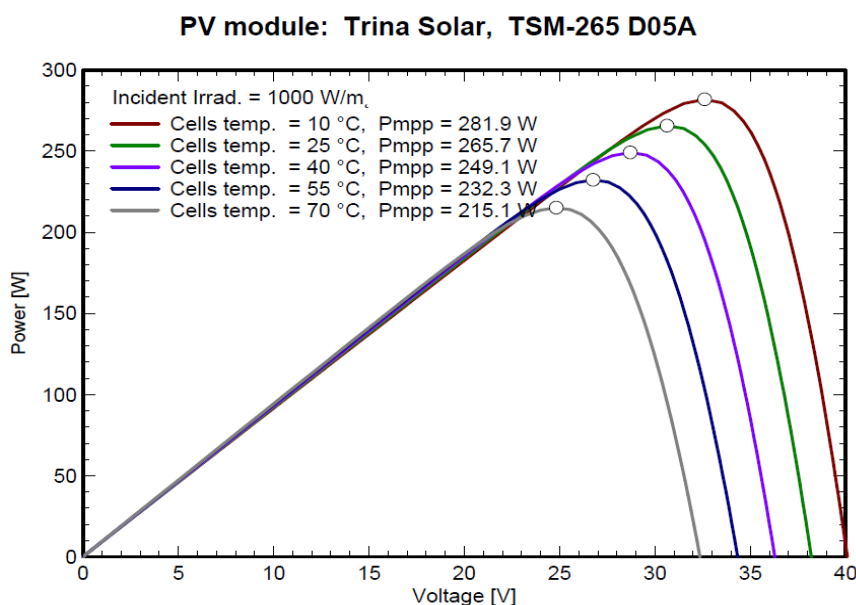
Slika 1.4 I–U kk FN panela u funkciji promene temperature dobijena pomoću softvera PVsyst

Slika 1.5 prikazuje karakteristiku snaga-napon (P-U kk) FN panela pri temperaturi od 45 °C (NOCT temperatura), za različite nivoe solarnog zračenja (200 W/m², 400 W/m², 600 W/m², 800 W/m², 1000 W/m²) [6].



Slika 1.5 P-U kk FN panela u funkciji promenljivog solarnog zračenja dobijena pomoću softvera PVsyst

Slika 1.6 prikazuje P-U kk FN panela pri konstantnom solarnom zračenju od 1000 W/m² (STC zračenje), za različite temperature FN ćelije panela (10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C, 70 °C) [6].



Slika 1.6 P-U karakteristika FN panela u funkciji temperature dobijena pomoću softvera PVsyst

Tabela 1.2 prikazuje električne parametre trenutno dostupnih FN panela na tržištu.

Tabela 1.2 Vrednosti parametara nekih FN panela

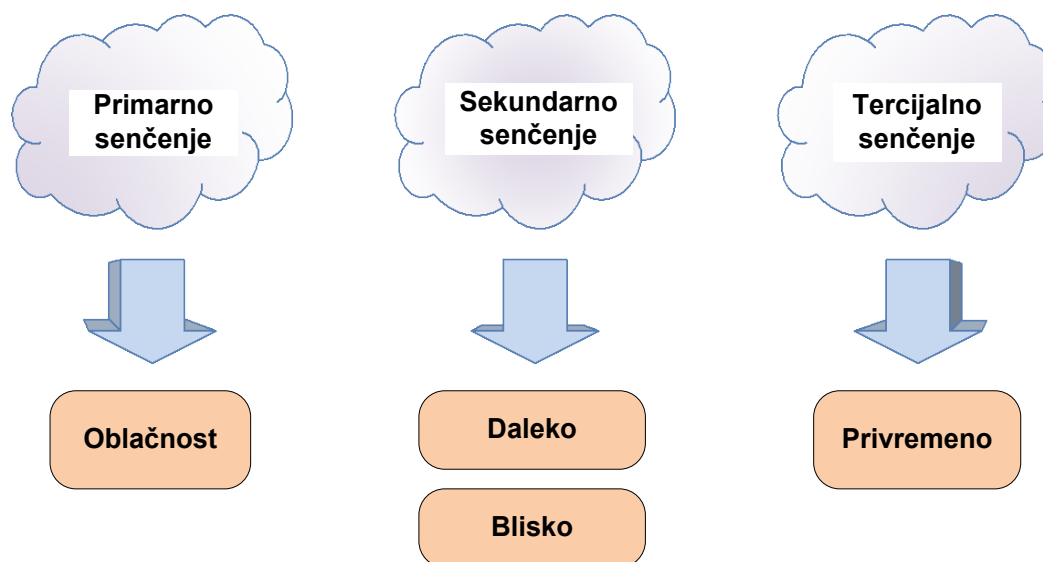
Kataloške vrednosti električnih parametara pri STC uslovima						
Nominalna snaga	P_{STC}	[Wp]	380	445	460	670
Napon pri nom. snazi	U_{TMS}	[V]	34,5	43,72	35,0	38,3
Struja pri nom. snazi	I_{TMS}	[A]	11,02	10,18	13,08	17,50
Napon praznog hoda	U_{ph}	[V]	41,2	52,04	41,8	46,0
Struja kratkog spoja	I_{ks}	[A]	11,68	10,84	13,78	18,51
Stepen korisnog dejstva	η	[%]	20,5	20,5	21,24	21,57
Temp. koef. napona	β_{ph}	[%/°C]	- 0,27	- 0,28	- 0,28	- 0,27
Temp. koef. struje	α_{ks}	[%/°C]	+ 0,05	+ 0,048	+ 0,05	+ 0,05
Temp. koef. snage	γ	[%/°C]	- 0,35	- 0,35	- 0,36	- 0,27

Uticaj senčenja na FN panel

Svaka prepreka koja se nađe na putanji sunčevih zraka ka FN panelima uzrok je senčenja. Zbog kretanja prepreke (oblaci) ili fiksne prepreke a usled pomeranja sunca ili pojave oba događaja istovremeno, dolazi do senčenja što uzrokuje promenu izlazne snage FN panela. Pošto se sa promenom zračenja takođe menja izlazna snaga FN panela, može se smatrati da je pojava senčenja na FN panelima isto što i promena zračenja.

Senčenje po načinu pojavljivanja, kao negativna pojava za FN panele, može se podeliti na tri osnovne grupe; primarno, sekundarno i tercijalno senčenje. Slika 1.7 prikazuje podelu senčenja na tri osnovne grupe [7].

Primarno senčenje obuhvata prvenstveno oblačnost, mada se tu može svrstati i svaka pojava u atmosferi, koja doprinosi smanjenju sunčevog zračenja.



Slika 1.7 – Podela senčenja

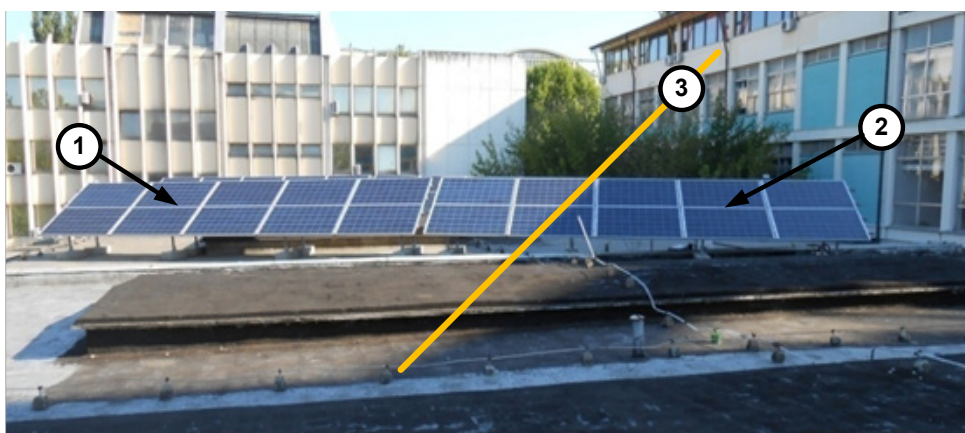
Sekundarno senčenje ima najveći uticaj na proizvodnju električne energije FN elektrane, ako se pojavljuje. Koliki će biti uticaj sekundarnog senčenja zavisi od lokacije gde je FN elektrana izgrađena, odnosno od okolnih prepreka, bližih i daljih. Sekundarno senčenje obuhvata takozvano daleko i blisko senčenje:

- Daleko senčenje uzima u obzir uticaj izgleda horizonta, kao što su brda i planine.
- Blisko senčenje je delimično senčenje FN panela od strane prepreka koji se nalaze u bližem okruženju elektrane.

Tercijalno senčenje se javlja povremeno, pri čemu je uzrok senčenja prepreka koja se nalazi neposredno na površini FN panela. Privremeno senčenje se može svesti na minimum redovnim čišćenjem površine FN panela. Pošto se ova prepreka fizički može ukloniti sa površine FN panela, naziva se privremeno senčenje. U privremeno senčenje spadaju:

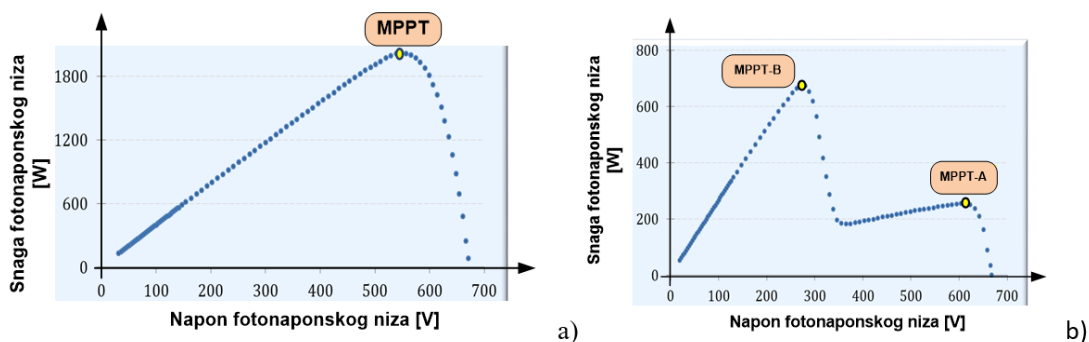
- sneg ili inje,
- jutarnja rosa,
- prašina,
- ptičji izmet,
- opalo lišće i slično.

Navedeno je da blisko senčenje, ako postoji, ima najveći uticaj na promenu snage FN panela, pa samim tim i na proizvodnju FN sistema. Maksimalne vrednosti gubitaka bliskog senčenja ne bi trebale preći vrednost od 5 %. U nekim situacijama investitor želi izgradnju elektrane bez obzira na gubitke, pa ova vrednost može biti znatno veća. Donekle se ovi gubici mogu kompenzovati ispravnim projektovanjem sistema. Jedan od primera je na slici 1.8.



Slika 1.8 Česta situacija u urbanim sredinama – senka na FN panelima: 1- deo niza fotonaponskih panela koji je direktno osvetljen, 2- deo niza fotonaponskih panela koji je u senci, 3- linija razgraničenja senka-direktna osvetljenost.

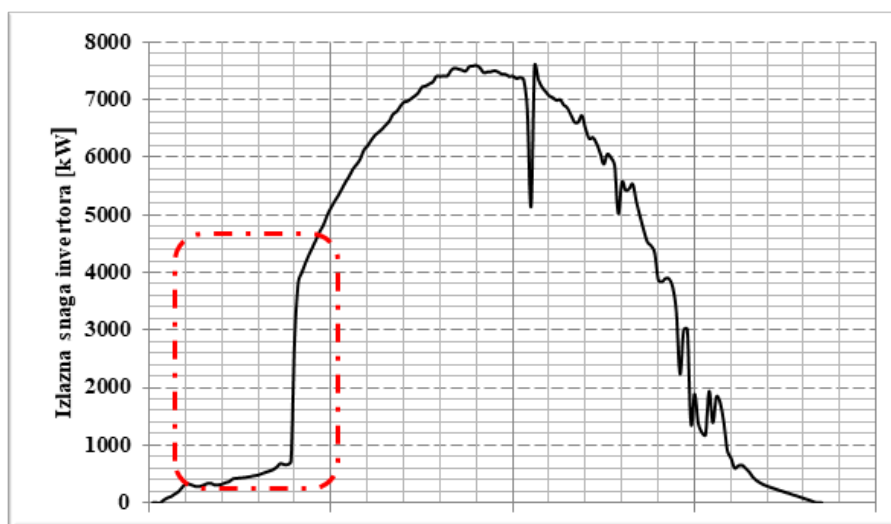
Slika 1.9 prikazuje karakteristiku FN niza snaga u funkciji napona. Na levoj strani slike je karakteristika FN niza bez senčenja. Desna strana slike prikazuje karakteristiku sa senčenjem. Radi što veće efikasnosti celog FN sistema, postoji potreba da se u svakom trenutku koristi maksimalna snaga FN niza, polja. Za ovo je u invertoru zadužen DC/DC pretvarač sa algoritmom za nalaženje tačke maksimalne snage (engleski: Maximum Power Point Tracking, MPPT). Kod FN panela koji nije u senci, postoji samo jedna tačka maksimalne snage, koja je na slici 1.9 levo označena sa TMS. Kao što je rečeno, karakteristika FN panela zavisi od trenutne temperature i solarnog zračenja. Zbog toga se TMS FN panela stalno menja. U situaciji bez senke, nalaženje TMS od strane invertora, bez obzira na stalne promene, ne predstavlja problem.



Slika 1.9 – P-U karakteristika FN niza: a) bez senke, b) sa senkom, izdvajaju se dve radne tačke maksimalne snage A i B.

Kada se FN panel nađe u senci najčešće se pojavljuju dva izražena maksimuma snage. Ova situacija je prikazana na slici 1.9 desno. Zbog pojave dva različita nivoa zračenja na FN nizu (jedan deo je u senci, drugi je na suncu, videti sliku 1.8), P-U karakteristika ima dva maksimuma. Invertor ima problem nalaženja većeg maksimuma od dva postojeća [7].

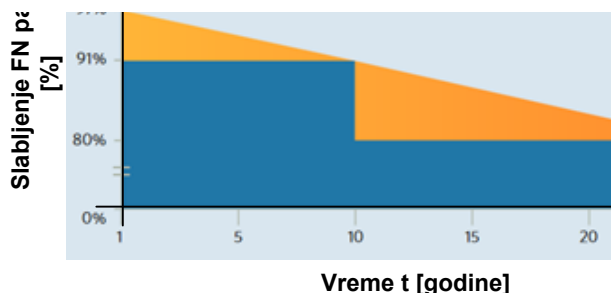
Direktan uticaj senčenja na izlaznu snagu invertora, a samim tim i na proizvodnju električne energije, prikazan je na slici 1.10. Na slici se vidi promena izlazne snage invertora tokom jednog dana, sa relativno malo oblačnosti. Uokvireni deo sa isprekidanom linijom je prikaz delovanja senke na FN panele. Vidi se da izlazna snaga invertora od trenutka uključenja stalno raste, ali je mala. U jednom trenutku snaga naglo raste i dostiže vrednost od oko 4000 W. To je trenutak izlaska celog FN niza iz senke [7].



Slika 1.10 – Uticaj senčenja na izlaznu snagu FN elektrane

Starenje FN panela

Životni vek FN sistema se procenjuje na 25 do 30 godina, što se podudara sa procenom životnog veka FN panela. Pošto su FN paneli dugi niz godina izloženi najekstremnijim ambijentalnim uslovima, dolazi do njihovog starenja, u najgorem slučaju otkaza. Starenje degradira materijal od kojeg su FN paneli sačinjeni, ali i FN ćelije. Samim tim menjaju se električni parametri FN panela. Najbitniji parametar od kojeg direktno zavisi proizvodnja FN sistema, nominalna snaga FN panela, se smanjuje.



Slika 1.11. Grafik slabljenja iz kataloga proizvođača FN panela

tako da na kraju 25. godine snaga FN panela ne sme biti manja od 80% nominalne snage FN panela. Na taj način garantovano slabljenje nije veće od 0,7 % na godišnjem nivou. Godišnje slabljenje FN panela sačinjenih od polućelija je manje u odnosu na FN panele sa standardnim ćelijama i iznosi oko 0,5 %.

Po industrijskom standardu, slika 1.11, slabljenje FN panela ne bi smelo biti veće od 0,8 % na godišnjem nivou. U prvoj godini slabljenje snage FN panela može biti maksimalno 9 % i ne sme se menjati do desete godine korišćenja. Posle deset godina eksploatacije snaga može trenutno opasti na 80 % nominalne snage, koja mora da se garantuje do kraja životnog veka FN panela, koji iznosi 25 godina. Nasuprot industrijskom standardu, proizvođači FN panela, koji su izrađeni od klasičnih ćelija, garantuju linearan pad snage (slika 1.11),

Efekti starenja koji se mogu javiti na FN panelu su:

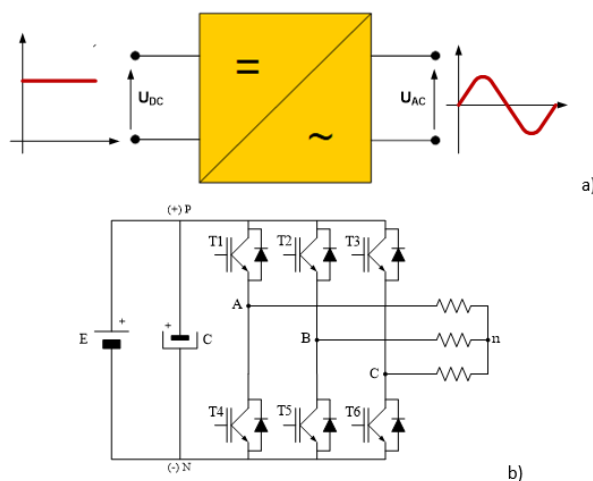
- promena boje EVA folije,
- delaminacija,
- oksidacija,
- kratki spojevi,
- prodiranje vlage,
- vruće tačke,
- mikro i makro pukotine,
- mehuri,
- korozija.

Degradacija izazvana potencijalnom razlikom (engleski: Potential induced degradation, PID) je fenomen koji degradira karakteristike nekih FN panela izrađenih od kristalnog silicijuma. Nakon samo nekoliko godina rada FN panela, snaga može da opadne i do 30 %. Posle uočenog problema koji izaziva PID (prvi put je pojava opisana 2010. godine), proizvođači više pažnje obraćaju na tehnologiju izrade radi eliminisanja PID. Danas postoje specijalne izvedbe FN panela koji su 100% otporni na pojavu degradacije usled PID.

Invertori fotonaponskih sistema

Podela invertora

Invertor u opštem smislu je vrsta pretvarača energetske elektronike, koji jednosmerni napon na svom ulazu pretvara u naizmeničan napon na izlaznim krajevima. Simbol invertora koji se upotrebljava u električnim blok šemama se vidi na slici 1.12.



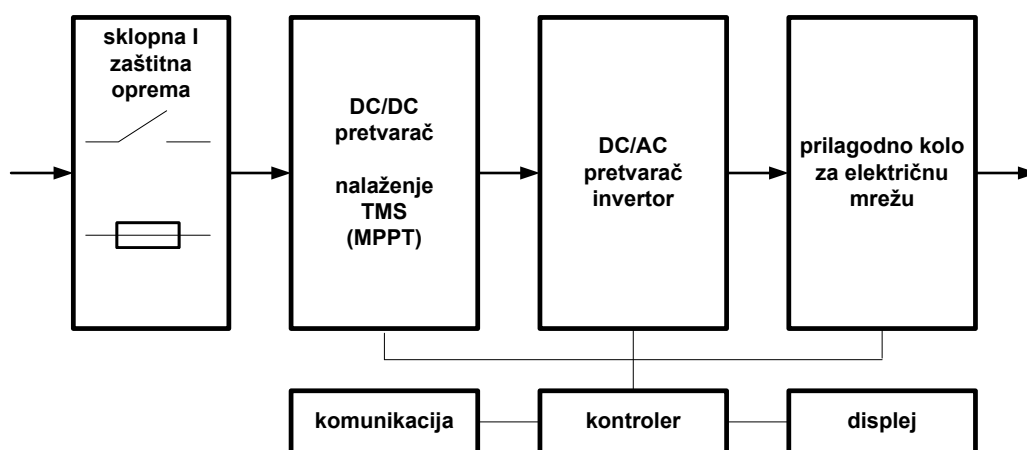
Slika 1.12 Invertor; a) opšti simbol u električnim šemama, b) principiska konfiguracija jednog trofaznog invertora

Invertori koji se koriste u FN sistemima pored samog invertorskog pretvarača sadrže i druge elektronske celine.

Konstrukcija invertora u FN sistemima je određena vrstom FN sistema. Kod samostalnih FN sistem najčešća uloga im je pretvaranje jednosmernog napona akumulatora u naizmeničan napon za napajanje potrošača. Kod FN sistema spojenih na distributivni sistem električne energije (DSEE), invertor ne vrši samo jednostavno pretvaranje jednosmernog napona FN panela u naizmeničan napon. Konfiguracija samog invertora je prilagođena specifičnostima upotrebe. Pored pretvaranja napona, zadatak im je maksimalno iskorišćenje trenutne snage FN polja kao i spajanje sa DSEE i predaja električne energije u DSEE. Saglasno temi kursa, nadalje će biti opisani samo invertori koji se koriste za paralelan rad sa DSEE.

