



Priručnik

za instaliranje i održavanje
elektroenergetske opreme
u vjetroelektranama

Izdavač

Education Reform Initiative of South Eastern Europe - ERI SEE
Dečanska 8a, Beograd, Srbija
www.erisee.org, office@erisee.org

Autori

Melanija Čalasan
Marina Braletić

Za izdavača

Tina Šarić

Dizajn i prelom

Five grupa
fivegroup.me

Izdanje

Podgorica 2025.

ISBN-978-86-82886-14-3



Education
Reform
Initiative of
South
Eastern
Europe



Implemented by



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Sadržaj

1. UVOD	4
1.1. Svrha priručnika	4
1.2. Značaj i primjena energije vjetra	5
1.3. Struktura priručnika	7
2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	9
3. ZAŠTITA NA RADU I ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE	29
3.1. Moguće opasnosti po zdravlje i sigurnost radnika pri radu na vjetroelektranama	29
3.2. Primjena mjera bezbjednosti i zaštite na radu prilikom izvođenja radova na vjetroelektranama	33
3.3. Sprovođenje mjera bezbjednosti i mjera lične zaštite pri radu na visini u vjetroelektranama	35
3.4. Primjena mjera za smanjenje negativnog uticaja vjetroelektrana na životnu sredinu	39
4. ENERGIJA VJETRA	43
4.1. Osnovne primjene energije vjetra	45
4.2. Karakteristike vjetroelektrana	48
4.2.1. Definicije vjetroagregata i vjetroelektrane	48
4.2.2. Vrste izvedbi vjetroagregata i njihove karakteristike	49
4.2.2.1. Vjetroagregati prema položaju osovine	49
4.2.2.2. Vjetroagregati prema vrsti vjetrogeneratora	54
4.2.2.3. Vjetroagregati prema autonomiji režima rada	58
4.2.2.4. Vjetroagregati prema lokaciji	59
4.2.2.5. Vjetroagregati prema snazi	62
4.2.3. Struktura vjetroelektrane	63
4.2.4. Elementi vjetroagregata	65
4.2.5. Materijal, alat, oprema i uređaji za rad na izgradnji i održavanju vjetroelektrana	69
5. MONTIRANJE I DEMONTIRANJE ELEKTROENERGETSKE OPREME U VJETROELEKTRANAMA	75
5.1. Priprema terena za montažu elektroenergetske opreme u vjetroelektranama	75
5.2. Montiranje i demontiranje montažne konstrukcije opreme u vjetroelektranama	78
5.3. Montiranje/demontiranje i povezivanje elektroenergetske opreme u vjetroelektranama	84
5.4. Odabir zaštitnih sredstava i opreme za radove na montiranju i demontiranju elemenata vjetroelektrane	89
6. IZVOĐENJE ELEKTRIČNIH INSTALACIJA VJETROELEKTRANA	93
6.1. Vrste i osnovni elementi električnih instalacija vjetroelektrana	93
6.2. Montiranje kablovskih konstrukcija i polaganje kablova električnih instalacija vjetroelektrana	94
6.3. Montiranje razvodnih i komandnih tabli, ormara i pultova električnih instalacija vjetroelektrana	102
6.4. Povezivanje elektroinstalacijskih elemenata u razvodnim i komandnim tablama, ormarima i pultovima	104
6.5. Izvođenje instalacije uzemljenja i gromobranske zaštite vjetroelektrana	105
6.6. Mjerenje i kontrola performansi komponenti vjetroturbina	108
7. ODRŽAVANJE OPREME I MONITORING U VJETROELEKTRANAMA	109
7.1. Vrste održavanja i aktivnosti pri održavanju vjetroelektrana	109
7.2. Radovi preventivnog održavanja elemenata vjetroelektrana	110
7.3. Radovi korektivnog održavanja elemenata vjetroelektrana	112
7.4. Radovi održavanja električnih instalacija vjetroelektrana	114
7.5. Prikupljanje, obrada i čuvanje podataka u vjetroelektranama	115
9. ZAKLJUČAK I PREPORUKE	119

1. UVOD

1.1. Svrha priručnika

Ovaj priručnik napisan je u okviru Renewable Energy Services in Education and Training RESET projekta, koji sprovodi Education Reform Initiative of South Eastern Europe (ERI SEE) Sekretarijat u saradnji s Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) a finansiran je od strane njemačkog saveznog ministarstva za Ekonomsku saradnju i razvoj (BMZ). Priručnik je osmišljen kao praktičan vodič koji učenicima/polaznicima omogućava sticanje neophodnih znanja i vještina za instaliranje i održavanje elektroenergetske opreme u vjetroeletranama. Kroz jasno objašnjene teorijske osnove, korisnici će razumjeti ključne principe rada vjetroturbina, njihove komponente i način funkcionisanja, što predstavlja osnovu za praktičnu primjenu.

Priručnik je prvenstveno namijenjen učenicima srednjih škola i polaznicima programa obrazovanje odraslih te nastavnika u oblasti obnovljivih izvora električne energije. Takođe je koristan za nadležna ministarstva i obrazovne agencije, kompanije uključene u praktično obrazovanje, trening centre, privatne institucije koje rade u oblasti obnovljive energije, instruktore praktičnog obrazovanja, ali i ostale zainteresovane strane.

Materijal je usaglašen među ekspertima iz oblasti obnovljivih izvora električne energije te obrazovanje iz šest ekonomija: Albanije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Kosova*, Sjeverne Makedonije i Srbije, uključenih u realizaciju projekta."

S obzirom na to da je prelazak na obnovljive izvore energije globalni prioritet, kvalifikacije iz ove oblasti postaju izuzetno tražene i cijenjene, otvarajući nove mogućnosti za profesionalni razvoj i zapošljavanje. Industrija vjetroeenergije bilježi stalni rast, a potražnja za stručnjacima u ovoj oblasti raste iz godine u godinu. Prema podacima iz 2025. godine, globalna industrija vjetroeenergije zapošljava više od 1,4 miliona ljudi, s projekcijama da će taj broj značajno rasti u narednim decenijama. Prema budućim procjenama, sektor vjetroeenergije mogao bi zapošljavati preko 2,3 miliona ljudi do 2030. godine i preko 4 miliona do 2050. godine.

Ključni cilj priručnika je osposobljavanje korisnika za instaliranje i održavanje elektroenergetske opreme u vjetroeletranama. Kroz jasno strukturisane teorijske osnove i detaljne praktične smjernice, učenici/polaznici će biti u mogućnosti da:

- Instaliraju i povezuju električne komponente vjetroturbina uz poštovanje tehničkih i bezbjednosnih standarda, čime osiguravaju pouzdan i siguran rad sistema.
- Održavaju elektroenergetsku infrastrukturu vjetroelettrana, čime se produžava vijek trajanja sistema i povećava efikasnost.
- Prepoznaju i rješavaju eventualne probleme tokom rada elektroinstalacija.

Ovakav pristup povezivanja teorijskog znanja i praktičnih vještina omogućava učenicima/polaznicima ne samo sticanje tehničke kompetencije, već i sigurnost i spremnost

*Ovaj naziv je bez prejudiciranja statusa i u skladu je sa Rezolucijom Savjeta bezbjednosti Ujedinjenih nacija 1244/1999 i Mišljenjem Međunarodnog suda pravde o Deklaraciji o nezavisnosti Kosova.

da prepoznaju mogućnosti, predlažu rješenja i unapređuju primjenu vjetroeenergije u različitim kontekstima. Time se dodatno osnažuju za aktivno učešće u razvoju industrije obnovljivih izvora energije.

Pored sticanja teorijskih osnova i praktičnih znanja, učenicima/polaznicima se pruža uvid u najnovija dostignuća i primjere iz prakse, uključujući realizacije koje demonstriraju visok nivo uspjeha u primjeni vjetroeenergije. Kroz ove primjere, korisnici će razviti dublje razumijevanje potencijala vjetroelettrana.

Cilj priručnika je inspirisati učenike/polaznike da doprinesu razvoju i širenju vjetroeenergetskih rješenja te njihovoj primjeni u najrazličitijim sektorima društva.

Na kraju, priručnik predstavlja osnovu za sticanje kvalifikacija koje su visoko cijenjene na tržištu rada. S obzirom na stalni rast sektora obnovljivih izvora energije, vještine instalacije i održavanja elektroenergetske opreme u vjetroelettranama omogućavaju učenicima/polaznicima profesionalni razvoj u ovoj dinamičnoj oblasti, pružajući im priliku da se prilagode izazovima i potrebama modernog tržišta te osposobe za rad u jednoj od najperspektivnijih industrija našeg vremena.

1.2. Značaj i primjena energije vjetra

Energija vjetra predstavlja jedan od najvažnijih obnovljivih izvora energije, sa ključnom ulogom u tranziciji ka održivim energetske rješenjima. Njena dostupnost, ekološke prednosti i rastuća ekonomska isplativost, uključujući pad troškova tehnologije i povećanje efikasnosti, čine energiju vjetra jednim od najperspektivnijih rješenja u globalnoj tranziciji ka čistoj energiji.

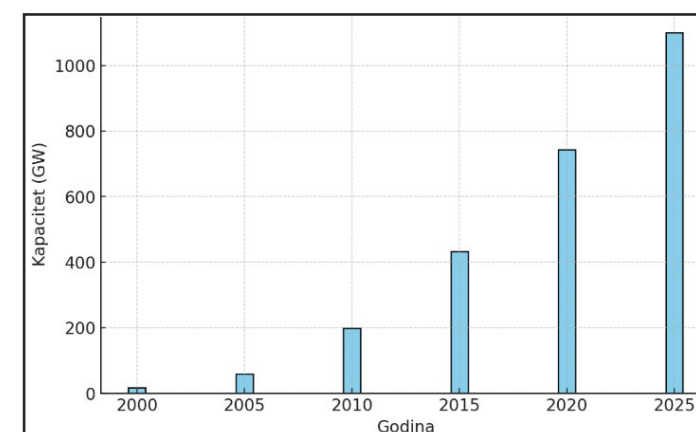
Prema podacima Međunarodne agencije za obnovljive izvore energije (IRENA), globalni kapacitet vjetroelettrana 2025. godine premašio je 1.000 GW, uz stalni rast instaliranih kapaciteta. Očekuje se da će energija vjetra do 2030. godine činiti značajan dio globalne proizvodnje električne energije, zahvaljujući tehnološkim inovacijama, optimizaciji performansi vjetroturbina i povećanoj podršci obnovljivim izvorima energije.