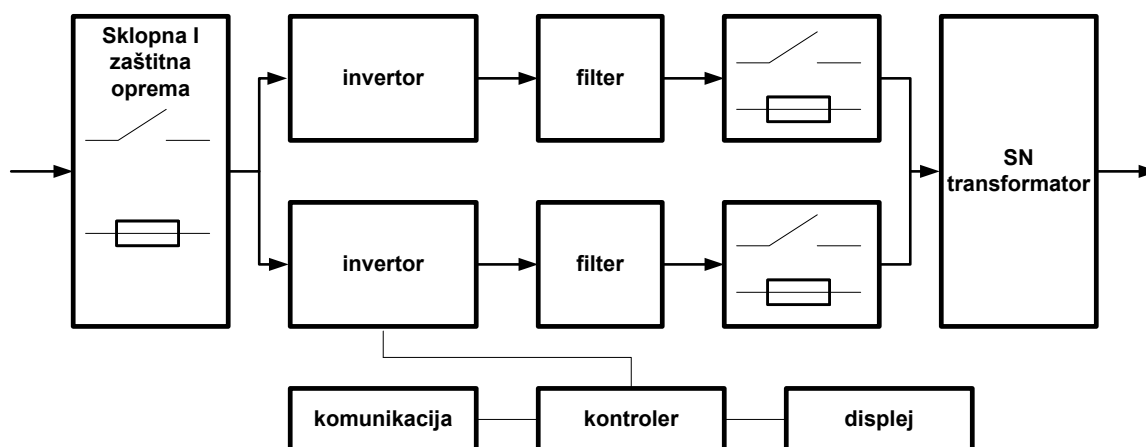
U zavisnosti od snage elektrane i topologije FN sistema, koriste se različiti tipovi fotonaponskih invertora. Danas razlikujemo dve osnovne grupe invertora; string invertore i centralne invertore. U novije vreme se pojavljuju string invertori hibridne koncepcije, u smislu da se kombinuju koncepcije korišćenja string i centralnih invertora.

String invertori su prvi razvijeni invertori za FN sisteme namenjenih za priključenje na DSEE. Njihova snaga u početku je iznosila nekoliko kW. Trenutne vrednosti snaga se kreću do 250 kW. Na slici 1.13 je prikazana uprošćena šema string invertora. Na samom ulazu gde se spajaju FN nizovi postoji sklopna i zaštitna oprema namenjena za jednosmerni napon. Konfiguracija ove opreme varira od proizvođača do proizvođača. Radi maksimalnog iskorišćenja snage FN polja pre samog DC/AC pretvarača (invertora) ugrađuje se DC/DC pretvarač, takozvani MPPT sklop, radi nalaženja maksimalne snage FN polja. Na izlazu invertora se nalazi izlazno prilagodno kolo. Njegova uloga je prilagođenje talasnog oblika i amplitude napona i frekvencije uslovima koji vladaju u mreži DSEE. Pored toga vrši se sinhronizacija sa naponom DSEE i sprečavanje ostrvski režim rada elektrane. Pored energetskog dela, string inverter čini elektronski deo koji je zadužen za upravljanje pojedinim energetskim sklopovima i njihovom međusobno sinhronizovanim radom putem mikroprocesora i odgovarajućeg softvera. Tu je i sistem za međusobnu komunikaciju invertora, ali i komunikaciju sa spoljnim svetom radi nadzora elektrane [6].



Slika 1.13 Blok šema string invertora

Centralni invertori se isključivo koriste u fotonaponskim elektranama velikih snaga, obično iznad nekoliko MW. Tačne granice najnižih snaga nisu definisane i zavise od puno faktora. U elektranama gde se primenjuju centralni invertori, za razliku od string invertora, veoma velik broj FN panela se vezuje na jedan inverter. Ovaj broj se kreće od nekoliko stotina pa do nekoliko hiljada. Zbog toga je koncepcija povezivanja FN nizova drugačija nego kod string invertora. Inverter se najčešće smešta na centralnom mestu u elektrani iz tehničkih razloga. Naziv ovih invertora, centralni invertori, nastao je na osnovu načina povezivanja, ali i zbog njihove pozicije u elektrani. Za razliku od string invertora, koji se razmeštaju po celoj FN elektrani, centralni inverter je smešten u kontejneru, najčešće zajedno sa transformatorom za prilagođenje naponskog nivoa invertora sa DSEE (srednjenaponsko postrojenje). Principijska šema centralnog invertora zajedno sa srednjenaponskim postrojenjem je prikazan na slici 1.14.



Slika 1.14 Blok šema centralnog invertora

Karakteristike savremenih invertora

Stalno unapređenje i povećanje snage invertora je za posledicu imalo promene karakteristika kako na ulaznoj jednosmernoj strani, tako i na izlaznoj naizmeničnoj strani invertora.

Sa porastom nominalne izlazne snage invertora broj nezavisnih MPPT ulaza sa 1 do 2 je porastao na 20, za string invertore najvećih snaga. Donedavno maksimalni ulazni jednosmerni napon je iznosio 1000 V. Danas ovaj ulazni napon dostiže vrednost do 1500 V, koji se naročito primenjuje kod centralnih invertora.

Unapređenje tehnologije izrade pojedinih elemenata, pad cene FN panela je doprineo da proizvođači dozvoljavaju velik koeficijent invertora prilikom projektovanja. Koeficijent invertora k_{inv} je definisan kao količnik ukupne snage FN panela koji se povezuju na ulaz invertora P_{FNP} i nominalne izlazne snage invertora P_N :

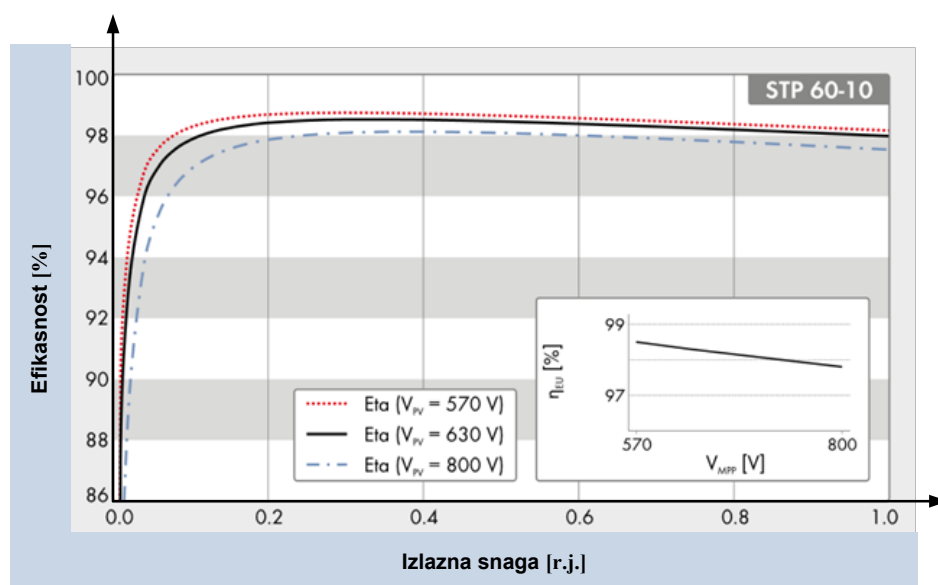
$$k_{inv} = \frac{P_{FNP}}{P_N} \quad (1)$$

Dok su na početku razvoja FN sistemi imali koeficijent invertora manji od jedan, danas proizvođači invertora dozvoljavaju da on dostigne vrednost i do 1,5. Ova vrednost prvenstveno zavisi od lokacije postavljanja FN panela, kao i od njihove orijentacije.

Bitna osobina invertora je njihova efikasnost koja se definiše kao proizvod efikasnosti pretvaranja jednosmernog napona u naizmeničan η_{KON} i efikasnosti DC/DC pretvarača η_{MPPT} na sledeći način

$$\eta_{INV} = \eta_{KON} \cdot \eta_{MPPT} \quad (2)$$

Proizvođači FN invertora zadaju efikasnost FN invertora η_{INV} i to njenu maksimalnu vrednost. Kod savremenih invertora maksimalna efikasnost dostiže vrednost od 98 % do 99 %. Na slici 1.15 je prikazana klasična kriva efikasnosti savremenih invertora. Ova efikasnost zavisi od ulaznog napona FN niza, kao i od izlazne snage samog invertora.



Slika 1.15 Kriva efikasnosti invertora

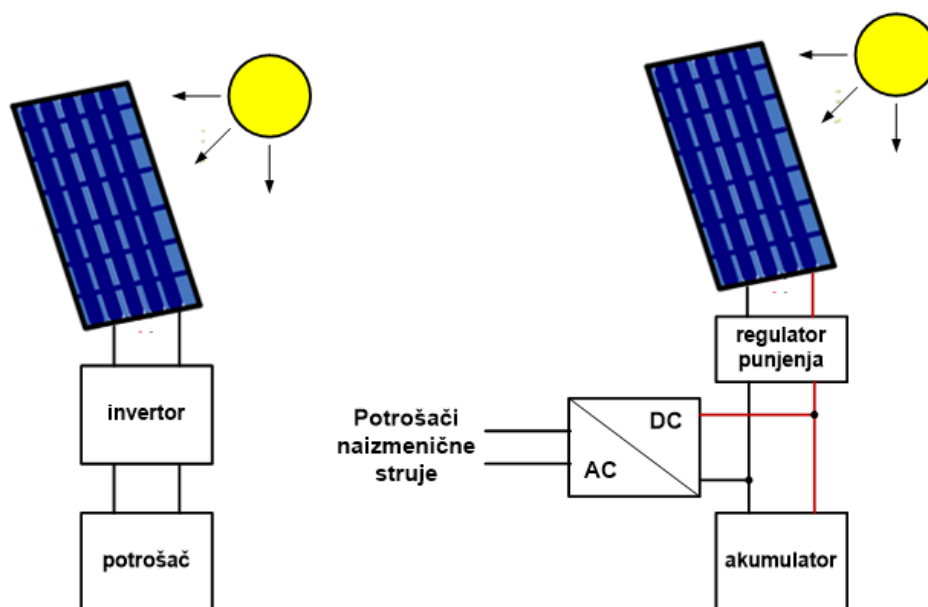
Na izlaznoj strani invertora je takođe došlo do povećanja izlaznog napona. Nominalni napon u niskonaponskoj mreži DSEE je 0,4 kV. String invertori su se ranije proizvodili isključivo za naveden naponski nivo. Sa rastom jedinačne snage string invertora pojavio se izlazni napon od 0,8 kV. Ovaj napon i dalje spada u niskonaponski domen. Kada se formiraju elektrane većih snaga koji se povezuju na srednji napon, koristi se takozvana hibridna koncepcija povezivanja string invertora. Invertori se vezuju međusobno, formirajući niskonaponsku mrežu od 0,8 kV, posle čega se vrši transformacija napona na odgovarajući srednjenaponski nivo.

Podela FN sistema

FN sistemi se mogu podeliti u tri osnovne grupe, u zavisnosti od načina napajanja potrošača. To su samostalni FN sistemi, FN sistemi u paralelnom radu sa DSEE i kombinovani FN sistemi.

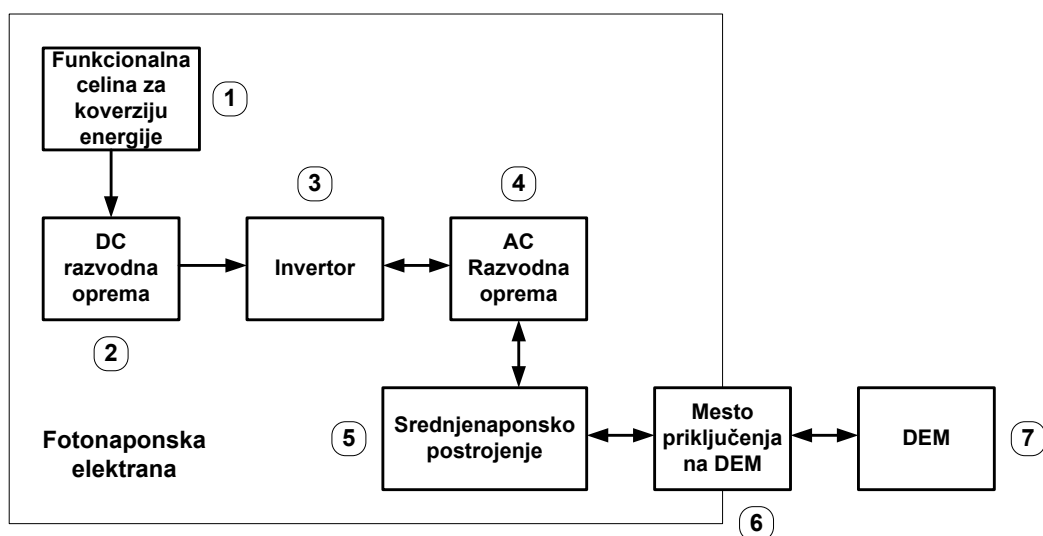
Samostalni FN sistemi napajaju potrošače gde ne postoji mogućnost priključenja na DSEE. Samostalni sistem pored FN panela i invertora sadrži akumulator. Ipak, najprostiji samostalni fotonaponski sistem ne mora da sadrži akumulator. Blok šema ovakvog sistema je prikazana na slici 1.16, levo. Ovakav sistem je našao primenu u poljoprivredi za navodnjavanje.

Samostalni fotonaponski sistem sa mogućnošću skladištenja električne energije prikazan je na slici 1.16, desno. Pored izvora električne energije, FN panela i akumulatora, sistem sadrži elektronske uređaje kao što su regulator punjenja i inverter. Regulator punjenja (engleski: charge controller) je spona između FN panela i akumulatora. Uloga regulatora punjenja u sistemu je upravljanje načinom punjenja i kontrola ispražnjenosti akumulatora. Na njega se direktno spajaju FN paneli, akumulator i DC potrošači.



Slika 1.16 Varijante samostalnih FN sistema

FN sistem u paralelnom radu sa DSEE je najrasprostranjeniji. Blok šema ovog sistema je prikazana na slici 1.17.

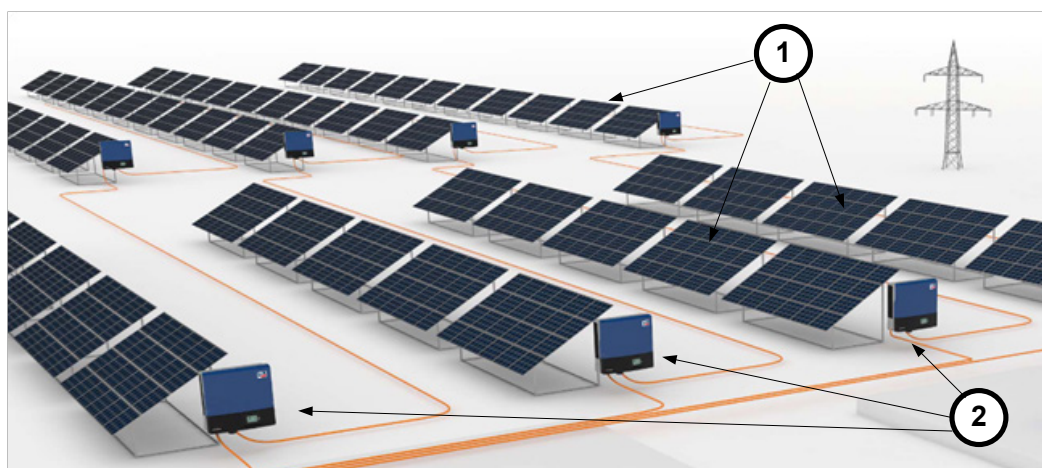


Slika 1.17 FN sistem u paralelnom radu sa DSEE

FN sistem u paralelnom radu sa DSEE može se podeliti na funkcionalne celine koje čine celina za konverziju energije, odnosno FN paneli (1), DC razvodna oprema (2), inverter (3), AC razvodna oprema (4), SN postrojenje (5) i mesto priključenja na DSEE (6). U zavisnosti od snage elektrane SN postrojenje nije uvek deo FN sistema. Kada je reč o snagama elektrane iznad 160kW, oni se priključuju na sredji napon, te sadrže srednjenaponsko postrojenje.

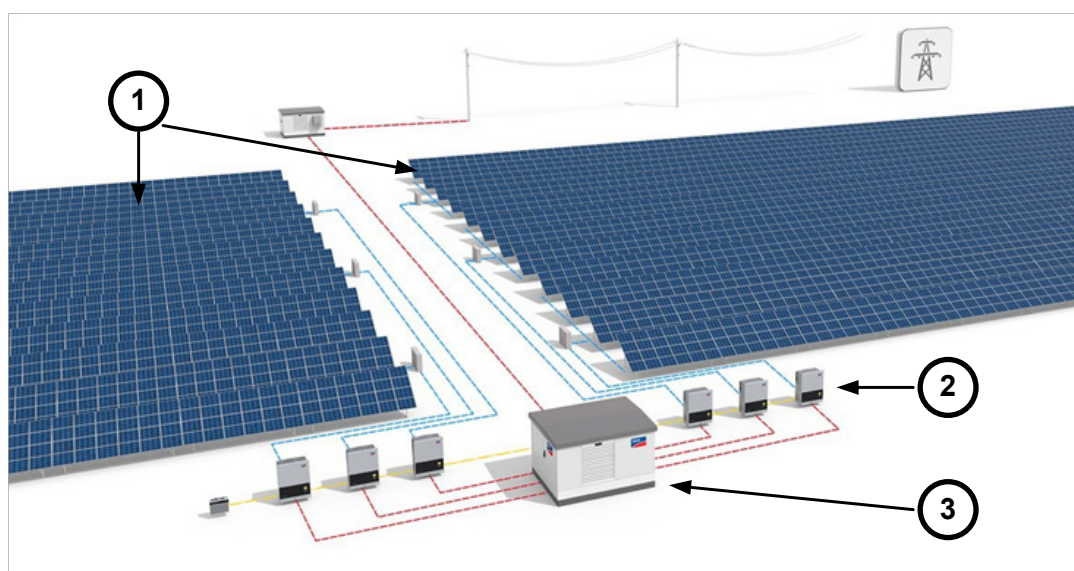
Postoje tri koncepcije izgradnje FN elektrana na zemlji ili krovovima velikih površina, a koje su u paralelnom radu sa DSEE. String koncepcija koja je prikazana na slici 1.18, centralna koncepcija prikazana na slici 1.19 i hibridna koncepcija koja se vidi na slici 1.20.

Karakteristično za string koncepciju je da se u FN elektrani koriste string invertori koji su razmešteni po celoj površini elektrane. FN nizovi su blizu invertora i direktno se spajaju na njih.



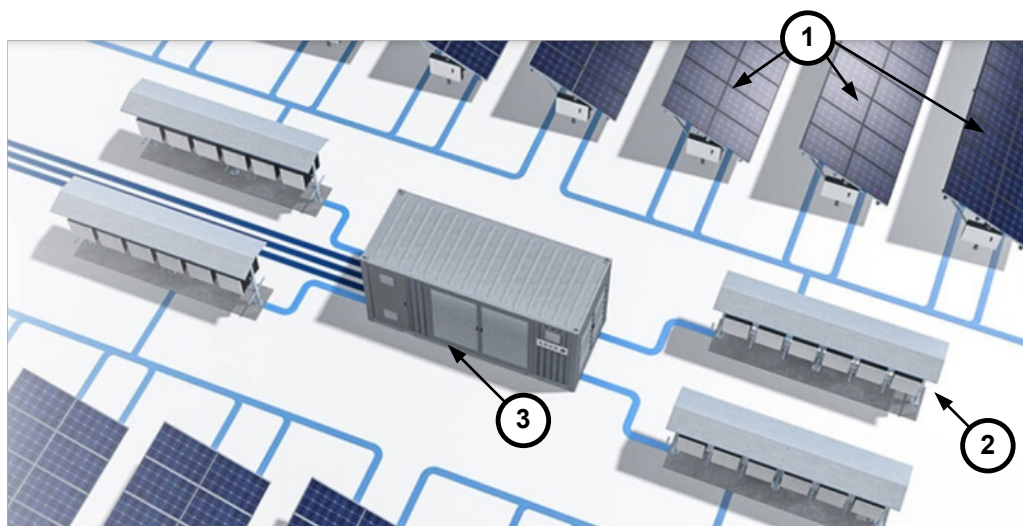
Slika 1.18 FN sistem sa string koncepcijom izgradnje: 1-fotonaponski nizovi, 2-invertori

Kod centralne koncepcije izgradnje FN elektrane koristi se centralni inverter. On se obično smešta u centar elektrane. Većina FN nizovaje udaljena od invertora i zato se koriste DC razvodni ormari kao čvorišta. DC razvodni ormari su razmešteni po celoj površini elektrane.