Ključne prednosti energije vjetra su:

- **Dugoročni neiscrpní potencijal:** Energija vjetra je prirodan i obnovljiv izvor energije, dostupan širom svijeta, posebno u priobalnim i brdskim područjima, gdje su vjetrovi najintenzivniji i najkonstantniji.

- **Ekološka održivost:**

Vjetroelettrane proizvode energiju bez emisije štetnih gasova i drugih zagađujućih materija, čime direktno doprinose smanjenju ugljeničnog otiska i borbi protiv klimatskih promjena. Njihov rad ne zahtijeva sagorijevanje fosilnih goriva, što ih čini ključnim faktorom u zaštiti životne sredine i održivom razvoju.



Grafikon: Rast kapaciteta vjetroelettrana

- **Energetska sigurnost:** Korišćenje vjetroelektrana smanjuje zavisnost od fosilnih goriva i centralizovanih elektroenergetskih sistema. Zahvaljujući decentralizovanoj proizvodnji električne energije, omogućava se stabilnije i otpornije snabdijevanje energijom, smanjujući ranjivost na ekonomske i geopolitičke rizike.
- **Ekonomska isplativost:** Pad troškova izgradnje i povećanje efikasnosti vjetroturbina, uz dostupnost subvencija i podsticajnih politika, čine energiju vjetra sve konkurentnijim rješenjem u elektroenergetskom sektoru. Dugoročne uštede na troškovima električne energije, kao i mogućnost zarade kroz otkup proizvedene energije, dodatno doprinose njenoj širokoj primjeni.

Energija vjetra ima široku primjenu u proizvodnji električne energije. Najčešće se koristi putem vjetroturbina koje kinetičku energiju vjetra pretvaraju u električnu energiju pomoću generatora. Vjetroelektrane se mogu podijeliti na kopnene (onshore) i priobalne (offshore) sisteme. Kopnene vjetroelektrane su već dugo u upotrebi širom svijeta, dok priobalne vjetroelektrane, zahvaljujući stabilnijim i jačim vjetrovima na moru, predstavljaju sve značajniji izvor električne energije, naročito u razvijenim elektroenergetskim mrežama.



Prikaz vjetroparka

Pored proizvodnje električne energije u elektroenergetskim sistemima, energija vjetra nalazi primjenu i u samostalnim sistemima napajanja udaljenih objekata, poput farmi, seoskih domaćinstava, telekomunikacionih tornjeva i drugih infrastruktura na lokacijama bez pristupa elektroenergetskoj mreži.

Vjetroenergija ima značajnu ulogu i u modernim tehnološkim rješenjima, poput integracije u pametne mreže (smart grids), povezivanja sa skladištima energije u vidu baterijskih sistema i vodonikovih tehnologija, te razvoja hibridnih sistema koji kombinuju vjetroelektrane sa solarnim panelima i drugim obnovljivim izvorima.

Sa svojim ekološkim prednostima, ekonomskom održivošću i konstantnim razvojem tehnologije, energija vjetra predstavlja ključni element globalnog prelaska na održivu energetiku. Njena sve šira primjena doprinosi smanjenju zavisnosti od fosilnih goriva, povećanju energetske efikasnosti i ublažavanju negativnih posljedica klimatskih promjena. U budućnosti, vjetroelektrane će igrati još značajniju ulogu u globalnom energetsom miksu, omogućavajući održiv i pouzdan izvor električne energije za naredne generacije.

1.3. Struktura priručnika

Priručnik za instaliranje i održavanje elektroenergetske opreme u vjetroelektranama je osmišljen kao sveobuhvatan vodič koji pokriva sve ključne aspekte instalacije odnosno montiranja i demontiranja opreme, kao i održavanja. Presentovani materijal omogućava korisnicima sticanje osnovnih teorijskih i praktičnih znanja, osposobljavajući ih za kvalitetno uključivanje u proces rada. Priručnik je prvenstveno namenjen praktičnoj obuci, uz neophodne teorijske osnove za primjenu stečenih znanja u praksi.

Priručnik se sastoji od Uvoda i sedam Poglavlja posvećenih razradi problematike koja je predmet Priručniku. Na kraju se daju Zaključak i preporuke, Oznake i skraćenice i Literatura i korišćeni izvori.

U **Uvodu** je predstavljena osnovna svrha i ciljevi priručnika, uz isticanje značaja vjetro energije i njene primjene.

Poglavlje 2, Obnovljivi izvori energije, daje osnovne informacije o različitim oblicima obnovljivih izvora energije, sa posebnim naglaskom na vjetro energiju.

Poglavlje 3, Zaštita na radu i zaštita životne sredine, razrađuje ključne sigurnosne smjernice koje treba uvažavati prilikom instalacije i održavanja elektroenergetske opreme u vjetroelektranama radi očuvanja zdravlja i zaštite na radu, kao i mjere za očuvanje životne sredine.

Poglavlje 4, Energija vjetra, sa teorijskog aspekta objašnjenjava vrste vjetroagregata i vjetroelektrana, njihov princip rada i elemente.

Poglavlje 5, Montiranje i demontiranje elektroenergetske opreme u vjetroelektranama, predstavlja ključno poglavlje u Priručniku sa detaljnom razradom procedura i postupaka za praktičnu realizaciju.

Poglavlje 6, Izvođenje električnih instalacija u vjetroelektranama, posvećeno je razradi postupaka montiranja i instaliranja električnih instalacija uključujući i kratak opis instalacije uzemljenja i gromobranske zaštite.