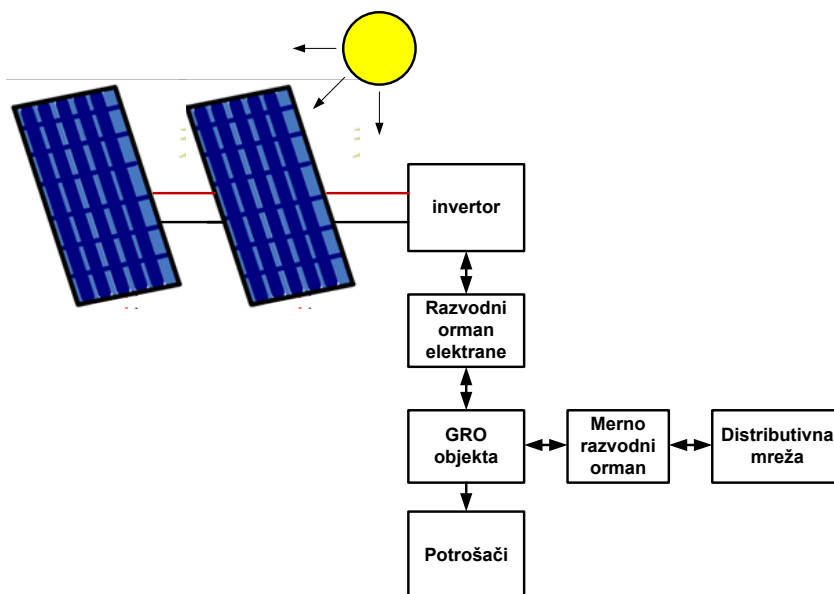
Slika 1.19 FN sistem sa centralnom koncepcijom izgradnje: 1-fotonaponski nizovi, 2-invertori, 3-postrojenje

Najnovija, hibridna koncepcija izgradnje koristi kombinaciju dve prethodno opisane koncepcije. Po celoj površini elektrane su razmešteni DC razvodni ormari, pri čemu se koriste string invertori grupisani na jednom mestu.



Slika 1.20 FN sistem sa hibridnom koncepcijom izgradnje: 1-fotonaponski nizovi, 2-invertori, 3-postrojenje

Što se brojnosti FN elektrana tiče, najveći broj čine FN elektrane spojene na niski napon. To su elektrane snage do 160 kW. Ove elektrane koriste domaćinstva, stambene zajednice, mala i srednja preduzeća. Blok šema mogućeg načina povezivanja jedne takve elektrane na DSEE je prikazana na slici 1.21.



Slika 1.21 FN elektrana spojena na 0,4 kV naponski nivo

U ovim elektranama se isključivo koriste string invertori. U zavisnosti od snage FN elektrane i okolnosti na terenu, njihov broj može da varira. Po pravilu invertori se vezuju paralelno u razvodnom ormaru elektrane. Sklopna i zaštitna oprema razvodnog ormara elektrane je definisana od strane Elektrodistribucije Srbije. ROE kao sastavni deo FN elektrane, kao što je na slici 1.21 prikazano, povezuje se u glavni razvodni ormar objekta. Na taj način je omogućeno da se proizvedena električna energija od strane FN elektrane potroši na licu mesta od strane potrošača u objektu. U slučaju da postoji viška proizvedene električne energije postoje dve opcije; predaja u DSEE ili bez predaje u DSEE. U slučaju predaje viška električne energije ona se na neki način skladišti. Beleži se višak i može se kompenzovati kada ima manjka proizvodnje u odnosu na potrošnju. Ova situacija je poznata kao status kupac-proizvođač električne energije. Ako se pre brojila električne energije postavi takozvano pametno brojilo, ono će ograničavati snagu invertora. Na taj način neće biti predaje električne energije u DSEE.



5. BEZBEDNOSNE MERE



Objekti, prostorije i prostori namenjeni za rad pravilnik o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad na radnom mestu ("sl. Glasnik rs", br. 21/2009 i 1/2019)

CILJ

- Osnovne odredbe-termini
- Obaveze poslodavca, zaposlenih i saradnja
- Mere za bezbedan i zdrav rad na radnom mestu

Osnovne odredbe-termini

- minimalni zahtevi koje je poslodavac dužan da ispuni

- **Radno mesto** - prostor namenjen za obavljanje poslova kod poslodavca u objektu namenjenom za radne i pomoćne prostorije ili u objektu namenjenom za rad na otvorenom prostoru ili na otvorenom prostoru, u kojem zaposleni boravi ili ima pristup u toku rada i koji je pod neposrednom ili posrednom kontrolom poslodavca.

• **Radne prostorije i prostor namenjen za rad na otvorenom**-prostorije i prostor u kojima se obavljaju procesi rada.

• **Pomoćne prostorije** - prostorije koje su namenjene za higijenske, sanitarne i druge potrebe zaposlenih (prostorije za odmor, sanitarne prostorije, prostorije za pružanje prve pomoći, prostorije za povremeno zagrevanje zaposlenih i dr.).

ne primenjuje se na:

- saobraćajna sredstva vozila i transportna sredstva;
- privremena ili pokretna radna mesta;
- nadzemnu i podzemnu eksploataciju ruda i dubinsko bušenje;
- plovila za ulov ribe;
- poljoprivredno, šumsko i drugo zemljište..

Obaveze poslodavca, zaposlenih i saradnja

- obezbedi zaposlenom rad na radnom mestu na kojem su sprovedene mere za bezbedan i zdrav rad utvrđene u Pregledu mera za bezbedan i zdrav rad na radnom mestu.
- Pregled mera – govore o tome koje mere je potrebno preduzeti/ispuniti da bi rad bio bezbedan, biće predstavljene u daljem delu prezentacije (24 tačke)
- da saobraćajne površine namenjene za kretanje vozila i lica - uvek budu slobodni,
- da se redovno vrši tehničko održavanje radnog mesta i opreme za rad, sve uočene nedostatke koji mogu da utiču na bezbednost i zdravlje na radu otkloni odmah,
- da se radno mesto i oprema za rad, redovno čisti i održava na zadovoljavajućem nivou higijene,
- da se redovno održava i proverava ispravnost opreme i uređaja namenjenih za sprečavanje ili otklanjanje opasnosti i/ili štetnosti sve informacije koje se odnose na bezbednost i zdravlje na radu, a naročito o merama koje se preduzimaju u cilju ostvarivanja bezbednih i zdravih uslova za rad na radnom mestu. Poslodavac i zaposleni i/ili njihovi predstavnici dužni su da sarađuju u vezi sa pitanjima koja se odnose na bezbednost i zdravlje na radnom mestu

MERE ZA BEZBEDAN I ZDRAV RAD NA RADNOM MESTU

Kad se primenjuju?

kad god to zahtevaju karakteristike radnog mesta, aktivnosti, okolnosti ili opasnosti, kako na radnom mestu koje se koristi prvi put, tako i na radnom mestu koje se već koristi.

Gde se primenjuju?

Objekti namenjeni za radne i pomoćne prostorije i prostor namenjen za rad na otvorenom moraju da imaju strukturu i stabilnost koji odgovaraju njihovoj nameni.

PREGLED MERA ZA BEZBEDAN I ZDRAV RAD NA RADNOM MESTU

Električne instalacije moraju da budu projektovane i postavljene tako da ne predstavljaju opasnost koja može biti uzrok požara ili eksplozije.

Šta to podrazumeva?

+lica moraju da budu zaštićena od *opasnog dejstva električne struje i direktnog ili indirektnog dodira instalacija i opreme pod naponom*.

Šta je bitno primeniti pri projektovanju, postavljanju i izboru materijala i zaštitnih uređaja?

+visina napona, spoljašnji uticaji i kompetentnost lica koja imaju pristup delovima instalacija.

Bitno je da električne instalacije, a naročito one koje su izložene spoljašnjim uticajima, moraju se redovno pregledati i održavati u ispravnom stanju.

Kad se primenjuju?

kad god to zahtevaju *karakteristike radnog mesta, aktivnosti, okolnosti ili opasnosti*, kako na radnom mestu koje se koristi prvi put, tako i na radnom mestu koje se već koristi.

Gde se primenjuju?

Objekti namenjeni za radne i pomoćne prostorije i prostor namenjen za rad na otvorenom moraju da imaju strukturu i stabilnost koji odgovaraju njihovoj nameni.

Saobraćajne površine i izlazi za evakuaciju u slučaju opasnosti - moraju uvek da budu slobodni i omogućavati izlaz najkraćom saobraćajnom površinom do bezbednog područja.

- slučaju opasnosti, zaposlenima mora biti obezbeđena blagovremena i bezbedna evakuacija sa svih radnih mesta. - broj, raspored i veličina saobraćajnih površina i izlaza za evakuaciju u slučaju opasnosti zavise od *vrste opreme za rad koja se koristi, veličine objekta* u kojem se nalaze radna mesta i *najvećeg broja lica* koja mogu biti prisutna u objektu.

- vrata za evakuaciju u slučaju opasnosti moraju se otvarati u ***pravcu izlaza iz objekta***.

- u slučaju opasnosti nije dozvoljeno korišćenje kliznih ili rotacionih vrata, kao vrata za evakuaciju

- vrata za evakuaciju ne smeju da budu zaključana ili blokirana tako da ih svako lice koje treba da ih koristi ne može lako i brzo otvoriti.

-saobraćajne površine i izlazi - obeleženi odgovarajućim oznakama, a oznake moraju da budu postavljene na odgovarajućim mestima i postojane.

- vrata za evakuaciju u slučaju opasnosti ne smeju da budu zaključana.

- saobraćajne površine i izlazi za evakuaciju u slučaju opasnosti

- moraju biti slobodni od bilo kakvih prepreka tako da se mogu koristiti u svakom trenutku bez smetnji.

- saobraćajne površine i izlazi za evakuaciju koji zahtevaju osvetljenje, moraju imati bezbednosno osvetljenje odgovarajućeg intenziteta u slučaju prestanka opšteg osvetljenja (protivpanična rasveta).



Slika 5.1 Saobraćajne površine i izlazi za evakuaciju u slučaju opasnosti

Otkrivanje i gašenje požara

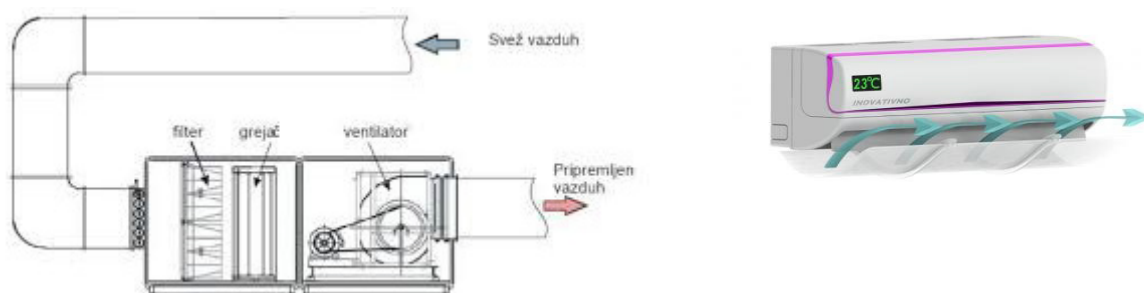
- u zavisnosti od veličine i namene objekta, opreme za rad, fizičkih i hemijskih karakteristika prisutnih materija i najvećeg mogućeg broja prisutnih lica u objektu - **mora obezbediti dovoljan broj uređaja i instalacija za gašenje požara** i, gde je to potrebno, za otkrivanje i javljanje požara,
- oprema za gašenje požara koja nije ugrađena mora da bude **lako dostupna, jednostavna za upotrebu** i obeležena odgovarajućim oznakama koje moraju biti postojane i postavljene na odgovarajućim mestima.



Slika 5.2 Oprema za gašenje požara

Provetravanje na radnim mestima u zatvorenom prostoru

- mora da bude obezbeđena dovoljna količina svežeg vazduha, uzimajući u obzir radne metode i aktivnosti, poslove i fizičke napore,
- sistem prinudnog provetravanja (u slučaju kada se koristi), mora se održavati u ispravnom stanju i mora biti opremljen uređajem za javljanje kvara.
- uređaji za klimatizaciju ili ventilaciju, rad tih uređaja ne sme izazivati neprijatnost zaposlenima usled povećane brzine strujanja vazduha (vrlo česti je problem u kancelarijskim prostorijama)
- uređaji za klimatizaciju ili ventilaciju moraju redovno da se čiste i održavaju.



Slika 5.3 Uređaji za klimatizaciju ili ventilaciju

Temperatura u radnim i pomoćnim prostorijama

- u toku rada temperatura u radnim i pomoćnim prostorijama, u zavisnosti od metoda rada i aktivnosti, kao i fizičkog opterećenja zaposlenih, osim na radnim mestima na kojima je uslovljena tehnološkim procesom /tabela na sledećem slajdu
- temperatura mora da bude odgovarajuća u skladu sa namenom tih prostorija: prostorijama za odmor, prostorijama za zaposlene koji su na dužnosti, sanitarnim prostorijama i prostorijama za pružanje prve pomoći
- prozori, krovni prozori i staklene pregrade moraju da budu izvedeni tako da sprečavaju prekomerno dejstvo sunčeve svetlosti

Vrsta rada	Temperatura spoljašnjeg vazduha								
	do +5 °C			od +5 do +15 °C			više od +15 °C		
	Temperatura [°C]	Rel. vlažnost [%]	Brzina strujanja [m/s]	Temperatura [°C]	Rel. vlažnost [%]	Brzina strujanja [m/s]	Temperatura [°C]	Rel. vlažnost [%] ¹	Brzina strujanja [m/s]
lak fizički rad	18-28	max 75	max 0,3	18-28	max 75	max 0,6	max 28	28 °C→55 26 °C→60 24 °C→65 < 24 °C→73	max 0,5
srednji fizički rad	15-28	max 75	max 0,5	15-28	max 75	max 0,6	max 28	28 °C→55 26 °C→60 24 °C→65 < 24 °C→73	max 0,7
teški fizički rad	15-28	max 75	max 0,5	15-28	max 75	max 0,6	max 28	28 °C→55 26 °C→60 24 °C→65 < 24 °C→73	max 1,0

¹ **Napomena:** dozvoljena relativna vlažnost za temperaturu vazduha koja nije navedena u tabeli, a spada u opseg od 24 °C do 28 °C, izračunava se na sledeći način:

Relativna vlažnost [%] = 2,5 Temperatura vazduha [°C] + 125.

Prirodno i veštačko osvetljenje radnih i pomoćnih prostorija

- radna mesta moraju da imaju dovoljno prirodne svetlosti i moraju biti opremljena izvorima veštačkog osvetljenja koji moraju da obezbede adekvatnu osvetljenost u cilju ostvarivanja bezbednih i zdravih uslova rada.
- instalacije za osvetljavanje moraju da budu postavljene tako da ne predstavljaju opasnost za zaposlene
- radna mesta gde su zaposleni **posebno izloženi rizicima u slučaju nestanka veštačkog osvetljenja**, moraju biti opremljeni bezbednosnim osvetljenjem odgovarajuće jačine.
- osvetljenje na radnim mestima se obezbeđuje i održava u skladu sa uslovima tehnološkog procesa (osvetljenost radnog mesta da bude ravnomerna i ujednačena)
- boja veštačkog osvetljenja koja se koristi ne sme da utiče na prepoznavanje oznaka za bezbednost i zdravlje na radu.

Podovi, zidovi, tavanice i krovovi radnih i pomoćnih prostorija

- podovi ne smeju imati opasne izbočine, rupe ili nagibe i biti klizavi i moraju biti stabilni i čvrsti,
 - podovi moraju da budu adekvatno toplotno izolovani, uzimajući u obzir vrstu poslova i fizičke aktivnosti zaposlenih,
 - podovi u kojima se zaposleni zadržava duže od dva sata, radi obavljanja radnih aktivnosti, moraju imati koeficijent prolaza toplote manji od $6 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 - površine podova, zidova i tavanica u prostorijama moraju da budu takvi da mogu da se čiste ili održavaju na potrebnom nivou higijene,
 - podovi, zidovi i tavanice radnih i pomoćnih prostorija moraju da budu otporni na oštećenje od mehaničkih i drugih uticaja, vodonepropusni i izvedeni tako da obezbeđuju zaštitu od atmosferskih uticaja, buke i vibracija i sprečavaju prodiranje opasnih materija.
- podovi moraju da budu elektro-provodljivi ili elektro-izolacioni u zavisnosti od uslova tehnološkog procesa.
- podovi moraju da budu izvedeni sa nagibom prema otvorima odvodnih kanala ako dođe do razlivanja tečnosti ili kondenzacije vodene ili drugih para.
 - zidovi moraju da budu izvedeni tako da se kod otvora u zidu čija je visina parapeta manja od 90 cm postavlja zaštitna ograda.
 - providni ili prozračni zidovi, a naročito pregradni zidovi od stakla, u prostorijama ili u blizini radnih mesta i saobraćajnih površina moraju biti vidno označeni i izrađeni od bezbednog materijala
 - pristup krovovima koji su izrađeni od nedovoljno čvrstog materijala ne sme biti dozvoljen, osim u slučaju kada je obezbeđena oprema.

Prozori i krovni prozori

- prozori i krovni prozori moraju da budu izvedeni tako da zaposleni mogu da ih otvaraju, zatvaraju, podešavaju ili osiguraju na bezbedan način. Kada su otvoreni, ne smeju se nalaziti u takvom položaju da izazovu opasnost za zaposlene.
- prozori i krovni prozori moraju biti projektovani i izvedeni sa opremom ili na drugi način opremljeni uređajima koji omogućavaju njihovo čišćenje bez rizika po zaposlene koji obavljaju to čišćenje i ostale zaposlene koji se nalaze u neposrednoj blizini.

Vrata i kapije

- položaj, broj i dimenzije vrata i kapija kao i materijali od kojih su izrađeni moraju da budu određeni u zavisnosti od prirode i namene prostorija ili prostora.
- providna vrata moraju biti obeležena odgovarajućim, lako uočljivim oznakama.
- Salonska vrata i kapije moraju da budu providna ili da imaju providne površine.
- ako providne ili prozračne površine na vratima i kapijama nisu izrađene od bezbednih materijala i ako postoji opasnost, da u slučaju loma vrata ili kapije, zaposleni pretrpe povredu te površine moraju biti zaštićene od loma.
- klizna vrata moraju da budu ugrađena sa bezbedonosnim uređajem koji sprečava da vrata iskoče iz šina i da se sruše.
- Vrata i kapije koje se otvaraju na gore moraju da budu ugrađene sa mehanizmom koji sprečava njihov pad.
- Vrata duž saobraćajnih površina za evakuaciju moraju da budu obeležena na odgovarajući način i izvedena da se mogu otvarati sa unutrašnje strane brzo i lako u svakom trenutku bez bilo kakvih prepreka ili pomagala dok su zaposleni prisutni na radnim mestima.
- U neposrednoj blizini kapija koje su namenjene za prolaz vozila, moraju da budu i posebna vrata za prolaz lica, ukoliko prolaz lica kroz te kapije nije bezbedan. Ta vrata moraju biti vidno obeležena i uvek slobodna.
- Vrata na mehanizovani pogon moraju da funkcionišu tako da zaposleni nisu izloženi opasnostima od nastanka povreda. Ta vrata moraju da budu ugrađena sa zaštitnom blokadom za trenutno zaustavljanje koja mora da bude lako uočljiva i pristupačna. Ukoliko se, u slučaju nestanka napajanja, vrata ne otvaraju automatski, mora biti moguće ručno ih otvoriti.

- Vrata na prostorijama kod kojih postoji opasnost od eksplozije, izrađuju se od materijala koji ne može da proizvede varnicu, a postavljaju se tako da se otvaraju u pravcu izlaza.

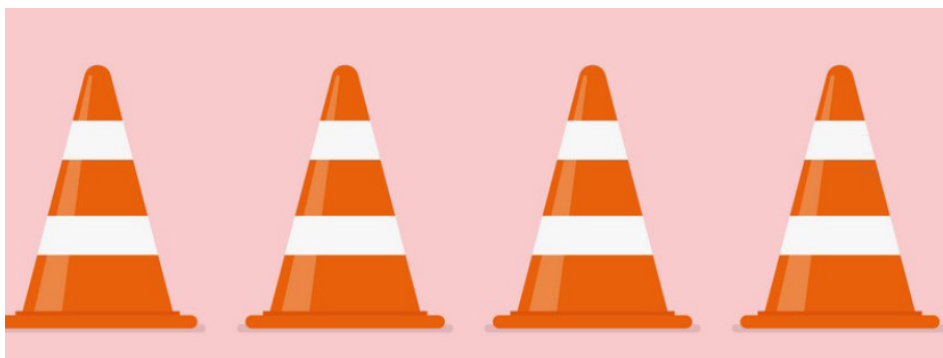
Saobraćajne površine - opasne zone

-saobraćajne površine, uključujući stepeništa, nepokretne lestve, mesta i rampe za utovar i istovar, moraju biti razmešteni i izgrađeni tako da se obezbedi jednostavan, bezbedan i odgovarajući pristup licima i vozilima na način da zaposleni koji rade u blizini tih saobraćajnih površina ne budu izloženi opasnostima.