Poglavlje 7, Održavanje elemenata vjetroelektrana, opisuje procedure preventivnog i korektivnog održavanja i postupke za njihovo sprovođenje.

U okviru **Poglavlja 8, Praktični primjeri i primjena**, prikazani su konkretni slučajevi iz prakse koji ilustruju instalisane kapacitete vjetroelektrana u regionu i šire.

Zaključak i preporuke sublimira ključne zaključke zasnovane na prethodnim informacijama i daje smjernice za dalji rad u ovoj oblasti.

Na kraju je **Literatura i korisni izvori** sa spiskom korišćenih izvora i dodatnih materijala koji mogu biti korisni za dublje razumijevanje tematskih oblasti vjetroelektrana.

2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Energija se nalazi svuda oko nas. Ona pokreće sva živa bića. Sve što se nalazi u okruženju zasnovano je na korišćenju energije. Suština je da je energija sposobnost da se neki posao obavi. Energija zavisi od uslova u kojima se nalazi. Ona određuje sva stanja u prirodi: kretanje i mirovanje, toplotna stanja, hemijske procese, elektromagnetne procese, prostiranje svjetlosti, veze u atomima i sl.

Opšta definicija energije je: Energija je sposobnost vršenja rada. Poznato je da se energija ne može izgubiti već samo preći iz jednog oblika u drugi (hemijaska u toplotnu, toplotna u mehaničku...).

U današnje vrijeme energija je postala ključni elemenat razvoja društva. Razvijanje ekonomije direktno je uslovljeno sa korišćenjem raznih oblika energije.

Intenzivno korišćenje postojećih i pronalaženje novih izvora energije presudno utiče na brzinu razvoja i rasta privrede.

Osnovne karakteristike energije jesu:

- ne može nastati ni iz čega
- neuništiva je
- sposobnost transformacije iz jednog oblika u drugi ili prelazak sa jednog tijela na drugo

U prirodi, energija se pojavljuje u različitim oblicima:

- **Potencijalna energija** – energija uskladištena zbog položaja tijela u odnosu na druge objekte (npr. voda u akumulaciji, opruga pod naponom).
- **Kinetička energija** – energija kretanja tijela. Sve što se kreće posjeduje kinetičku energiju (npr. vjetar, automobil pokretu).
- **Hemijaska energija** – energija uskladištena u hemijskim vezama između atoma (npr. energija iz hrane, goriva, baterija).
- **Električna energija** – energija koja nastaje uslijed kretanja ili rasporeda električnih naelektrisanja.
- **Toplotna energija** – energija koju tijelo posjeduje zbog svoje temperature, odnosno nasumičnog kretanja i sudaranja njegovih čestica (npr. ugrijani metal, ključala voda, vazduh zagrijan Sunčevim zračenjem).
- **Nuklearna energija** – energija oslobođena promjenama u atomskim jezgrima, bilo cijepanjem (fisijom) teških jezgara ili spajanjem (fuzijom) lakih jezgara (npr. energija iz nuklearnih elektrana, reakcija u Suncu).
- **Elektromagnetna energija** – energija zračenja koja obuhvata svjetlost, radio-talase i druge oblike elektromagnetnog zračenja.

Kroz istoriju dolazilo je do sukoba oko pristupa pojedinim energetske izvorima. O značaju energije govori i činjenica da su se industrijske revolucije razlikovale po otkrićima i primjeni novih izvora energije. Trenutno je u toku revolucija koja daje akcent na obnovljivim izvorima i razvoju energetski štedljivih, “zelenih” tehnologija.

Modernu civilizaciju je nemoguće zamisliti bez električne energije. Električna energija se koristi za osvetljenje, grijanje, pokretanje raznih mašina, napajanje komunikacionih uređaja. Praktično, nema segmenta ljudske djelatnosti gdje se ne koristi električna energija.

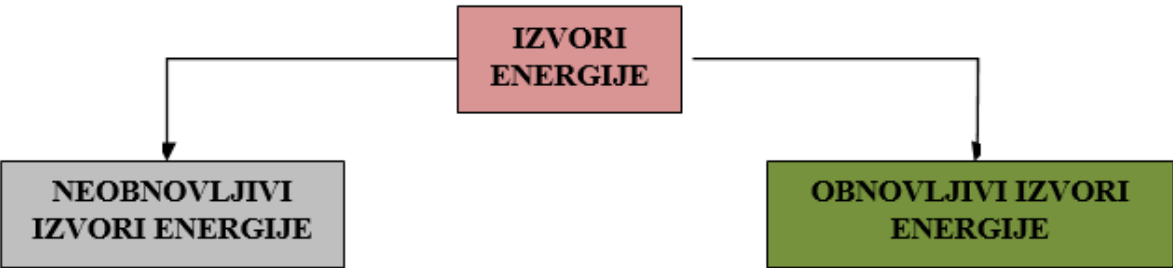
Primjena električne energije ima velike prednosti nad ostalim oblicima energije:

- Izvori električne energije mogu biti udaljeni od mjesta korištenja električne energije;
- Električna energija se prenosi uz relativno male gubitke;
- Korišćenjem sistema prenosa električne energije ona je dostupna velikom broju korisnika;
- Električna energija se jednostavno transformiše u druge oblike energije (toplotnu, svjetlosnu, mehaničku...).

U stručnoj literaturi postoje i druge podjele energije, koje zavise od mnogobrojnih kriterijuma za podjelu. Različiti oblici energije se dijele, odnosno grupišu, na više načina. Najčešće podjele s kriterijumima za podjele, prikazane su u tabeli.