-dimenzije saobraćajnih površina za kretanje lica i/ili prevoz robe moraju da budu određene u zavisnosti od broja mogućih korisnika i vrste aktivnosti koje se obavljaju.

-ako se saobraćajne površine koriste za kretanje vozila, mora se obezbediti dovoljno širok i bezbedan prolaz za kretanje lica.

-između saobraćajnih površina za kretanje vozila i vrata, kapija, prolaza za lica, hodnika i stepeništa potrebno je obezbediti dovoljnu širinu prolaza.



Slika 5.4 Obeležavanje koridora za kretanje/prolaz

U zavisnosti od namene radne prostorije i vrste opreme, saobraćajne površine moraju biti vidno obeležene odgovarajućim oznakama.

-saobraćajne površine se moraju redovno kontrolisati i održavati u ispravnom stanju.

-saobraćajne površine se postavljaju u nivou poda tako da odstupanje ne prelazi $\pm 1,0$ cm.

-saobraćajne površine i prolazi u radnim prostorijama moraju da budu izvedeni tako da njihova širina bude jednaka ili veća od odgovarajuće vrednosti

-ako na radnim mestima postoje mesta kojima je pristup ograničen - opasne zone, te zone moraju da budu opremljene napravama koje sprečavaju pristup neovlašćenim licima. Potrebno je preduzeti odgovarajuće mere u cilju zaštite zaposlenih koji su ovlašćeni da ulaze u opasne zone. Opasne zone moraju biti jasno obeležene odgovarajućim oznakama.

Saobraćajne površine i prolazi		Širina [m]
Glavna saobraćajna površina - prolaz za zaposlene		1,50
Sporedna saobraćajna površina - prolaz za zaposlene		1,00
Prolazi za čišćenje, održavanje i posluživanje opreme za rad		0,75
Saobraćajna površina za kretanje vozila		1,80
Dodatak na širinu vozila, odnosno najšireg dela koji se prevozi da bi se dobila optimalna širina prolaza		0,80
Prostorije širine do 15 m - jedan prolaz		1,80
Prostorije širine od 16 m do 40 m - jedan prolaz		2,40
Prostorije širine od 41 m do 80 m	jedan	3,00
	dva prolaza po	2,00
Prostorije širine preko 80 m, na svakih 40 m širine po jedan prolaz		3,00

Stepeništa se izvode i održavaju tako da obezbeđuju:

- nesmetano izlaženje iz svih delova objekta;
- potrebnu propusnu moć
- najkraći put prema izlazu iz objekta sa jasno označenim smerom kretanja ka stepeništu. Stepeništa se izvode sa stepenicama jednakog oblika i dimenzija. Zavojno stepenište izvodi se tako da, na najužem delu, širina gazišta ne bude manja od 10 cm. Na stepeništu koje ima preko 10 stepenika zaštitna ograda se postavlja sa obe strane, a na stepeništu do 10 stepenika, ukoliko ne premošćava podlogu na koju se može pasti sa visine veće od 1 m, ograda se može postaviti samo sa jedne strane.

Zaštitne ograde

Prolazi, prelazi, radne platforme i sva radna mesta na visini većoj od 1 m od poda ili podloge na koju se može pasti, ograđuju se zaštitnom ogradom.

- Zaštitne ograde izvode se tako da obezbeđuju:

- stabilnost pojedinih elemenata, međusobne veze elemenata i ograde u celini, proračunatih na najnepovoljnije horizontalno i vertikalno opterećenje, koje se može pojaviti;
- konstrukciju ograde sa takvim rasporedom elemenata, u ravni ograde, da jedna dimenzija slobodnog otvora u ogradi ne bude veća od 25 cm;
- da elementi ispune ograde budu sa unutrašnje strane stuba ograde;
- da visina od površine poda ili podloge do gornje ivice ograde ne bude manja od 100cm, a kod kosih ograda na stepeništima, da visina bude najmanja 100 cm mereno vertikalno od sredine gazišta do gornje ivice ograde;
- da krajevi elemenata ograde budu čvrsto oslonjeni, da ne budu postavljeni u obliku prepusta;
- da površine elemenata ograde budu glatke i bez neravnina o koje bi se mogli povrediti delovi tela zaposlenih ili zakačiti odeća.

Posebne mere za pokretne stepenice i staze. Pokretne stepenice i staze moraju da funkcionišu bezbedno. Pokretne stepenice i staze moraju da budu opremljene sa svim neophodnim zaštitnim uređajima i lako uočljivim i dostupnim zaštitnim blokadama.

Mesta i rampe za utovar i istovar - mesta i rampe za utovar i istovar moraju da odgovaraju dimenzijama tereta kojim se manipuliše.

- mesta i rampe za utovar i istovar moraju da imaju najmanje jedan izlaz, a kada je to tehnički moguće moraju imati izlaze na dve strane.
- rampe za utovar i istovar moraju da budu obezbeđene tako da se sprečava pad zaposlenih.



Slika 5.5 Primer rampe za utovar i istovar.

- mesta i rampe za utovar i istovar moraju da imaju strukturu i stabilnost koji odgovaraju njihovoj nameni.
- saobraćajne površine ka mestima i rampama za utovar i istovar moraju da budu očišćene od leda i snega i posute peskom ili šljunkom.
- širina saobraćajnih površina iz tačke 15.5. ne sme biti manja od 5 m pri dvosmernom kretanju vozila, odnosno 3 m pri jednosmernom kretanju vozila.
- prilikom postavljanja vozila na mestima i rampama za utovar i istovar, rastojanje između vozila koja stoje u koloni ne sme biti manje od 1 m, a rastojanje između vozila koja stoje jedno pored drugog ne sme biti manje od 1,5 m.

- brzina kretanja vozila na mestima i rampama za utovar i istovar i saobraćajnim površinama ka njima ne sme biti veća od 10 km/h, a u zatvorenim magacinima i skladištima ne sme biti veća od 5 km/h.
- mesta i rampe za utovar i istovar moraju biti noću osvetljene svetlošću jačine najmanje 10Lx.

Dimenzije radnih i pomoćnih prostorija - slobodan prostor za zaposlene

- radne prostorije moraju imati dovoljnu visinu, površinu poda i vazdušni prostor tako da je zaposlenima omogućeno da bezbedno obavljaju svoj rad, bez rizika po njihovu bezbednost, zdravlje i blagostanje na radu, a vrednosti čiste visine, površine i zapremine po jednom zaposlenom moraju biti jednake ili veće od odgovarajućih vrednosti navedenih u Tabeli 3.
- čistom visinom prostorije, smatra se svetla visina od završenog poda do završene tavanice bez neravnina, instalacija i uređaja.
- slobodnom površinom poda, smatra se površina poda bez opreme za rad, instalacija, materijala, gotovih proizvoda i inventara, osim radnog stola i stolice.
- slobodnom zapreminom, smatra se vazdušni prostor, bez opreme za rad, instalacija, inventara i prostora koji se koristi za skladištenje.
- veličine slobodnih prostora na radnim mestima moraju biti takve da omogućavaju zaposlenima nesmetano kretanje radi obavljanja radnih aktivnosti, a ako to nije moguće, iz razloga specifičnih za to radno mesto, zaposlenom mora biti obezbeđena dovoljna sloboda kretanja blizu njegovog radnog mesta.
- čista visina pomoćnih prostorija obezbeđuje se i održava tako da ne bude manja od 2,60m.
- privremeni objekti (tipa kontejnera ili kioska), u kojima se nalaze prostorije za radna mesta, mogu se koristiti za radna mesta, ako čista visina prostorija nije manja od 2,20 m.

Poslovi koji se obavljaju u radnoj prostoriji	Najmanja veličina slobodnog prostora		
	Čista visina pojednom zaposlenom [m]	Površina po jednom zaposlenom [m ²]	Zapremina po jednom zaposlenom [m ³]
Proizvodni procesi u halama, pogonima, radionicama i sl., gde se u procesu rada ne pojavljuju štetnosti	2,60	2,00	10,00
Proizvodni procesi u halama, pogonima, radionicama i sl., gde se u procesu rada pojavljuju štetnosti	3,00	2,00	12,00
Projektantski i administrativni poslovi	2,40	3,00	10,00
Proizvodni procesi u objektima u starim gradskim jezgrima i sl., gde se u procesu rada ne pojavljuju štetnosti	2,20	2,00	10,00

Prostorije za odmor

- u cilju obezbeđivanja bezbednosti i zdravlja, zaposlenima moraju da budu obezbeđene pristupačne prostorije za odmor u zavisnosti od vrste poslova i broja prisutnih zaposlenih (ovo se ne odnosi na zaposlene koji rade u kancelarijama ili sličnim radnim prostorijama)
 - Prostorije za odmor moraju da budu dovoljno velike i opremljene odgovarajućim brojem stolova i sedišta sa naslonom za dovoljan broj zaposlenih. U tim prostorijama potrebno je sprovesti odgovarajuće mere kako bi se zaštitili nepušači od štetnog uticaja duvanskog dima.
 - Ako se prostorije za odmor koriste za uzimanje hrane moraju da imaju umivaonik sa toplom i hladnom vodom i obezbeđeno provetravanje.
 - Ako u toku rada dolazi do redovnih i čestih prekida rada, a prostorija za odmor nije obezbeđena, mora se obezbediti druga prostorija u kojoj zaposleni mogu da borave u toku tih prekida. U tim prostorijama preduzimaju se odgovarajuće mere kako bi se zaštitili nepušači od štetnog uticaja duvanskog dima.
- Trudnice i majke koje doje
- trudnicama i majkama koje doje mora se obezbediti da, u odgovarajućim uslovima, legnu i odmore se.

Sanitarne prostorije

Garderobe i garderobni ormani

- adekvatne garderobe i garderobni ormani moraju da budu obezbeđeni za zaposlene koji koriste radna odela i uniforme ukoliko se zbog zdravstvenih ili drugih razloga ne može očekivati da se presvlače u drugim prostorijama. Garderobe moraju biti pristupačne, dovoljnog kapaciteta i da imaju mesta za sedenje.
- garderobe moraju da budu dovoljno velike i da u njima svaki zaposleni ima mogućnost da zaključa svoju ličnu odeću i stvari u toku radnog vremena. Kada okolnosti to zahtevaju (npr. opasne materije,

vлага, nečistoća i sl.) moraju se obezbediti uslovi u kojima se radna odeća čuva na mestu odvojeno od lične odeće i stvari.

- neophodno je obezbediti odvojene garderobe ili odvojeno korišćenje garderoba za muškarce i žene.
- ukoliko nije neophodno obezbediti garderobe, u skladu sa odredbama iz tačke 19.1.1. tada za svakog zaposlenog mora da bude obezbeđen prostor u kojem može da odloži svoju ličnu odeću.
- temperatura vazduha u garderobama ne sme da bude manja od 17°C.

Tuševi i umivaonici

- Za zaposlene mora da bude obezbeđen dovoljan broj odgovarajućih tuševa, ako to zahteva priroda posla ili iz zdravstvenih razloga, a naročito za zaposlene koji obavljaju poslove pri kojima dolazi do prljanja, kvašenja tela i odeće, znojenja i pojave prašine, kao i za zaposlene koji rade sa otrovnim, zaraznim ili jonizujućim materijama i zaposlene koji učestvuju u procesu prerade prehrambenih proizvoda ili izrade sterilnih materijala.

Neophodno je obezbediti odvojene tuševe ili odvojeno korišćenje tuševa za muškarce i žene.

- Kupatila sa tuševima moraju biti dovoljno velika kako bi svaki zaposleni mogao da se opere bez ograničenja u pogledu uslova ili odgovarajućih higijenskih standarda. Tuševi moraju da imaju toplu i hladnu tekuću vodu. Broj tuševa u kupatilu određuje se zavisno od vrste poslova i broja prisutnih zaposlenih, tako što se: za poslove kod kojih dolazi do pojave štetnih materija, prašine i jačeg znojenja, ili dolazi do kvašenja obuće i odeće obezbeđuje jedan tuš na najviše pet zaposlenih; za poslove kod kojih ne dolazi do jačeg znojenja, prašine, kvašenja obuće i odeće, odnosno kod kojih ne dolazi do pojave štetnih materija obezbeđuje se jedan tuš na najviše 20 zaposlenih.

- Ukoliko nije neophodno obezbediti tuševe u blizini radnih mesta i garderoba mora da bude obezbeđen dovoljan broj umivaonika sa tekućom vodom (toplom vodom ako je potrebno). Neophodno je obezbediti odvojene umivaonike ili odvojeno korišćenje umivaonika za muškarce i žene, ukoliko to zahtevaju razlozi za privatnost.

- U umivaonicima zaposleni moraju imati na raspolaganju sredstva za umivanje i dezinfekciju ruku, kao i sredstvo za sušenje ruku.

- Ako su prostorije sa tuševima ili umivaonicima odvojene od garderoba, te prostorije moraju da budu neposredno povezane.

Toaleti

U blizini radnih mesta, radnih prostorija, prostorija za odmor, garderoba i prostorija sa tuševima, moraju biti obezbeđene posebne prostorije sa odgovarajućim brojem toaleta i umivaonika. Potrebno je obezbediti odvojene toalete ili odvojeno korišćenje toaleta za muškarce i žene.

Prostorije za pružanje prve pomoći

U zavisnosti od veličine objekta, vrste poslova i učestalosti povreda na radu mora da bude obezbeđena jedna ili više prostorija za pružanje prve pomoći. Gde postoji veća mogućnost nastanka povreda na radu na svakih 100 zaposlenih mora da bude obezbeđena najmanje jedna prostorija za pružanje prve pomoći. Prostorije za pružanje prve pomoći moraju biti opremljene neophodnim instalacijama, opremom za pružanje prve pomoći i pristupačne za manipulaciju nosilima. Prostorije za pružanje prve pomoći moraju biti obeležene odgovarajućim oznakama. Oprema za pružanje prve pomoći mora da bude dostupna i pristupačna na svim mestima gde uslovi rada to zahtevaju i obeležena u skladu sa propisima. Adresa i broj telefona najbliže službe hitne pomoći i zdravstvene ustanove, kao i imena zaposlenih koji su osposobljeni i određeni za pružanje prve pomoći, moraju biti istaknuti na vidnom mestu.

Prostorije za povremeno zagrevanje zaposlenih

Prostorije za povremeno zagrevanje zaposlenih moraju biti obezbeđene za zaposlene koji obavljaju poslove u magacinima, skladištima, hladnjačama ili na otvorenom prostoru, a njihova veličina određuje se u zavisnosti od broja zaposlenih koji će ih istovremeno koristiti. Temperatura vazduha u prostorijama za povremeno zagrevanje zaposlenih ne sme da bude manja od 15°C.

Zaposleni sa invaliditetom

Radna mesta moraju da budu organizovana tako da se uzme u obzir pristupačnost radnog mesta (vrata, prolazi, stepeništa, pomoćne prostorije i dr.) zaposlenima sa invaliditetom.

Radna mesta u objektima namenjenim za rad na otvorenom ili na otvorenom prostoru

Radna mesta, saobraćajne površine i drugi prostori ili instalacije koji se nalaze na otvorenom, a na kojima rade ili ih koriste zaposleni prilikom obavljanja svojih radnih aktivnosti moraju da budu organizovani na način da omoguće bezbedno kretanje lica i vozila. Prostor za rad na otvorenom mora biti osvetljen veštačkim osvetljenjem kada prirodno osvetljenje nije zadovoljavajuće.

Radna mesta na otvorenom prostoru moraju biti tako uređena da zaposleni koji rade na tim ranim mestima:

- budu zaštićeni od nepovoljnih vremenskih prilika i predmeta koji mogu pasti;
- nisu izloženi nivoima fizičkih, hemijskih, bioloških ili ostalih štetnosti koji su štetni po bezbednost i zdravlje;
- mogu brzo da napuste svoja radna mesta i da se sklone na bezbedno područje;
- imaju obezbeđenu prvu pomoć;
- ne mogu da se okliznu i padnu.

U neposrednoj blizini mesta gde se obavljaju tehnološki procesi na otvorenom prostoru ili vrši transport opasnih materija, postavljaju se slavine ili tuševi sa čistom, tekućom vodom.

Saobraćajne površine na otvorenom prostoru

Na saobraćajnim površinama na kojima se kreću vozila, obezbeđuju se:

- saobraćajni znaci i veze sa putevima u skladu sa propisima o bezbednosti saobraćaja;
- propisano osvetljenje za vreme rada noću i u uslovima smanjene vidljivosti; posebne površine za parkiranje putničkih i teretnih vozila;
- posebni znaci upozorenja, signali ili branici na mestima koja nemaju dovoljnu preglednost.

Širine saobraćajnih površina i rastojanja za slobodno kretanje vozila i tereta moraju biti jednake ili veće od odgovarajućih vrednosti navedenih u Tabeli 4.

Razvodi instalacija (električne energije, vodovoda, kanalizacije, gasova, para, komprimovanog vazduha i sl.) postavljaju se izvan saobraćajnih površina i drugih mesta gde postoji mogućnost njihovog mehaničkog oštećenja.

Saobraćajne površine i prolazi na otvorenom	Širine i rastojanja [m]
Širina jednosmerne saobraćajne površine	3,00
Širina dvosmerne saobraćajne površine	5,00
Horizontalno rastojanje između objekta i gabarita vozila mereno po širini	0,75
Vertikalno rastojanje između objekta i gabarita vozila mereno po visini	0,50
Širina prolaza sa svake strane bočnih ivica gabarita vozila	0,50
Visina prolaza više od visine gabarita vozila	0,50

PRAVILNIK O OPŠTIM MERAMA ZAŠTITE NA RADU OD OPASNOG DEJSTVA ELEKTRIČNE STRUJE U OBJEKTIMA NAMENJENIM ZA RAD, RADNIM PROSTORIJAMA I NA RADILIŠTIMA

(Objavljen u "Sl. Glasnikbr. 21/89)

OPŠTE



Električna energija je opasna prilikom prolaska kroz ljudsko telo zbog:

- toplotnog dejstva,
- uticaja na hemijski sastav krvi,
- uticaja na nervni sistem,
- poremećaja rada srca i
- poremećaja rada disajnih organa.



Svaka 2000-ta povreda na radu ima smrtni ishod

Svaka 150-ta saobraćajna nesreća ima smrtni ishod

Svaka 12-ta povreda usled delovanja električne struje ima smrtni ishod

Posledice delovanja zavise od:

- jačine struje
- trajanja njenog delovanja
- puta kroz telo



Slika 5.6 Posledice delovanja električne struje.

PRAVILNIK O OPŠTIM MERAMA ZAŠTITE NA RADU OD OPASNOG DEJSTVA ELEKTRIČNE STRUJE U OBJEKTIMA NAMENJENIM ZA RAD, RADNIM PROSTORIJAMA I NA RADILIŠTIMA

OPŠTE ODREDBE

Ovim pravilnikom utvrđuju se opšte mere zaštite na radu od opasnog dejstva električne struje:

- u objektima namenjenim za rad, radnim prostorijama i na radilištima.
- i pri obavljanju radova na električnim postrojenjima,.

Mere zaštite na radu propisane obezbeđuju se i primenjuju kod:

- projektovanja,
- izgradnje,
- rekonstrukcije i
- korišćenja investicionih objekata i sredstava rada.

KLASIFIKACIJA OPASNOSTI OD ELEKTRIČNE STRUJE I PODELA OBJEKATA NA ZONE OPASNOSTI

- Prema stepenu opasnosti od električne struje, a u cilju regulisanja bezopasnog pristupa u električna

postrojenja preko 1000V definišu se tri zone, i to:

- I zona -zona slobodnog kretanja**, odnosno zona u kojoj nisu potrebna posebna upozorenja i uputstva o ponašanju ni mere zaštite;
 - II zona -zona manipulacije i kontrole** -u koju spadaju električne pogonske prostorije i zatvorene električne pogonske prostorije;
 - III zona -zona opasnosti** je prostor oko delova pod naponom na udaljenosti manjoj od sigurnosnog razmaka
- **Organizacija odgovarajućim aktom utvrđuje zone.**

TEHNIČKE ZAŠTITNE MERE

Tehničke zaštitne mere obezbeđuju se:

- izborom i ugradnjom adekvatne opreme i materijala, i
- uz primenu drugih zaštitnih mera na osnovu prethodno izvršene klasifikacije prostorija i prostora

Tehničke mere se sprovode radi zaštite od:

- električnog udara,
- požara koji prouzrokuje električna energija,
- prekomerne struje,
- kratkih spojeva,
- prenapona,
- nedostatka ili pada napona

ELEKTRIČNA POSTROJENJA

Pristup u električne pogonske prostorije i u zatvorene električne pogonske prostorije po pravilu nije dozvoljen neupućenim i neovlašćenim licima.



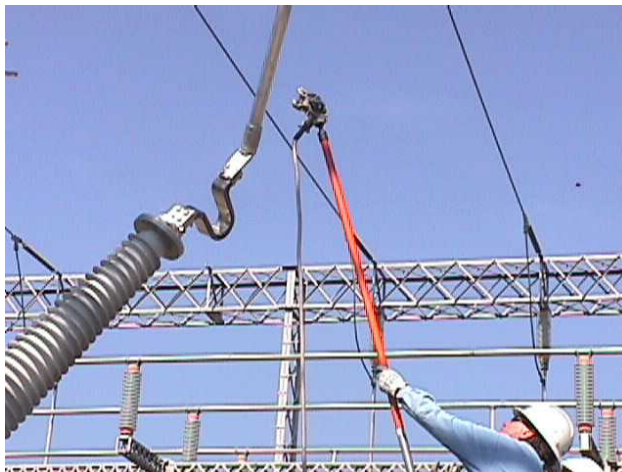
Slika 5.7 Slike elektroenergetskih postrojenja: a) razvodno postrojenje, b) montažno-betonska transformatorska stanica

Zabrana se ističe na ulaznim vratima. Na elektroenergetskim objektima i postrojenjima mogu raditi i druga lica, ali samo uz pratnju, odnosno nadzor ovlašćenog radnika.

Osnovna pravila bezbednog rada pri rukovanju električnim postrojenjima napona preko 1000V

Opsluživanje

- **Vrata prostorija** elektropostrojenja moraju **stalno biti zaključana**.
- **Opsluživanje** postrojenja mogu vršiti **samo stručna lica**.
- **Pregled električnih postrojenja** vrši se **isključivo sa spoljne strane ograde**,
- **Kod manipulacije** rasklopnim aparatima koje se vrše pomoću ručnih pogona ili izolacionih motki obavezna je upotreba zaštitnog šlema i elektroizolacionih rukavica.
- **Zamena visokonaponskih osigurača** može se vršiti **samo u neopterećenom strujnom kolu**, a zamena osigurača pod naponom vrši se uz primenu izolacionih klešta i ostalih zaštitnih sredstava.



Slika 5.8 Rad u razvodnom postrojenju.

Radovi

- Radovi u električnim postrojenjima s obzirom na zaštitne mere, dele se na tri kategorije:
 - a) radovi u **beznaponskom stanju**;
 - b) radovi u **blizini napona**; i
 - v) radovi **pod naponom**.
- Pri radu u električnim postrojenjima nije dozvoljena upotreba neispravnih izolacionih sredstava.
- Elektro-radovi **na otvorenom prostoru ne mogu se obavljati**:-pri nevremenu praćenom atmosferskim pražnjenjem;-pri vetru iznad 60 km/h, ako se radovi obavljaju na visini iznad 3 m;-kod temperature ispod -18°C i iznad $+35^{\circ}\text{C}$ hladu;

Mere za bezbedan rad u beznaponskom stanju

- Pre početka radova u beznaponskom stanju mesto rada obezbeđuje se primenom zaštitnih mera prema sledećem redosledu:a) prekidač se isključuje;b) sprečava se slučajno ponovno uključivanje prekidača;v) na odgovarajući način **utvrđuje beznaponsko stanje**;g) izvrši **uzemljivanje i** kratka spajanja;d) **ograda**je mesto rada od delova pod naponom.

Utvrđivanje beznaponskog stanja na jednosistemskim nadzemnim vodovima može se izvršiti i prebacivanjem tankog provodnika sa nabacivačkom puškom preko faznih provodnika.

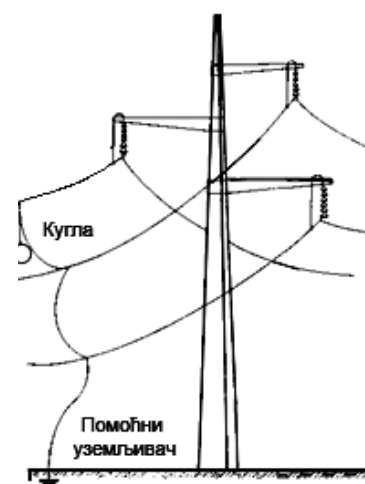
Mere za bezbedan rad u blizini napona

- Pri radovima koji se izvode u blizini napona susedni delovi pod naponom osiguravaju se od slučajnog neposrednog ili posrednog dodira, pomoću dovoljno čvrstih i pouzdano postavljenih **izolacionih zaštitnih pregrada**, ploča, **prekidača** i drugih zaštitnih sredstava.

- Kod nazivnih napona iznad 1000V najmanji **sigurnosti razmak** između **delova pod naponom** i izolacione zaštitne pregrade supropisani:

Mere za bezbedan rad pod naponom

Radovi na delovima objekata koji su pod naponom **mogu se izvoditi ako**:-za **izabran sistem rada pod naponom** i radni postupak utvrđen i proveren;-postoje **pisana uputstva** za svaku vrstu rada;-postoji odgovarajući **izolacioni alat**, pomoćna sredstva, **zaštitna oprema**, odnosno **lična zaštitna sredstva** za svaku vrstu rada u skladu sa izabranim sistemom rada pod naponom;-**radnik** ispunjava **posebne psihofizičke sposobnosti** za ovaj rad, ako je



Slika 5.9 Uzemljenje faznih provodnika

obučen i ako **je izvršena provera njegovog znanja** za određene vrste radova pod naponom; i-je **radnik** na periodičnim proverama **pokazao zadovoljavajuće rezultate** u pogledu obučenosti za određenu vrstu rada i psihofizičke sposobnosti.

Organizacione mere za bezbedanrad

•Rad na objektima **organizuje se** tako da se omogući najveća moguća **bezbednost radnika**. Za objekte moraju postojati **detaljna uputstva o manipulaciji, radu i sigurnosti pri opsluživanju i održavanju postrojenja**. Vršenje nadzora, organizacije rada i neposrednih tehničkih radova, kao i izdavanje dokumenata za rad mogu obavljati **samo lica koja imaju potrebne stručne kvalifikacije i ovlašćenja** prema odgovarajućim internim aktima organizacije.

•**Sve radove** u visokonaponskim objektima uključujući i osiguranje mesta rada uz povećane opasnosti, osim manipulacija i vizuelnih pregleda objekata, moraju vršiti **najmanje dva lica**. Ako rad izvodi više radnika, jedan od njih određuje se za rukovodioca radova.

Opsluživanje

- Sve radove u niskonaponskim objektima vrše **najmanje dva radnika....**
- Pregled niskonaponskih postrojenja, pojedinačno može vršiti: -ovlašćeno stručno lice; -stručno lice ili lice koje rukuje električnim postrojenjem.
- Ključevi od postrojenja, električnih ormara, uređaja za pokretanje, upravljačkih pultova i drugih uređaja i elemenata, koji moraju biti obezbeđeni, a čiji se način obezbeđenja, izdavanja i vraćanja uređuje internim aktom, mogu lično imati i lica koja rukuju električnim postrojenjima i ona se sa njima zadužuju.
- Zamena topljivih umetaka osigurača obavlja se u beznaponskom stanju.

Mere za bezbedan rad u beznaponskom stanju

Pri radovima u beznaponskom stanju u objektu moraju se sprovesti po niže navedenom redosledu sledeće mere:

- a) **izvršiti neophodna isključenja**; b) preduzeti mere koje bi sprečile pojavu napona **usled slučajnog uključenja**; v) **proveriti odsustvo napona** na delovima elektropostrojenja na kojima se obavljaju radovi; g) **izvesti uzemljivanje i kratko spajanje pomoću prenosnih uzemljivača** svih provodnika koji su pod naponom u normalnom pogonu, uključujući i neutralni provodnik; d) **izvršiti ograđivanje mesta rada i delova pod naponom i istaći upozorenje** da se izvode radovi.

Mere za bezbedan rad u blizini delova pod naponom

- Pri radovima koji se izvode u blizini napona susedni delovi pod naponom osiguravaju se od slučajnog neposrednog dodira radnika sa delovima pod naponom, pomoću dovoljno čvrstih i pouzdano postavljenih izolacionih zaštitnih pregrada, ...

Mere za bezbedan rad pod naponom

- Ako je napon do 50V -dovoljan je rad pod naponom uz primenu kožnih zaštitnih rukavica i izolovanog električnog alata.

Organizacione mere za bezbedan rad

- Radovi u električnom postrojenju napona do 1000V vrše se po nalogu ovlašćenog stručnog lica.

Mere za sprečavanje povreda od dejstva električne struje indukovano napona

Pri izvođenju radova na nadzemnim elektroenergetskim vodovima u blizini drugih vodova pod naponom, (isključujući napajanje, ...), preduzimaju se i sledeće mere zaštite: -pri **obučavanju radnika** koji

će raditi na nadzemnim vodovima posebno se ukazuje na **opasnost od pojave indukovanog napona** i na preventivne mere za sprečavanje povrede od udara električne struje indukovanog napona; **-zabraniti postavljanje uzemljivača**, naprave za uzemljivanje i kratko **spajanje u nasute gomile zemlje**; -prilikom postavljanja, odnosno skidanja naprava za uzemljivanje i kratko spajanje upotrebom izolacione motke sa užadima, radnik se ne sme nalaziti na rastojanju od voda kraćem od dužine izolacionog dela motke; -pri dodavanju alata sa zemlje i drugih naprava monteru koji se nalazi na stubu nadzemnog voda ili na dizalici, koristiti izolaciono uže;...

Zaštitna sredstva za rad u električnim postrojenjima

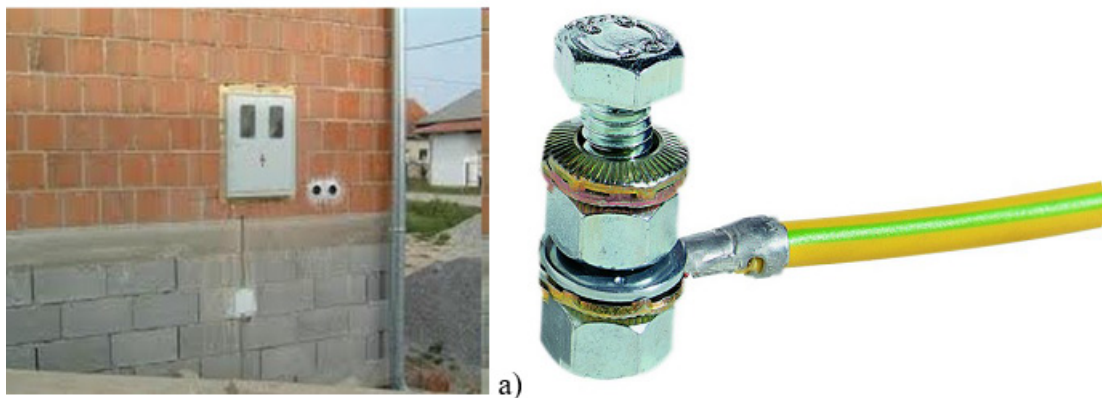
- a) izolacione motke, klešta.....;
- b) izolaciona sredstva za radove pod naponom i elektro-monsterski alat sa izolacionim ručicama -držačima;v) elektro-izolacione rukavice, elektro-izolaciona obuća, izolacione prostirke i prekrivači i izolaciona postolja;g) prenosne naprave za uzemljivanje;d) sredstva za ograđivanje i izolovanje od delova pod naponom i oznake upozorenja;d) zaštitne naočare, kožne rukavice, gas maske, sigurnosni pojas, osiguravajuća užad i zaštitni šlem i druga odgovarajuća zaštitna sredstva.



Slika 5.10 Alat i zaštitna sredstva za rad u električnim postrojenjima.

Uzemljivanje i kratko spajanje

Uzemljivanje i kratko spajanje vrši se zemljospojnikom ili prenosnom napravom za uzemljivanje i kratko spajanje. Presek užeta prenosnih naprava za uzemljivanje i kratko spajanje, koje je izrađeno od tankih bakarnih žica i čije su stezaljke takvih dimenzija da mogu da izdrže očekivana termička i dinamička napreza nja struje kratkog spoja, vrši se prema sledećoj tabeli:



Slika 5.11 Uzemljenje: a) povezivanje mernog ormana uzemljivačkom trakom na uzemljivač, b) kontaktni spoj provodnika za uzemljenje.

RADNE PROSTORIJE I RADILIŠTA

Stalne električne instalacije

- Stalne električne instalacije u radnim prostorijama izvode se na osnovu klasifikacije radne prostorije, odnosno prostora u skladu sa članom 5. (Klasifikacija spoljašnjih uticaja) ovog pravilnika i odgovarajućim tehničkim propisima koji regulišu ovu oblast.
- Na svim električnim instalacijama, uređajima i napravama, u svim radnim prostorijama i drugim prostorijama primenjuju se odgovarajuće mere zaštite od električnog udara u skladu sa odgovarajućim standardima,
- U cilju zaštite od eksplozije u radnim prostorijama i drugim prostorijama, izvodi se gromobranska zaštita radi sprečavanja eksplozija, odnosno požara i udara električne struje usled pražnjenja atmosferskog elektriciteta, u skladu sa strožim uslovima koji su propisani za zaštitu od udara groma.

Privremene električne instalacije

- Električna instalacija na radilištima treba da bude tako izvedena da se **sa jednog mesta mogu isključiti** svi provodnici pod naponom.
- Svi montažni i remontni **radovi** na električnim mrežama i postrojenjima moraju se vršiti **pri isključenom naponu**.
- Zamena sijalica po pravilu se obavlja u beznaponskom stanju.
- Zabranjeno je priključivanje električnih prijemnika na električnu mrežu **uvijanjem krajeva** provodnika ili na drugi improvizovani način.
- **Radnici** koji rukuju električnim instalacijama i električnim postrojenjima na radilištima moraju prilikom rada **da koriste** izolacione **rukavice, kožne rukavice, izolacionu obuću, alat sa izolacionim ručicama i druga odgovarajuća zaštitna sredstva**.



Slika 5.12 Zaštitne rukavice i čizme, izolovani pribor za rad

PRENOSNI ALAT, PRENOSNE ELEKTRIČNE SVETILJKE I ZAŠTITNI TRANSFORMATORI

- Na otvorenom prostoru može se obavljati rad samo sa prenosnim alatima klase II ili III.
- Priključivanje prenosnog alata na električnu instalaciju može se vršiti samo pomoću kvalitetno izolovanih provodnika.
- Kabel prenosnog alata mora biti zaštićen od oštećenja.
- Uključivanje i isključivanje prenosnog alata iz priključnice vrši se pri isključenom položaju
- Pri svakom udaljavanju sa mesta rada i prekidu (nestanku) napona za vreme rada sa prenosnim alatom, alat se mora isključiti iz električne instalacije.
- Kada se ne koristi, prenosni alat mora da se čuva u prostorijama bez vlage.
- Organizacija uređuje način i učestalost provera alata
- Radnik koji izdaje prenosni alat i koji ga koristi obavezno se moraju osvedočiti u ispravnost alata, Izdavanje neispravnog prenosnog alata nije dozvoljeno.
- Ako za vreme rada primeti **neispravnost** prenosnog alata, **radnik odmah prekida rad** i vraća neispravan alat na proveru i popravku.

ISPITIVANJE, NADZOR I KONTROLA

U cilju primene, odnosno obezbeđenja uslova, za primenu mera zaštite na radu utvrđenih ovim pravilnikom, organizacije vrše:

- sistematsku **kontrolu** ispravnosti,
- održavanje** električnih postrojenja i instalacija i
- preglede i ispitivanja** zaštitnih sredstava u rokovima predviđenim aktom organizacije.
- Pregled i ispitivanje stanja primenjenih mera zaštite od električnog udara, vrši se: **-pre puštanja** u pogon postrojenja, instalacija i oruđa za rad; **-nakon rekonstrukcija; -periodično** u rokovima propisanim aktom organizacije.

Da se podsetimo!

1. Osnovna pravila bezbednog rada pri rukovanju električnim postrojenjima, napona preko 1000V (opsluživanje postrojenja)
2. Osnovna pravila bezbednog rada pri rukovanju električnim postrojenjima, napona preko 1000V – izvođenje radova –mere za bezbedan rad u beznaponskom stanju
3. Osnovna pravila bezbednog rada pri rukovanju električnim postrojenjima, napona preko 1000V (izvođenje radova) mere za bezbedan rad pod naponom
4. Organizacione mere bezbednosti od opasnog dejstva električne struje
5. Osnovna pravila bezbednog rada pri rukovanju električnim postrojenjima, napona do 1000V (opsluživanje postrojenja)

Opšte mere za bezbednost i zdravlje na radu pri radovima na visini

Pod radom na visini, u smislu propisa o bezbednosti i zdravlju na radu, podrazumeva se svaki rad kod koga je radna platforma, patos ili oslonac na kome zaposleni stoji, dok obavlja radne zadatke, **na visini od dva i više metara** mereno od stopala zaposlenog do čvrste podloge, gde postoji najmanje jedna ivica radne platforme, patosa ili oslonca, na kome zaposleni stoji ili se kreće dok obavlja radne zadatke, **da nije zaštićen od pada u okolni prostor**.

Pri radu na visini zaposleni mora da koristi sredstva za ličnu zaštitu na radu, ili kolektivna sredstva zaštite da bi se obezbedio od pada sa visine.

Da bi obavljao radne zadatke na visini zaposleni treba da ispunjava uslove propisane Zakonom i podzakonskim aktima, **a to su:**

- **zdravstvene sposobnost**, koju proverava služba medicine rada na prethodnom (periodičnom) pregledu, najmanje jedanput godišnje;
- **praktično i teoretski osposobljen** za bezbedan rad, odnosno upotrebu SLZ.

Rad na visini može se obavljati samo uz upotrebu zaštitne opreme za rad na visini (zaštitni pojas za celo telo sa prihvatnim užetom i zaštitni šlem).



Slika 5.13. Oprema za rad na visini

Radnik ne sme da otpočne rad, niti da radi na visini, odnosno da radi na ovim radnim mestima ako je umoran, neispavan, psihički rastrojen, pod dejstvom sedativnih ili alkoholnih sredstava i drugih opojnih sredstava

Radove na visini, odnosno radove na ovim radnim mestima može izvoditi samo radnik za koga je na propisanom prethodnom, odnosno periodičnom lekarskom pregledu utvrđena zdravstvena sposobnost za obavljanje radova na visini..

Radovi na visini izvode se na osnovu dokumentacije o organizaciji i tehnologiji izvođenja sa preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad, koju obezbeđuje izvođač radova.

Rad na visini može se obavljati samo uz neposredan i stalni nadzor poslovođe i/ili odgovornog izvođača radova – upravnika gradnje, kao i uz neprekidnu zaštitu od pada sa visine (korišćenjem dva sigurnosna uža naizmenično).

Upotreba pojasa za zaštitu od pada celog tela je **OBAVEZNA** kada zaposleni radi na nezaštićenoj visini preko 2m i kada se u procesu rada preko zaštitne ograde nagnje preko labilne ravnoteže.

Postojanje zaštitne ograde je, takođe, obavezno i na radnim platformama i drugim pomoćnim osloncima kada postoji opasnost od pada sa visine veće od 1m, odnosno u dubinu veću od 1m.

Za vreme rada na visini radnik mora da se pridržava sledećeg:

- **uvek da je vezan zaštitnim opasačem**, po mogućnosti iznad svoje glave, za mesto čiju sigurnost proverava pre nego što zakorači na novi oslonac;
 - na novi oslonac zakoraćuje i oslanja se tek pošto je proverio njegovu sigurnost;
 - ne opterećuje svoj novi privremeni oslonac dodatnim opterećenjem (materijal, alat i sl.), ako nije siguran da oslonac može da izdrži dodatno opterećenje;
 - ne koristi istovremeno sa drugim radnikom privremeni oslonac;
 - priručni alat i ostali pribor neophodan za obavljanje rada ostavlja na dohvat ruku na mestima sa kojih neće da padne ili ga po potrebi veže;
- **ne saginje se do položaja labilne ravnoteže tela ili labilne ravnoteže tela sa predmetom koji drži u rukama ili nosi na sebi;**
 - prevezivanje prihvatnog konopca zaštitnog opasača sa jednog mesta na drugo obavlja u položaju u kome je čvrsto oslonjen na proverene i sigurne oslonce ili, koristi drugi prihvatni konopac koji je vezan njime za siguran oslonac **(neprekidna - naizmenična zaštita vezivanjem sa najmanje jednim konopcem);**
 - ne iskoraćuje iznad praznog prostora i ne čini nagle pokrete;
 - kad se montažni elemenat približava, stalno ga prati pogledom i uklanja se sa njegove eventualne produžne putanje;
 - ako nije moguće izvesti radnu operaciju na način ili po redosledu koji je propisan projektom montaže ili po dogovoru sa rukovodiocem montaže, radnik ne nastavlja rad, već zauzevši siguran položaj čeka i prima nova uputstva od odgovornog radnika po kojima nastavlja dalji rad.
 - pre upotrebe ovazna je provera ispravnosti sredstava i opreme za zaustavljanje i sprečavanje pada sa visine **(zabranjena je upotreba neispravne opreme).**

U delu kruga gradilišta u kome se vrši montaža elemenata, odnosno u opasnom području, prestaju druge aktivnosti i sprečava se kretanje motornih vozila ili plovila sve dok se elemenat ne postavi na mesto po projektu montaže, učvrsti i radnici ne napuste mesta rada i kretanja na visini.