PODJELA	KRITERIJUM ZA PODJELU
Akumulisana i prelazna	Stanje i trajnost postojanja
Primarna, transformisana i korisna	Pojavni oblik, forma, tj. mogućnost korišćenja
Konvencionalna i nekonvencionalna	Nivo korišćenja, tj. tehničko-ekonomska isplativost
Obnovljiva i neobnovljiva	Prirodna obnovljivost

S obzirom na prirodnu obnovljivost (vremensku mogućnost njihovog iscrpljivanja) primarna energija se može podijeliti na obnovljivu energiju i neobnovljivu energiju.



Pod pojmom neobnovljivih izvora energije se podrazumijevaju se fosilna goriva: uglj, nafta i derivati nafte, prirodni gas, mineralne naslage kao uljani škriljci, kao i fisiona (nuklearna) goriva.

Problem sa **neobnovljivim izvorima energije** jesu njihove ograničene količine kao i ograničena rasprostranjenost. Zalihe fosilnih goriva su ograničene i brzo nestaju.

Drugi problem je zagađenje čovjekove okoline. Sagorijevanje fosilnih goriva, naročito onih baziranih na nafti i uglju, predstavlja najvjerovatniji uzrok globalnog zagrijavanja. Promjena klimatskih uslova predstavlja jednu od najozbiljnijih opasnosti za Zemljin ekološki sistem.

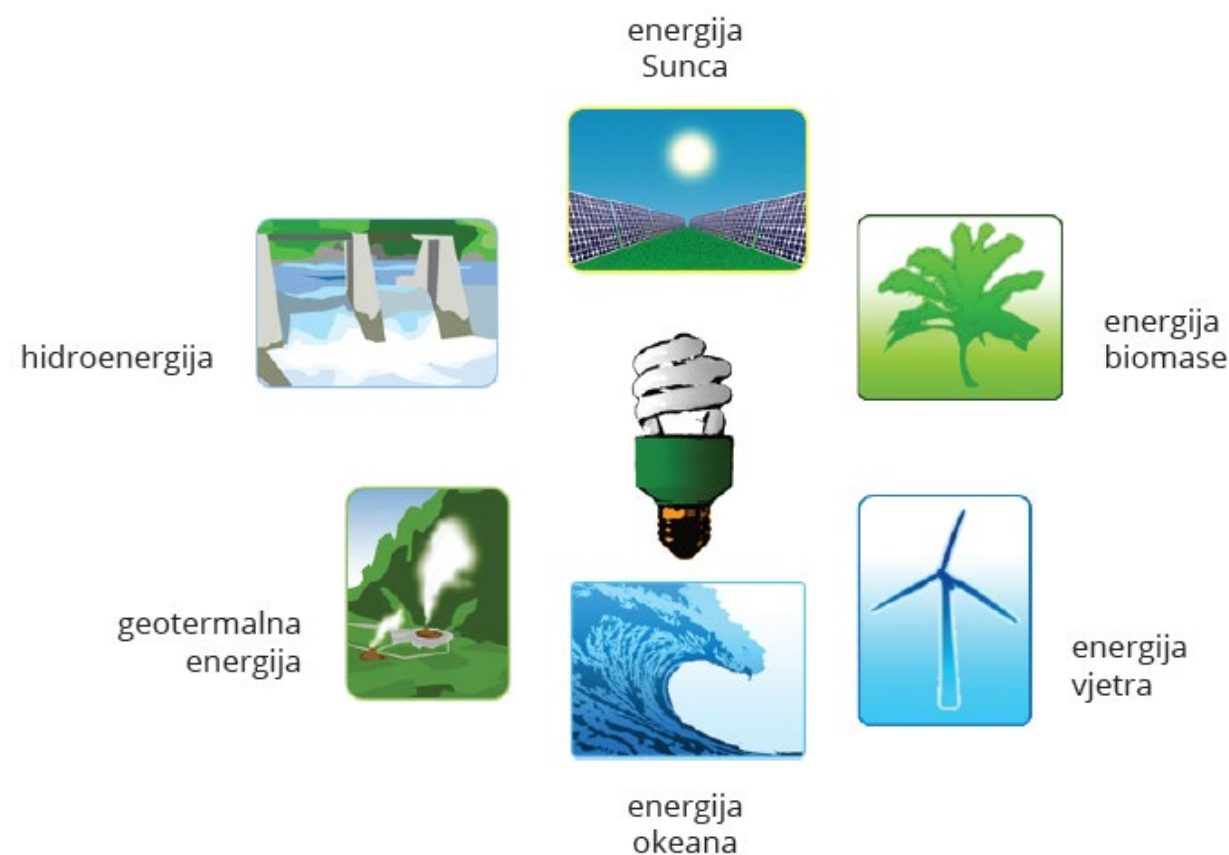
Primjena nuklearne energije predstavlja uslovno čistu tehnologiju, ali u slučaju havarija može doći do izuzetno velikih zagađenja sa ogromnim posledicama na čoveka i životnu okolinu. Takođe, veliki problem predstavlja i problem odlaganja radioaktivnog otpada.

Obnovljivi izvori energije su resursi koji se prirodno obnavljaju i **ne iscrpljuju se** njihovom upotrebom. Naziv “**obnovljivi izvori energije**” potiče iz činjenice da se njihove rezerve **kontinuirano ili ciklično obnavljaju u prirodi**, a količina korišćene energije ne premašuje brzinu njenog prirodnog obnavljanja.