Obezbeđenje područja u kome može doći do pada predmeta vrši se tako da su svi prilazi zoni montaže zatvoreni za radnike i ostala lica koja ne učestvuju u montaži i da u ugroženoj zoni nema prisutnih lica, odnosno da se radnici koji učestvuju u montaži udalje na bezbedno rastojanje;

Po završenom postavljanju montažnog elementa na mesto određeno projektom montaže, elemenat mora da se obezbedi od pomeranja ili prevrtanja, u skladu sa detaljima iz projekta montaže.

Kad se montažni radovi izvode iznad vode, za vreme rada radnika postavlja se nizvodno od mesta rada spasilački čamac sa spasiocem obučenim za spasavanje davljenika i ukazivanje prve pomoći.

Spasilački čamac treba da bude snabdeven opremom za spasavanje davljenika i opremom za ukazivanje prve pomoći.

Radne platforme koje se koriste za izvođenje radova na gradilištu se izrađuju tako:

- da se platforme na podlogu mogu oslanjati preko metalnih ili drvenih nogara, tako da i jedni i drugi moraju da budu stabilni i sposobni da prenesu sile opterećenja sa radnog poda na čvrstu podlogu;
- da visina radnog poda radne platforme u odnosu na čvrstu podlogu bude na visini najviše do 1 m, ako nema propisanu zaštitnu ogradu za sprečavanje pada;
- da se radni pod postavlja tako na elemente za oslanjanje da se za vreme rada i kretanja ne mogu pomerati;
- da radni pod ne sme da ima preko oslonca prepuštene slobodne krajeve, jer je izrada radnog poda od dasaka prepuštenih preko oslonaca sa slobodnim krajem zabranjena;
- da prilaz radnom podu platforme mora da bude izveden na propisan način i obezbedi sigurno stupanje radnika na pod;
- da širina radnog poda, pošto je isti namenjen za prolaz i kretanje radnika pri radu i za deponovanje materijala, bude takva da se za prolaz i rad radnika obezbedi prostor širine najmanje 60cm;
- da daske radnog poda moraju da budu priljubljene jedna uz drugu po celoj širini radnog poda i međusobno obezbeđene od razmicanja;
- da pošto se radni pod izrađuje od drvenih dasaka debljine od 5 cm, oslonci poda ne smeju biti na rastojanju većem od 2 m;
- da ivica radnog poda ne sme da bude udaljena od objekta (zida koji se zida) više od 20cm;
- da se po svim ostalim slobodnim ivicama radnog poda postavlja propisana zaštitna oграда, ukoliko je visina radne platforme preko 1m;
- da se, kad su daske poda postavljene jedna preko druge na čeonim stranama gornjih dasaka postavlja poprečna trouglasta letva;
- **da se zaštitna oграда na radnoj platformi izrađuje tako da visina zaštitne ograde od radnog poda do gornje ivice rukohvata ne sme biti manja od 100 cm**, i da se ispuna ograde postavlja sa unutrašnje strane stubova, da se u ispuni ograde jedna dimenzija čistog otvora ne sme da bude veća od 35cm i tako da se krajevi ispune ne smeju imati slobodne krajeve.

Za pristup određenim radnim površinama (osloncima) u višim delovima objekta koriste se drvene i aluminijumske jednokrake lestve

Za pristup radnim površinama zabranjena je upotreba dvokrakih merdevina.



6. USLOVI INSTALACIJE



Kao osnovni korak u radu na postavljanju fotonaponskih elektrana neophodno je upoznati se sa odgovarajućom zakonskom regulativom:

Zakon o planiranju i izgradnji („Sl. glasnik RS“, broj 72/09, 81/09, 52/21),

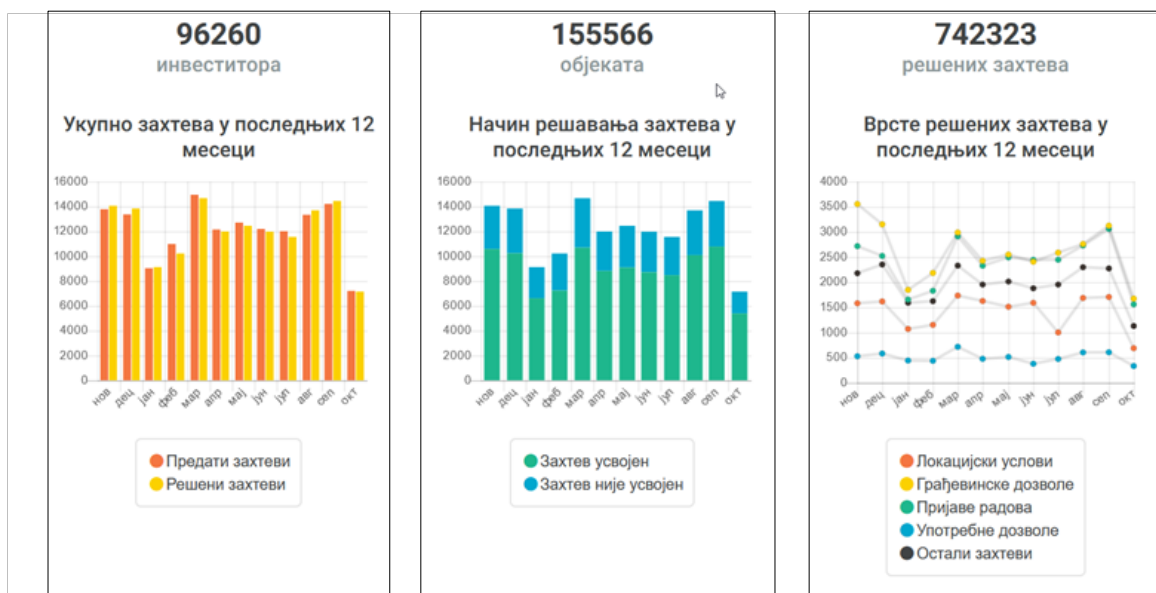
Zakon o zaštiti životne sredine („Sl. glasnik RS“, broj 135/04 i 36/09),

Zakon o zaštiti od požara („Sl. glasnik RS“, broj 111/09, 20/15, 87/18),

Pravilnik o posebnoj vrsti objekata i posebnoj vrsti radova za koje nije potrebno pribavljati akt nadležnog organa, kao i vrsti objekata koji se grade, odnosno vrsti radova koji se izvode, na osnovu rešenja o odobrenju za izvođenje radova, kao i obimu i sadržaju i kontroli tehničke dokumentacije koja se prilaže uz zahtev i postupku koji nadležni organ sprovodi („Službeni glasnik RS2“, broj 102 od 24. jula 2020, 16 od 26. februara 2021, 87 od 10. septembra 2021),

Pravilnik o sadržini, načinu i postupku izrade i načinu vršenja kontrole tehničke dokumentacije prema klasi i nameni objekata („Sl. glasnik RS“, broj 73/2019)

Na sledećoj slici prikazana je odgovarajuća statistika u pokledu izgradnje fotonaponskih sistema.



Slika 1.1 Neki od osnovnih pokazatelja dinamike rešavanja zahteva.

Mesto instalacije objekta postrojenja i radno okruženje

Jedan od osnovnih koraka u rocesu izgradnje jedne fotonaponske elektrane jeste izbor mesta i lokacije objekta. Ovo mesto mora biti pažljivo odabrano kako bi izgradnja fotonaponske elektrane bija ekonomski opravdana.

Zato je neopodno uraditi neke od ključnih koraka:

- 1) izraditi detaljnu tehnioekonomsku analizu opravdanosti investicionog ulaganja,
- 2) pažljivo analizirati odabranu lokaciju uvažavajuće neophodne tehničke parametre,
- 3) uvažiti neposredno okruženje lokacije, uticaj susednih objekata (i nekih budućih) na poziciju fotonaponske elektrane.

Planiranje i dimenzionisanje fotonaponske elektrane podrazumeva i sledeće korake:

- 1) Procenu energije sunčevog zračenja,
- 2) Maksimiziranje profitabilnosti postrojenja tokom projektovanja,
- 3) Izbor i usaglašavanje komponenti,
- 4) Proračun fotonaponskog postrojenja i

5) Definisane električne šeme.

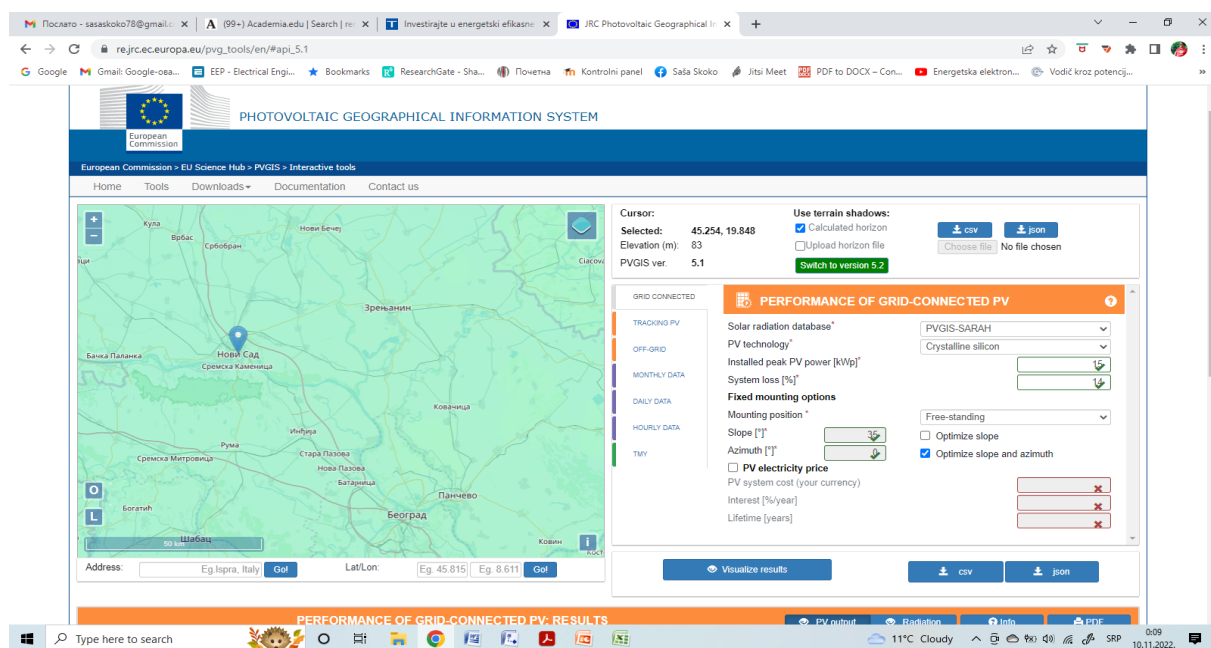
U navedenom procesu od velike je važnosti i niz softverskih rešenja i platformi koje su od izuzetne pomoći u ovom poslu. Na ovom mestu navodimo dva najznačajnija:

- 1) PVGIS
- 2) PVsyst

Na sledećoj slici 1.2 prikazan je prozor platforme PVGIS, a na slici 1.3 prikazani su podaci za lokaciju Novi Sad.

Da bi se došlo do konačnog tehničkog rešenja neophodno je naći kompromisno rešenje uvažavajući sledeće aspekte:

- 1) Želja kupca u pogledu **LOKACIJE**, **SNAGE** elektrane, koncepcije FN sistema, načina instalacije,
- 2) korišćenih komponenti,
- 3) Upotrebljivost krova, fasade, zemljišta...,
- 4) Orjentacija i nagibni ugao krova, hrapavost (valovitost) terena,
- 5) Senčenje na lokaciji FN panela,
- 6) Mogućnost instalacije raznih komponenti sistema,
- 7) Dužina kablova, trasa i način kabliranja,
- 8) Prepreke u smislu izvođenja radova, pristupačnost prilikom instalacije FN panela.



Slika 1.2 Izgled prozora platforme PVGIS



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

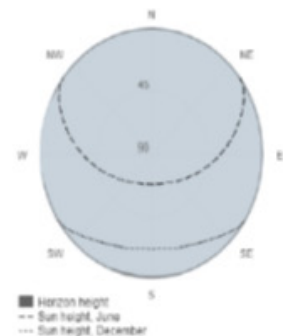
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 45.254, 19.848
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 15 kWp
 System loss: 14 %

Simulation outputs

Slope angle: 36 (opt) °
 Azimuth angle: -1 (opt) °
 Yearly PV energy production: 18369.7 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1556.15 kWh/m²
 Year-to-year variability: 775.81 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -2.82 %
 Spectral effects: 1.24 %
 Temperature and low irradiance: -6.99 %
 Total loss: -21.3 %

Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	787.6	61.2	151.8
February	867.6	68.3	206.6
March	1553.2	125.7	283.1
April	1831.5	154.6	259.4
May	1977.0	170.8	147.2
June	2010.9	177.1	154.1
July	2230.9	199.0	165.7
August	2139.3	189.8	244.1
September	1727.9	148.4	248.4
October	1461.2	120.5	225.9
November	1086.9	86.1	144.1
December	695.9	54.5	187.8

E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].

H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].

SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimize disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or attributed to files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/multilingual-online_en

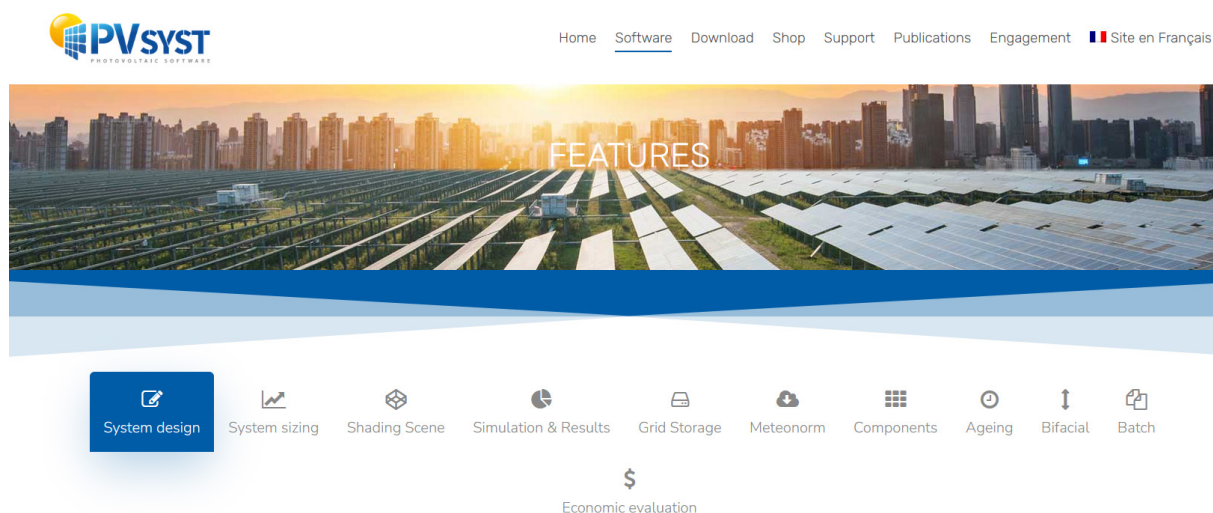
Joint
Research
Centre

PVGIS ©European Union, 2001-2022.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/11/10

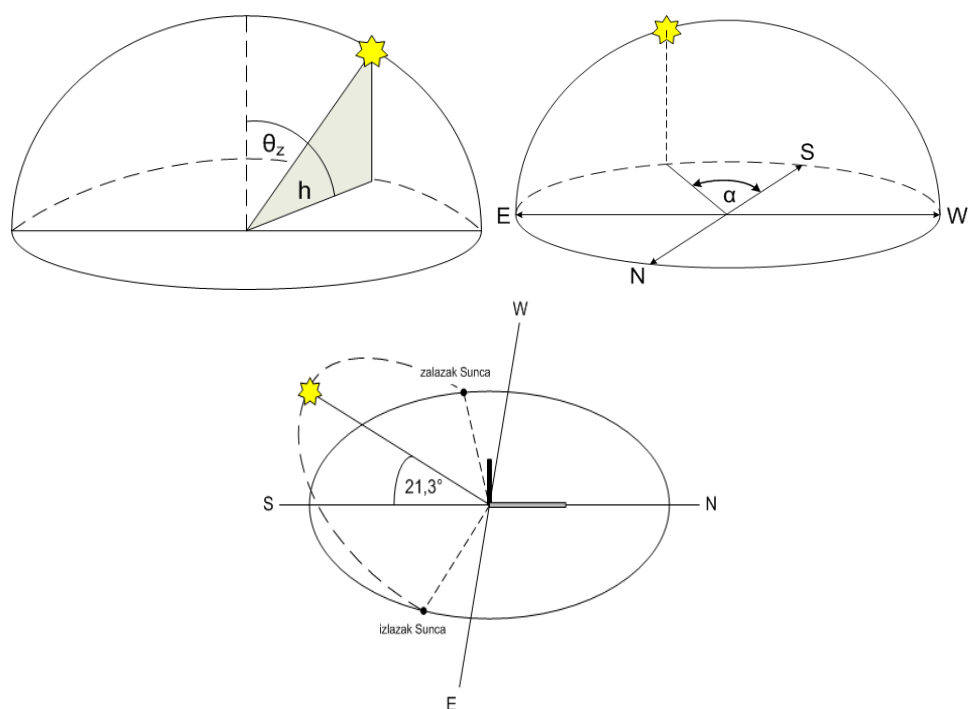
Slika 1.3 Izgled izveštaja koji PVGIS generiše za izabranu lokaciju.



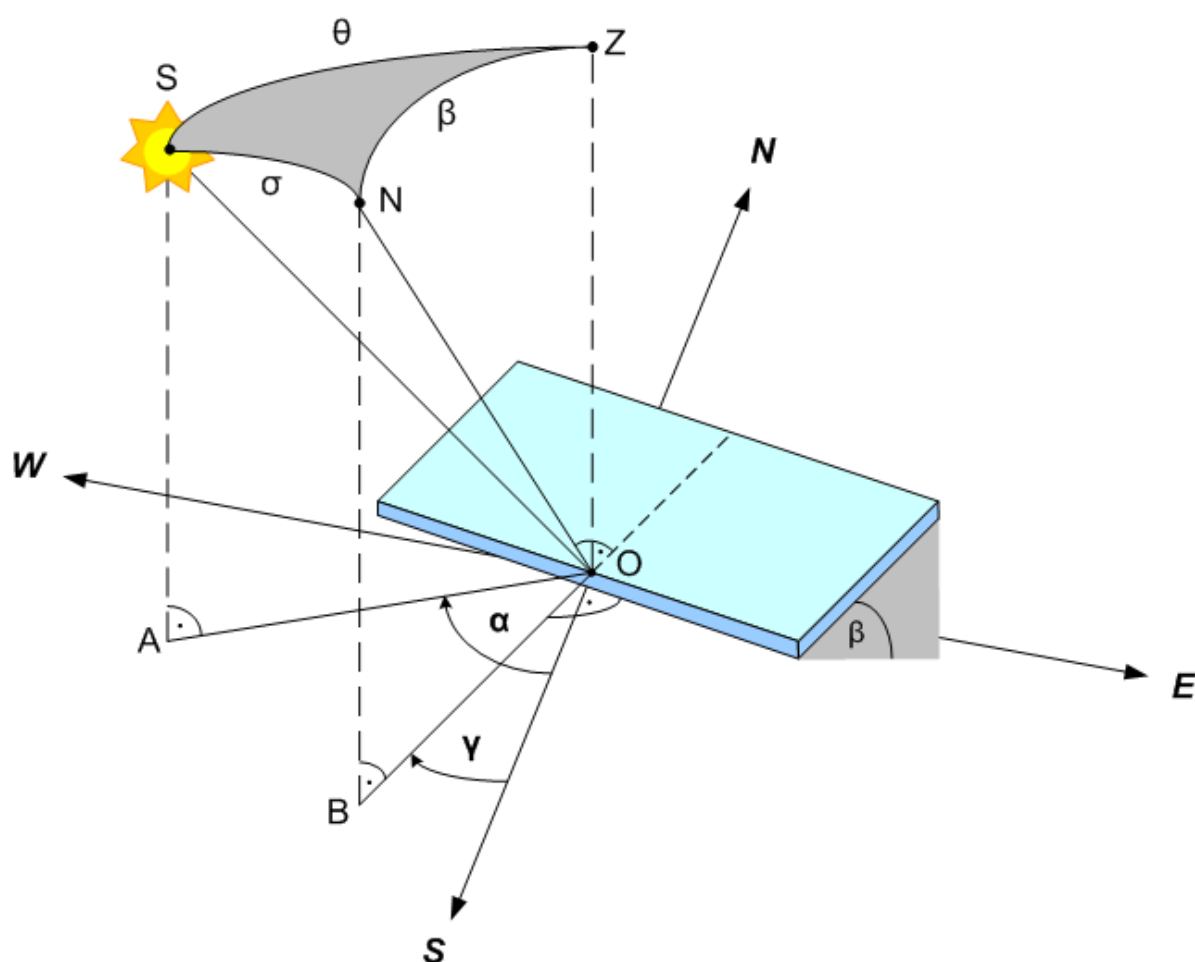
Slika 1.4 Primer prozora softverske platforme PVsyst.