Glavne vrste obnovljivih izvora energije su:

- **Sunčevo zračenje** – primarni izvor energije za gotovo sve procese na Zemlji. Sunčeva energija dolazi u obliku elektromagnetnog zračenja, od kojih dio dopire do površine planete, dok se ostatak apsorbira ili reflektuje u atmosferi. Intenzitet Sunčevog zračenja zavisi od geografskog položaja, doba godine i atmosferskih uslova.
- **Energija vjetra** – nastaje kao rezultat neravnomjernog zagrijavanja Zemljine površine i rotacije planete, što stvara razlike u pritisku i dovodi do kretanja vazдушnih masa. Brzina i pravac vjetra zavise od geografskih i karakteristika klimatskih uslova.
- **Vodne snage (hidroenergija)** – energija vode koja potiče iz hidrološkog ciklusa, gdje Sunčevo zračenje uzrokuje isparavanje, kondenzaciju i padavine, omogućavajući neprekidan tok rijeka i obnavljanje vodnih resursa. Snaga vodnih tokova zavisi od nadmorske visine, nagiba terena i količine padavina.
- **Biomasa** – organska materija biljnog i životinjskog porijekla, koja skladišti Sunčevu energiju putem fotosinteze. Obuhvata širok spektar materijala, uključujući drvo, poljoprivredne ostatke, organski otpad i specijalno uzgajane energetske biljke.
- **Geotermalna energija** – energija nastala raspadanjem radioaktivnih elemenata u unutrašnjosti Zemlje i toplotom preostalom iz perioda njenog formiranja. Toplota se prenosi kroz Zemljinu koru do površine, pri čemu su izvori najizraženiji u vulkanskim i tektonski aktivnim područjima.
- **Energija mora i okeana** – Obuhvata energiju plime i oseke, energiju morskih talasa i temperaturnih razlika u okeanima. Plima i oseka nastaju pod uticajem gravitacione sile Mjeseca i Sunca, dok morski talasi nastaju djelovanjem vjetra na površinu vode. Toplotna energija mora potiče iz temperaturnih razlika između površinskih i dubokih slojeva okeana.

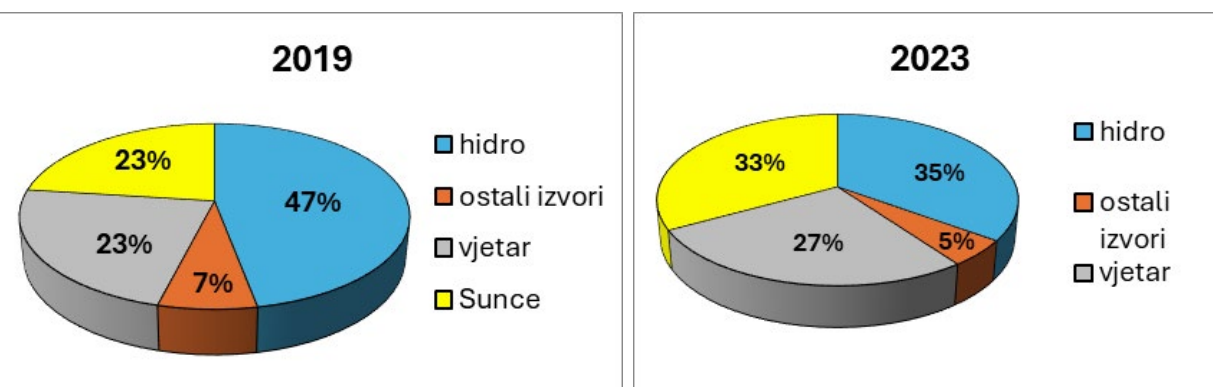
Jedan od glavnih razloga ubrzanog razvoja obnovljivih izvora energije jeste njihov znatno manji negativan uticaj na životnu sredinu u poređenju sa konvencionalnim izvorima.



Obnovljivi izvori energije

Obnovljivi izvori bilježe ubrzani rast u elektroenergetskom sektoru. Prema podacima Međunarodne agencije za obnovljivu energiju (IRENA), globalni kapacitet obnovljivih izvora energije dostigao je oko 3.064 GW do kraja 2023. godine.

U 2024. godini, investicije u čistu energiju gotovo su dvostruko veće od onih u fosilna goriva. Ukupna ulaganja u energetiku premašila su tri biliona dolara, od čega je oko dva biliona usmjereno na čiste tehnologije poput obnovljivih izvora energije, električnih vozila i nuklearne energije.



Distribucija instaliranih kapaciteta obnovljivih izvora energije

U nastavku ćemo se ukratko osvrnuti na obnovljive izvore energije, dok će detaljna analiza vjetra – ključnog izvora energije za tehnologiju pretvaranja kinetičke energije vjetra u električnu energiju – biti obrađena u narednim poglavljima ovog priručnika.

Solarna energija

Solarne elektrane pretvaraju Sunčevu energiju u električnu.

U toku jedne godine, Sunčeva energija koja dopijeva na Zemlju 20.000 puta je veća od energije neophodne da zadovolji potrebe cjelokupne populacije Zemlje.

U toku samo tri dana na površinu Zemlje dopijeva Sunčeva energija ekvivalentna energiji koju bi proizveli svi fosilni izvori i rezerve na Zemlji.