Site	Bezdan (Serbia)					
Data source	Bezdan_MN72.SIT -- Meteonorm 7.2 (1994-2010), Sat=100%					
	Horizontal global irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Linke Turbidity	Relative Humidity
	kWh/m ² .mth	kWh/m ² .mth	°C	m/s	[-]	%
January	34.9	22.0	0.4	2.21	2.661	79.6
February	53.1	26.8	2.3	2.49	2.811	73.5
March	93.0	47.2	7.0	2.80	3.161	66.3
April	136.8	62.8	12.2	2.59	3.292	61.1
May	174.0	76.5	17.9	2.19	3.227	58.8
June	180.0	81.8	20.6	2.09	3.538	62.2
July	194.8	78.3	22.7	2.10	3.355	58.4
August	162.8	72.7	22.3	1.80	3.355	59.9
September	112.3	52.9	16.3	1.80	3.292	66.5
October	75.9	35.7	12.3	2.00	3.094	71.8
November	41.7	26.3	6.5	2.30	2.811	78.8
December	28.2	17.6	1.3	2.30	2.661	81.8
Year	1287.5	600.6	11.8	2.2	3.105	68.2
Horizontal global irradiation year-to-year variability 5.2%						

Slika 1.5 Primer podataka koje generiše PVsyst za odabranu lokaciju.



Slika 1.6 Osnovni parametri solarne geometrije.



Slika 1.7 Izbor pozicije ugla nagiba-PVGIS preporučuje optimalni ugao i azimut.



7. MEHANIČKA INSTALACIJA



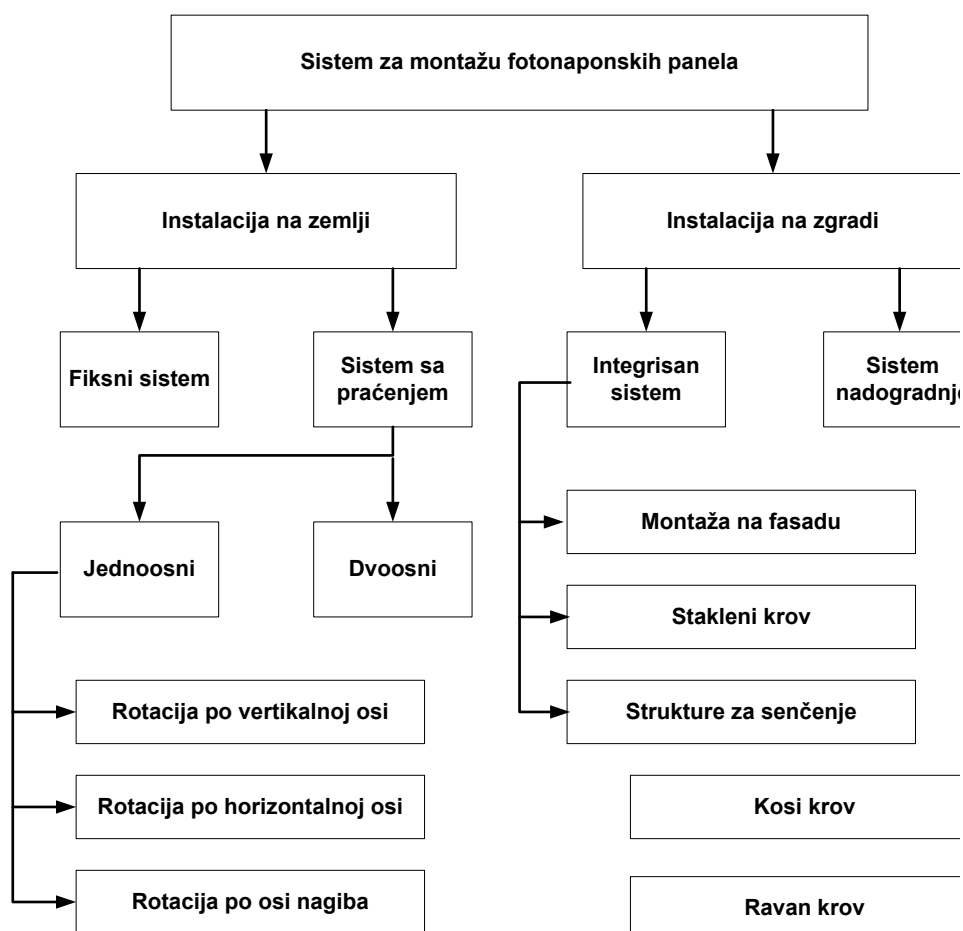
Noseća konstrukcija FN panela

Noseća konstrukcija fotonaponskih panela je veoma značajan deo fotonaponskog sistema sa više aspekata od koji se izdvajaju:

- 1) mehanička stabilnost,
- 2) mehanička izdržljivost,
- 3) pouzdanost u eksploatacionim uslovima,
- 4) otpornost na mehanička oštećenja i vremenske nepogode,
- 5) inovativnost.

Podela noseće konstrukcije

Slika 1.1 prikazuje podelu noseće konstrukcije FN panela sa stanovišta mesta montaže, vrste noseće konstrukcije i načina montaže.



Slika 1.1 Podela načina postavljanja sistema za montažu FN panela [6]

Elektrane koje se instaliraju na zemlji mogu biti sa fiksnom nosećom konstrukcijom i konstrukcijom koji prati položaj Sunca, takozvani rotatorski sistemi. Postoji nekoliko vrsta rotatorskih sistema. Na našem podneblju jedino je rotatorski sistem sa horizontalnom osom rotacije isplativ.

Instalacija FN panela na zgradama se izvodi najčešće na krovovima. Ređe je postavljanje FN panela na drugim delovima zgrada, kao što su nadstršnice, fasade, prozori.

Način instalacije na krovovima zavisi od nagibnog ugla krova, kao i od tipa krovne pokrivke.

Najčešći tip krovne pokrivke porodične kuće je crep, sa nagibnim uglom krovne konstrukcije između 20° i 50° . Na slici 1.2 je prikazan izgled noseće konstrukcije namenjen za crepnu krovnu pokrivku.



Slika 1.2 Elementi noseće konstrukcije na kosom krovu sa crepom

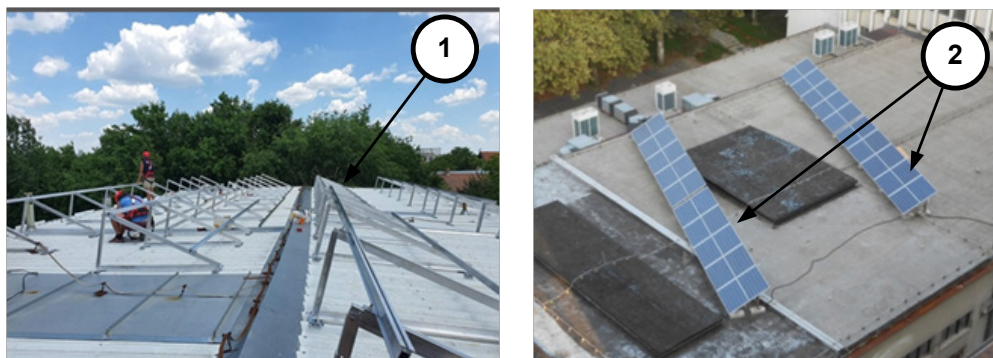
Privredni objekti senajčešće pokrivaju trapezastim limom ili panel pločama. Ovi krovovi uobičajeno imaju mali nagibni ugao u opsegu 5° do 15° . Krov sa postavljenim FN panelima na privrednom objektu je prikazan na slici 1.3.



Slika 1.3 FN paneli na kosom krovu pokrivenim trapezastim limom

Ravni krovovi uglavnom pokrivaju velike proizvodne hale, tržne centre i zgrade za grupno stanovanje. Ovi krovovi su izrađeni najčešće od betona, pri čemu se gornji deo krova, koji je izložen različitim meteorološkim prilikama, dodatno pokriva hidroizolacijom.

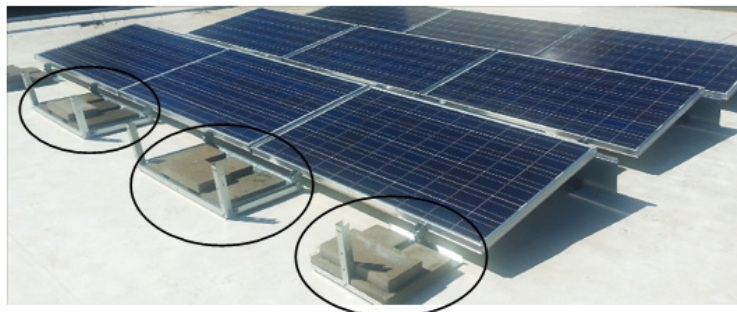
Slika 1.4 prikazuje izgled noseće konstrukcije na ravnom krovu Mašinskog instituta Fakulteta tehničkih nauka (FTN) i položaj noseće konstrukcije sa FN panelima na ravnom krovu nastavnog bloka FTN u Novom Sadu.



Slika 1.4 Noseća konstrukcija FN panela i FN paneli na ravnom krovu: 1- postavljanje noseće kostrukcije na ravan krov, 2- postavljeni fotonaponski paneli na noseću konstrukciju.

Kod kosih krovova njihova orijentacija i nagibni ugao definišu položaj FN panela, a samim tim i količinu proizvedene električne energije. Pričvršćenje noseće konstrukcije za krovnu pokrivku je relativno jednostavno i obezbeđena je vodonepropustljivost krova nakon intalacije FN panela.

Noseća konstrukcija namenjena za ravne krovove najčešće obezbeđuje nagib FN panela od 10° , mada se nalaze konstrukcije i sa većim nagibnim uglom. Orjentacija FN panela na ravnom krovu se prilagođava arhitekturi zgrade. Fiksiranje noseće konstrukcije na ravnom krovu je po pravilu pomoću betonskih utega. Konstrukcija za ravan krov sa nagibnim uglom od 10° , fiksirana betonskim utegama je prikazan na slici 1.5.



Slika 1.5 Noseća konstrukcija sa betonskim utegama

Elementi mehaničkih sistema nosećih konstrukcija fotonaponskih panela-ravan krov

Na sledećim slikama prikazani su sastavni delovi mehaničke konstrukcije nosača fotonaponskih sistema na ravnim krovovima.



Slika 1.6 Prikaz elemenata mehaničkog sistema na ravnom krovu.

Visoka i niska baza

Podrška za krov

Osnovni profil



Paneli širine do 1150mm

Pravilno izjednačavanje pritiska i zaštita krova

Različite dužine za više aplikacija

Slika 1.7 Prikaz mehaničkih elemenata sistema: visoka i niska baza, podrška za krov, osnovni profil.



Slika 1.8 Prikaz mehaničkih elemenata sistema: bočni deflektor vetra, zadnji deflektor vetra, kontejner za balast, stege i zavrtnji.



Slika 1.9 Prikaz mehaničkih elemenata sistema: produžena ploča, adapter za potporu krova.



Slika 1.10 Izgled mehaničkog sistema sa postavljenim fotonaponskim panelima na ravnom krovu.



Slika 1.10 Izgled mehaničkih nosača koji su postavljeni na ravan krov objekta.



Slika 1.11 Izgled sistema sa postavljenim fotonaponskim panelima na mehaničke nosače.

Elementi mehaničkih sistema nosećih konstrukcija fotonaponskih panela-kosi krov sa crepom



Slika 1.12 Prikaz mehaničkih elemenata sistema: krovnna kuka, montažna šina, univerzalna stezaljka, poklopac šine.



Slika 1.13 Prikaz mehaničkih elemenata sistema: okvir za kabl, odstojnik za krovnnu kuku, spojnica, pomoćni set.

Elementi mehaničkih sistema nosećih konstrukcija fotonaponskih panela-kosi valoviti krov



Slika 1.14 Prikaz mehaničkih elemenata sistema: nosač, šina, stezaljka modula, poklopac šine.



Slika 1.15 Prikaz mehaničkih elemenata sistema: veza za kabl, spojnica, nosač kratkih stezaljki, poklopac.

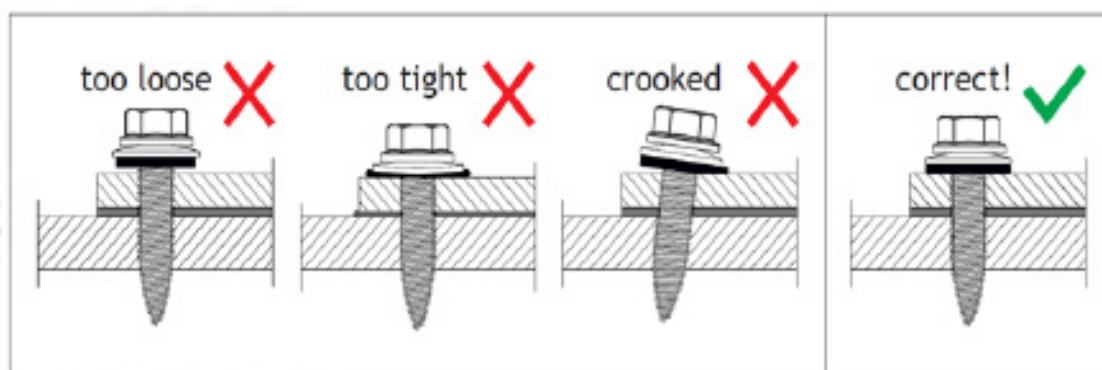


Slika 1.16 Prikaz mehaničkog nosača sa postavljenim fotonaponskim panelima na kosi valovit krov.

Elementi mehaničkih sistema nosećih konstrukcija fotonaponskih panela-kosi metalni trapezni lim



Slika 1.17 Prikaz mehaničkih elemenata sistema: montažni profil, stezaljka, krajnja podloška, šrafovi.



Slika 1.18 Preporuka proizvođača o načinu postavljanja vijka za metalni trapeziodni krov.



Slika 1.19 Prikaz mehaničkog nosača sa postavljenim fotonaponskim panelima na kosu krovnu konstrukciju ot trapeznog čeličnog lima.

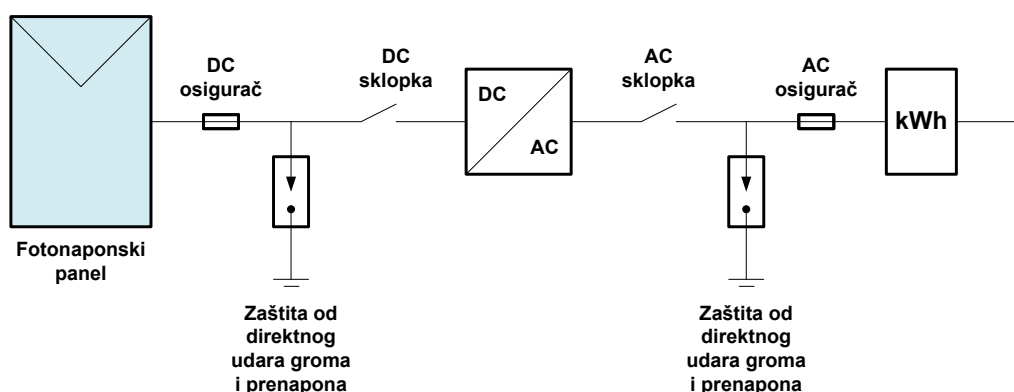
8. ELEKTRIČNE INSTALACIJE



Sklopna i zaštitna oprema

Sklopna i zaštitna oprema FN elektrane prikazana na slici 1.1 je sastavni deo opreme koja se nalazi kako na jednosmernoj (DC) tako i naizmeničnoj (AC) strani invertora. DC sklopna i zaštitna oprema je specifična, namenjena isključivo za FN sisteme. AC sklopna i zaštitna oprema FN sistema je standardna oprema električnih instalacija naizmenične struje. U zavisnosti od proizvođača i tipa invertora, sklopna i zaštitna oprema koja je prikazana na slici 1.1 može biti integrisana u inverter. Zbog pravila o priključenju elektrana na DSEE, mora postojati zaseban razvodni ormar, takozvani razvodni ormar elektrane (ROE). U ROE se bez obzira na opremljenost invertora na izlaznoj strani, smešta dodatna sklopna i zaštitna oprema zahtevana od strane operatera distributivnog sistema.

Sklopna oprema u fotonaponskim sistemima omogućava električno odvajanje pojedinih delova sistema radi bezbedne intervencije, dok zaštitna oprema štiti pojedine komponente fotonaponskog sistema od prekomernih struja i prenapona. Zaštitna oprema pored elemenata FN sistema mora da štiti i čovekov život.



Slika 1.1 Uprošćena blok šema FN sistema sa prikazom sklopne i zaštitne opreme

Kablovi

U elemente FN sistema spadaju kablovi. Oni na ulaznoj DC strani invertora povezuju FN panele sa invertorom, dok na izlaznoj AC strani povezuju inverter sa ROE ili SN postrojenjem, odnosno mestom za priključenje na DSEE.

Kablovi AC razvoda su standardni koji se koriste u bilo kom naizmeničnom razvodu. Osobenost kablova koji se koriste za međusobno povezivanje FN panela i panela sa invertorom je da se koriste napolju, na mestima koje karakterišu visoke temperature i visok nivo UV zračenja.

Zbog toga se u FN instalacijama koriste isključivo DC kablovi namenjeni za FN sisteme. Osnovne osobine DC kablova za povezivanje FN panela su:

- 1) finožični bakarni provodnik,
- 2) poželjno kalajisan,
- 3) dvostruka izolacija provodnika,
- 4) bez halogena i samogasiv,
- 5) mala podužna otpornost,
- 6) nominalni napon do 1500 V,
- 7) sa tendencijom porasta u skladu sa tendencijom porasta ulaznog napona invertora,
- 8) radni opseg temperatura od -40 °C do +125 °C,
- 9) otporan na UV zračenje i
- 10) minimalni vek trajanja 25 godina.

Karakteristično u vezi DC i AC kablova u FN sistemu je da pad napona, odnosno električni gubici u kablovima ne smeju biti veći od 1 %.

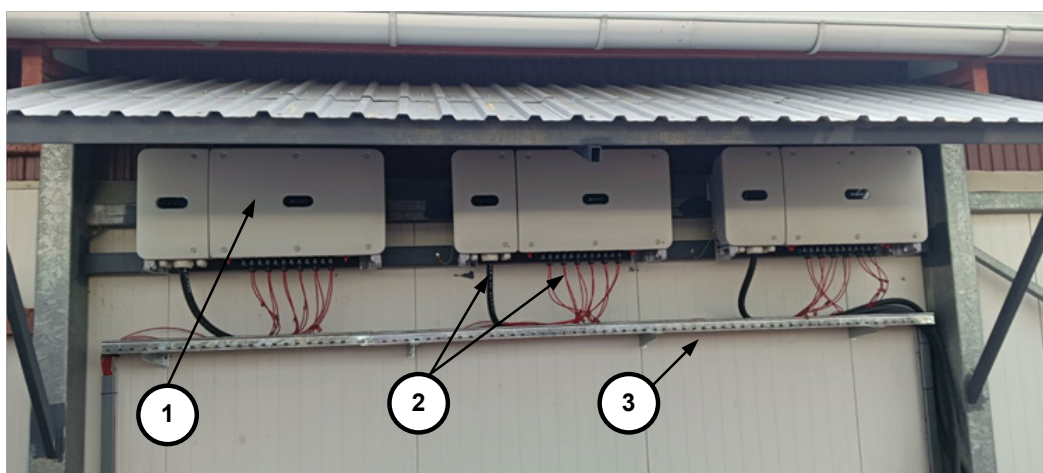
1.3 Primeri postavljanja električne instalacije i opreme fotonaponske elektrane

Sklopna i zaštitna oprema postavlja se u odgovarajuće razvodne ormane najčešće nadgradnog tipa sa odgovarajućim stepenom zaštite od prodora vlage i nečistoća.