Pri prolasku kroz atmosferu dio energije se troši u složenim procesima, a dio se reflektuje i reemituje u svemir. Taj dio iznosi oko 1/3 energije koja je dospjela na ivicu atmosfere, tako da dotok energije do površine Zemlje iznosi prosječno 920 W/m².

Postoje dva tipa solarnih elektrana i to:

- termalne solarne elektrane
- fotonaponske solarne elektrane

Kod termalnih solarnih elektrana sistemima ogledala upućuju se Sunčevi zraci prema rezervoaru u kojem se nalazi tečnost koja se zagrijava. Zagrijana tečnost ide u izmjenjivač toplote, predaje toplotu vodi odnosno vodenoj pari. Dalji process je identičan onome u klasičnim termoelektranama.

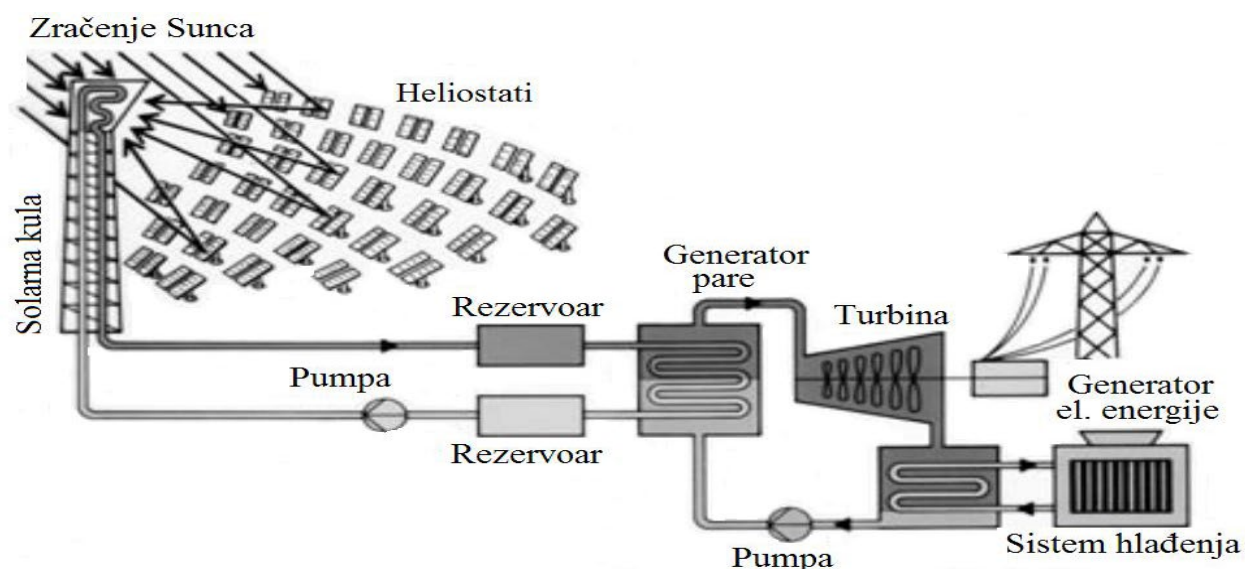


Solarna elektrana PS10 u Španiji

Mogućnost skladištenja toplote pomoću termalnih medija (poput rastopljene soli) ključna je prednost ovih sistema, jer omogućava kontinuiranu proizvodnju električne energije i u periodima kada direktno Sunčevo zračenje nije dostupno.

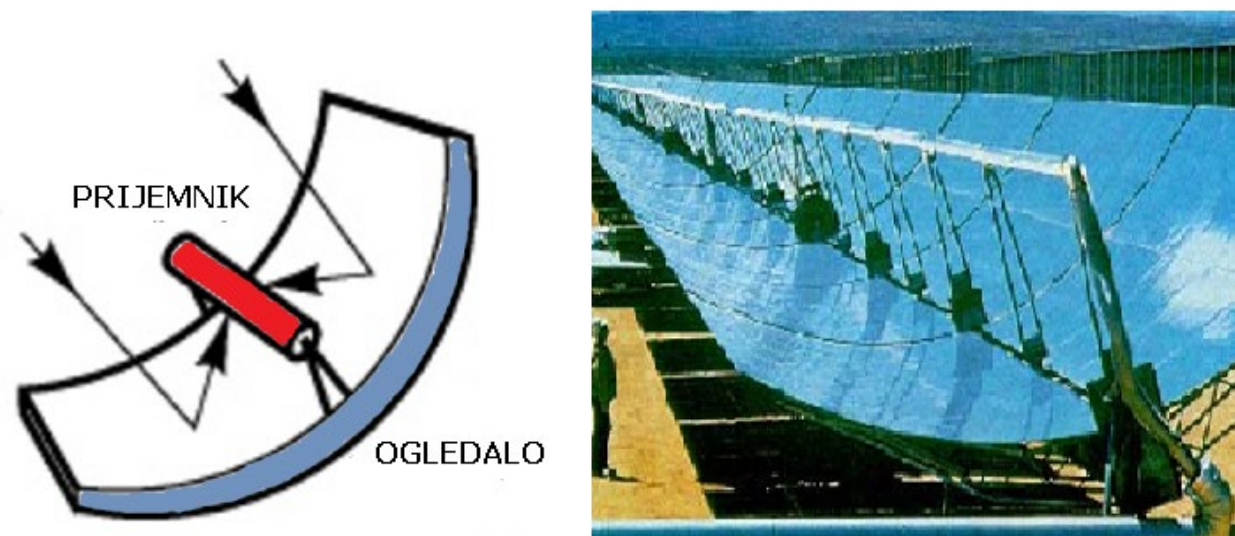
Solarne termoelektrane sa solarnim tornjem koriste polje heliostata.