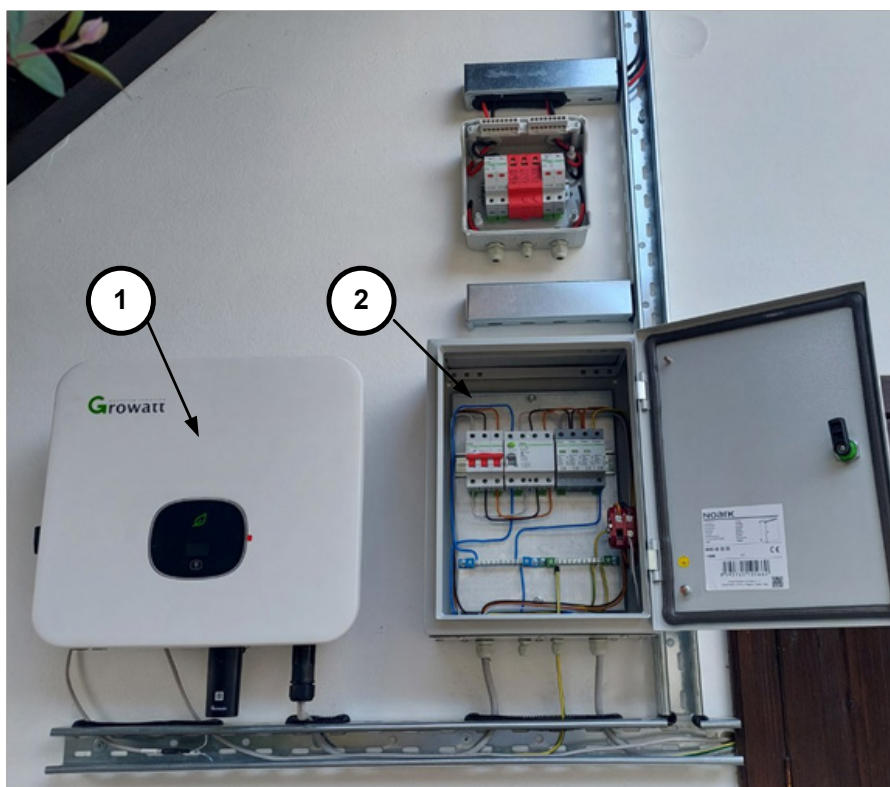
Izvođenje električnih instalacija vrši se na osnovu odgovarajuće projektne dokumentacije a u skladu da dobrom inženjerskom prakcom i važećim standardima. Na slici 1.2 prikazan je igled električne opreme u fazi postavljanja i montaže konvertorskog bloka fotonaponske elektrane.



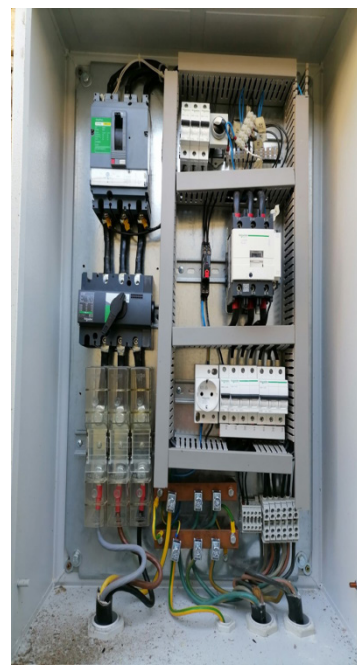
Slika 1.2 Izgled električne opreme u fazi postavljanja, montaže i povezivanja: 1-invertor, 2-provodnici i kablovi za povezivanje.



Slika 1.3 Izgled konvertorskog dela fotonaponske elektrane sa postavljenim instalacionim provodnicima i kablovima na odgovarajuće regalne razvode: 1-invertor, 2-instalacioni provodnici i kablovi, 3- regalni razvod.

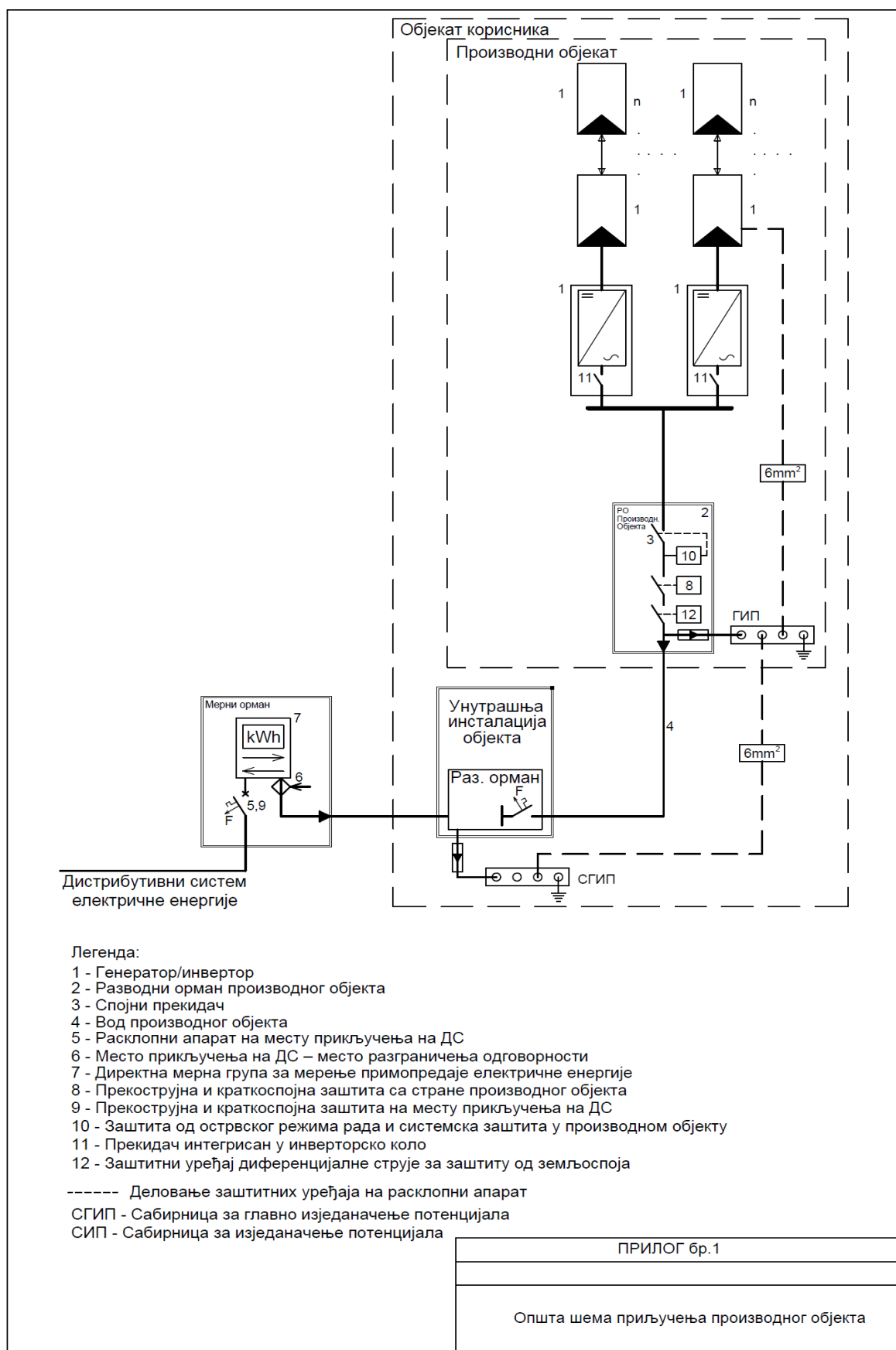


Slika 1.3 Izgled razvodnog ormara fotonaponske elektrane koji sadrži: automatski instalacioni prekidač, zaštitnu sklopku diferencijalne struje, odvodnik prenapona: 1-invertor, 2-orman sklopne i zaštitne opreme.



Slika 1.4 Izgled razvodnih ormara sa sklopnom i zaštitnom opremom fotonaponske elektrane.

Na sledećoj slici prikazana je jednopolna šema iz tehničke dokumentacije jedne fotonaponske elektrane sa projektovanim sklopnom i zaštitnom opremeom, mernim razvodnim ormanom i dvosmernim brojilom i načinom izjednačavanja potencijala postrojenja.



Slika 1.5 Primer tehničke dokumentacije jednofazne šeme električne instalacije fotonaponske elektrane.

9. ODRŽAVANJE FOTONAPONSKIH SISTEMA



Osnovne preporuke

Neophodno je održavanje solarnog sistema, pre svega baterija.

Neophodno je održavati napunjenost baterija u cilju smanjenja uticaja sulfatizacije na životni vek baterija.

Neophodno je redovno dolivanje isključivo destilovane vode. Kontrolisati nivo tečnosti u baterijama minimum 3 puta godišnje i to u svim ćelijama.

Ćelije MORAJU biti prekrivene tečnošću!

U slučaju potrebe doliti ISKLJUČIVO destilovanu vodu. Destilovana voda se dosipa do nivoa 2 cm-2,5 cm iznad ćelija (zabranjeno je puniti destilovanu vodu do vrha čepa, pogledajte sliku koja prikazuje nivo tečnosti u baterijama). Zabranjeno je dosipanje destilovane vode pre prvog punjenja baterija.

Ne dozvoliti da baterije duže vreme budu ispražnjene. Obezbedite normalne uslove punjenja baterija i u zimskim uslovima (obratite pažnju da solarni paneli zimi proizvode manje energije, jer zimi paneli mogu biti prekriveni snegom). Baterije treba da se napune do vrha bar jednom u 10 dana. U zimskim uslovima, ukoliko se sistem ne koristi, preporučuje se isključivanje invertora na glavni prekidač u cilju smanjenja samopotrošnje, i, samim tim, dozvoljavanja punjenja baterija. Ako baterije skidate sa solarnog sistema zimi, napunite baterije. Tako napunjene baterije mogu da budu skladištene do maksimalno 4 meseca. Obratite pažnju na redosled povezivanja sistema.

Baterije je najbolje postaviti u prostorijama koje nisu izložene ekstremnim vrućinama i hladnoćama. Izbegavati smeštaj baterija u tavanom prostoru.

Jednom godišnje izvršiti vizuelni pregled solarnog sistema. Obratiti pažnju na kontakte i, po potrebi, dotegnuti iste.

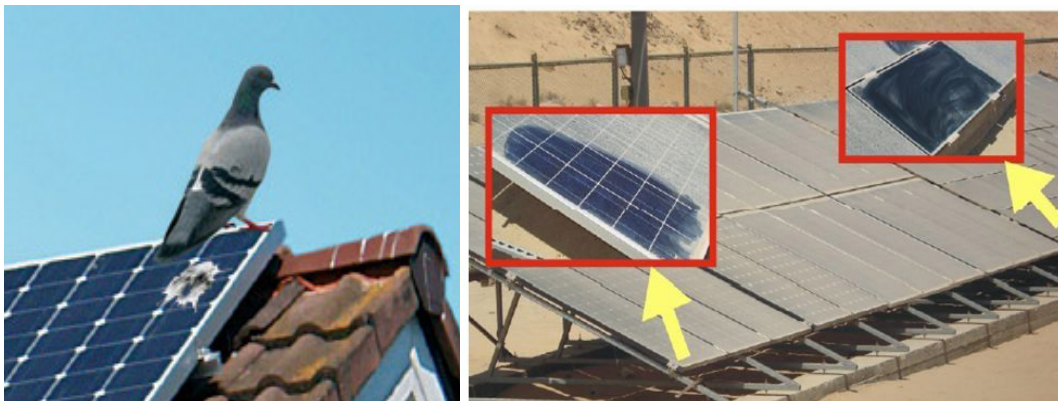
Invertor poseduje ventilator u cilju hlađenja elektronskih komponenti. U zavisnosti od okruženja u kojem se nalazi invertor i pojave prašine, neophodno je povremeno „izduvati“ prašinu iz invertora pomoću kompresora, a kroz već postojeće otvore na invertoru u zoni ventilatora. Otvaranje invertora može da radi samo stručno lice!

Prljavština na solarnim panelima može da smanji proizvodnju električne energije do 10%. Preporučuje se povremeno čišćenje solarnih panela. Koliko puta čistiti solarne panele zavisi od sredine u kojoj su paneli instalirani. Paneli u gradskoj sredini su podložniji prljanju usled zagađenog vazduha i taloženja čestica prljavštine. Takođe je poželjno čišćenje panela posle prljavih kiša. Paneli mogu da se očiste vlažnom krpom. Ako se paneli peru vodom onda to uraditi u večernjim ili jutarnjim satima kada paneli nisu zagrejani.

Završne napomene:

- 1) Pažnja – mogućnost pada sa krova, čišćenje panela može da radi samo za to osposobljeno osoblje!
- 2) Prilikom čišćenja panela koristiti zaštitnu opremu.

Na slikama od 1.1 do 1.3 prikazani su neki od osnovnih postupaka održavanja higijene fotonaponskih ploča.



Slika 1.1 *Uklanjanje nečistoća usled ptičijeg izmeta, uklanjanje prašine sa površine fotonaponskih panela.*



Slika 1.2 *Tehničko lice pranjem površine uklanja nečistoće sa površine fotonaponskog panela..*

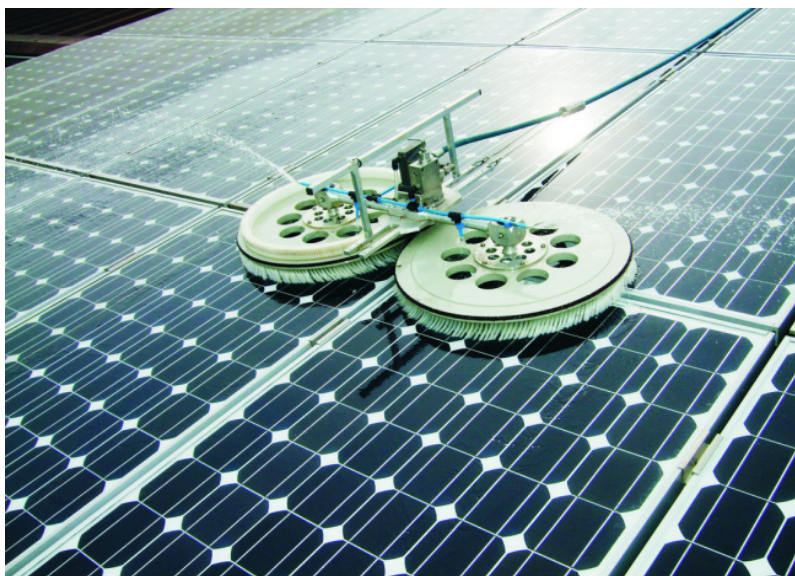


Slika 1.3 *Redovno skidanje snežnog pokrivača sa fotonaponskih ploča.*

U praktičnoj primeni postoje i sistemi za automatsko pranje i otklanjanje nečistoća sa površina fotonaponskih panela. Dva osnovna primera prikazana su na slici 1.2.



a)



b)

Slika 1.4 Primeri automatskog skidanja nečistoća sa fotonaponskih panela, a) sistem prskaljki za automatsko pranje, b) primer mašine za automatsko čišćenje-pranje površine fotonaponskih panela.



10. DIJAGNOSTIKOVANJE I POPRAVKA FOTONAPONSKIH SISTEMA



Dijagnostika i periodične kontrole

U cilju pouzdanosti rada i otklanjanje neželjenih havarijskih stanja i ispada fotonaponske elektrane/postrojenja iz pogona neophodno je izvršiti periodične kontrole postrojenja.

Periodične kontrole i ispitivanja mogu se podeliti u dve osnovne grupe:

- 1) vizuelne kontrole - vrše se vizuelnim pregledom električnih uređaja, aparata i opreme u cilju detektovanja eventualnih neispravnosti koje mogu nastati u eksploatacionom periodu.
- 2) merenja i ispitivanja električnih uređaja i opreme u cilju provere da li se neopgodne veličine koje su od značaja za pouzdan rad i ispravan rad nalaze u propisanim granicama.

Učestalost periodične kontrole mora se utvrditi uzimajući u obzir vrstu instalacije, opreme ili postrojenja, učestalost i kvalitet održavanja, kao i spoljne uticaje i rizike koji ma je oprema podvrgnuta.

Osim toga interval između periodičnih kontrola i ispitivanja može se zasnivati na zakonskim i drugim nacionalnim propisima.

Prilikom periodične kontrole i pregleda pogonskog stanja postrojenja neophodno je upoznati se sa prethodnim rezultatima i izveštajima ako su dostupni.

Način obavljanja redovnih pregleda i kontrola električne instalacije određuje se pravilnikom i standardima a najmanje uključuje:

- a) pregled u koji je uključeno utvrđivanje jesu li svi delovi električne instalacije u ispravnom stanju,
- b) merenje radi utvrđivanja da li električna instalacija i oprema u celini ispunjava zahteve određene projektom na osnovu kojeg je izgrađen objekat i odgovarajuće propise.

U sledećem delu navešće se okvirni intervali kontrole pojedinih delova električne instalacije postrojenja:

- 1) Otpornost uzemljivača, 1 godina,
- 2) Otpornost izolacije kablova, 5 godina,
- 3) Efikasnost dodatnog sistema zaštite (npr ZUDS), 1 godina,
- 4) Provera termične slike električnih spojeva (termovizijsko snimanje), 1 godina,
- 5) Provera uzemljenja na uređajima, 1 godina,
- 6) Efikasnost od električnog udara, 5 godina,
- 7) Izjednačavanje potencijala metalnih masa, 1 godina.

Popravka fotonaponskih sistema/postrojenja

Popravke i otkalnjavanje kvarova treba da rade stručna tehnička lica koja su za te poslove obučena i imaju dovoljno radnog iskustva iz navedene oblasti.

Prilikom rada u elektroenergetskom postrojenju potrebno se pridržavati osnovnih pravila o bezbednost koje je neophodno primeniti pre sprovođenja otkalnjavanja kvara:

- 1) Isključiti izvor napona, otklanjanje nepravilnosti i kvarova obavezno raditi u beznaponskom stanju.
- 2) Osigurati se od nekontrolisane pojave električnog napona u sistemu.
- 3) Pre početka rada utvrditi beznaponsko stanje opreme.
- 4) Delove postrojenja koji nisu isključeni i pod naponom su vidno zabraniti prisup.



LITERATURA

- [1] Branislav Santrač, Saša Skoko, Elektrotehnika 1, Visoka tehnička škola strukovnih studija Novi Sad, Novi Sad, 2012.
- [2] Čorba Zoltan, Mogućnosti primene hibridnog sistema za pretvaranje energije sunca i vetra u električnu, Magistarski rad, novembar 2009. godine, Novi Sad
- [3] REN21. 2021.Renewables 2021 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat), ISBN 978-3-948393-03-8
- [4] SolarPower Europe (2021): EU Market Outlook for Solar Power 2021-2025
- [5] Odluka o utvrđivanju energetskeg bilansa republike srbije za 2021. Godinu („Sl. glasnik RS“, br. 156/2020)
- [6] Čorba Zoltan, Fotonaponsko pretvaranje solarne energije i fotonaponske elektrane, FTN izdavaštvo, Novi Sad, 2017.
- [7] Čorba Zoltan, Novi metod analize rada fotonaponskog sistema u uslovima varijacije sunčevog zračenja, Doktorat, 2016. godine, Novi Sad
- [8] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije („Sl. glasnik RS“, broj 40 od 22. aprila 2021.)
- [9] Postupak sticanja statusa kupca-proizvođača, 19. septembar 2022 godine, dostupno na: <https://elektrodistribucija.rs/>
- [10] Pravilnik o posebnoj vrsti objekata i posebnoj vrsti radova za koje nije potrebno pribavljati akt nadležnog organa, kao i vrsti objekata koji se grade, odnosno vrsti radova koji se izvode, na osnovu rešenja o odobrenju za izvođenje radova, kao i obimu i sadržaju i kontroli tehničke dokumentacije koja se prilaže uz zahtev i postupku koji nadležni organ sprovodi; („Sl. glasnik RS“, br. 102 od 24. jula 2020, 16 od 26. februara 2021, 87 od 10. septembra 2021.)
- [11] Zakon o planiranju i izgradnji („Sl. glasnik RS“, broj 72/09, 81/09, 52/21)
- [12] EPS Distribucija doo Beograd, Pravila o radu distributivnog sistema, Beograd, jul 2017.
- [13] EPS Distribucija doo Beograd, Opšti uslovi za priključenje fotonaponskih modula na unutrašnje instalacije postojećeg objekta kupca – individualna domaćinstva sa direktnim merenjem, verzija 003, 16. Novembar 2021.
- [14] Procena proizvodnje, 21. septembar 2022 godine, dostupno na: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [15] NETINVEST d.o.o. Bograd Netinvest Engineering & Consulting Solutions. Glavni elektro projekat Solarne elektrane Srednje tehničke škole „Mihajlo Pupin“ – Kula, ul. Laze Kostića br.14.
- [16] Telefon inženjering: <http://www.telefon-inzenjering.co.rs/>
- [17] Aleksandar Santovac dipl.ing.tehn, Objekti, prostorije i prostori namenjeni za rad pravilnik o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad na radnom mestu, Privredna komora Srbije
- [18] Prof. dr Živko Stjelja, Opšte i posebne mere u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu pravilnik o opštim merama zaštite na radu od opasnog dejstva električne struje u objektima namenjenim za rad, radnim prostorijama i na radilištima.







Немачка
сарадња

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Sprovedeno od strane:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



PROMOCIJA OBNOVLJIVIH
IZVORA ENERGIJE I ENERGETSKE
EFIKASNOSTI U SRBIJI

 **ENERGYNET**
Stvaramo bolju atmosferu

ENERGYNET  **AKADEMIJA**