Heliostat je uređaj koji ima obično ogledalo koje se okreće tako da tokom cijelog dana, reflektuje Sunčevu svjetlost ka određenom cilju tornju (helios-od grčke riječi za Sunce, i stat nastale od engleske riječi stationary-nepokretan)



Princip rada solarne termo elektrane sa heliostatima

Solarni sakupljači energije (parabolični kolektori) se sastoje od paraboličnih ogledala koja primaju toplotnu energiju Sunca i refokusiraju je na cijev koja se nalazi na žižnom mjestu parabole. U cijevi se nalazi tečnost na primjer sintetičko ulje kao toplotni medijum sa radnom temperaturom od 400°C. Tako zagrijani fluid cirkuliše do izmjenjivača toplote, gdje prenosi toplotu vodi i pretvara je u zasićenu paru. Para zatim pokreće turbinu povezanu s generatorom koji proizvodi električnu energiju.

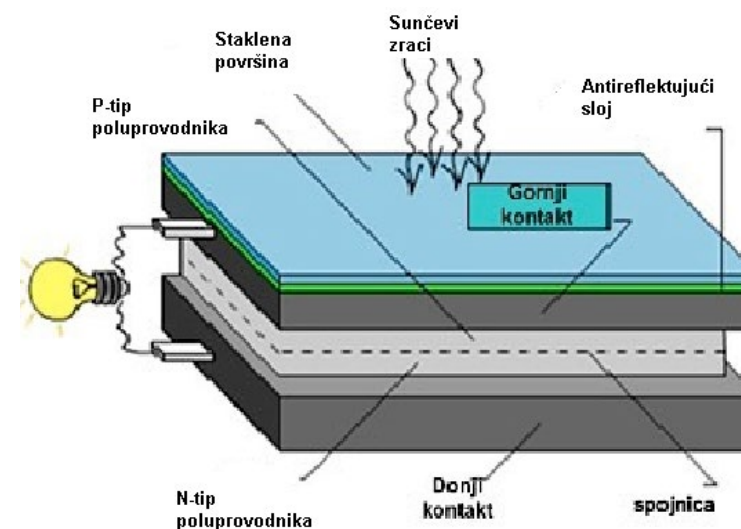


Parabolični kolektori

Drugi tip solarnih elektrana pretvara Sunčevu energiju direktno u električnu pomoću poluprovodničkih fotonaponskih ćelija. Iskoristivost ovih poluprovodničkih pretvarača je relativno mala pa su potrebne velike površine solarnih panela da bi se dobila određena količina električne energije. Dobra strana je veliki rok trajanja i jednostavno rukovanje, praktično bez održavanja, jer postrojenje nema pokretnih dijelova. Loša strana svih solarnih elektrana je što ne postoji kontinuitet u proizvodnji energije jer noću kada nema Sunca nema ni proizvodnje električne energije.

Čestice svjetlosti (fotoni) kada padnu na atom silicijuma dolazi do izbijanja elektrone iz kristalne rešetke. Uslijed ovoga se na jednoj strani poluprovodničkog spoja stvara višak negativnog naelektrisanja, a na drugoj strani pozitivnog pa dolazi do protoka struje.

Solarne ćelije imaju i dvije metalne mreže, tj. dva električna kontakta. Jedan se nalazi ispod poluprovodnog materijala, a drugi iznad. Gornja mreža ili kontakt skuplja elektrone sa poluprovodnika i vodi ih ka vanjskom potrošaču. S donjim kontaktnim slojem zatvara se električni krug.



Fotonaponska ćelija



Polje fotonaponski ćelija

Vodne snage (hidroenergija)

Vrste iskoristivog hidroenergetskog potencijala su akumulacije, vodotokovi rijeka i potoka, plima i oseka, morski talasi, podvodne struje i slično a osnovni hidroenergetski parametri su protok, visina pada, gustina vode i dr. Instrumenti za mjerenje hidroenergetskih parametara su mjerač protoka za protok, altimetri ili laserski mjerači visine za visina pada i hidrometri ili densitometri za gustinu vode.

Hidroelektrane pripadaju postrojenjima koja koriste vodu kao obnovljivi izvor energije. Imale su dominantnu ulogu u početnom stadijumu razvoja elektrifikacije u mnogim zemljama.

Svaka hidroelektrana se projektuje posebno, u zavisnosti od:

- količine vode
- meteoroloških prilika na širem području sliva,
- visine pada vode,
- specifičnosti terena (geoloških uslova koji vlada na vodotoku), kao i
- specifičnim zahtjevima (plovnost rijeke, navodnjavanje, biološki zahtjevi za vodotok...)

S obzirom na način korištenja vode postoje sledeće vrste hidroelektrana:

- Protočne HE u kojima se voda iskorištava kako dotiče ,
- Akumulacione HE u kojima se dio vode akumulira, da bi se mogla iskoristiti kad se pojavi potreba

Posebne vrste hidroelektrana su:

- Pumpno akumulacione ili reverzibilne hidroelektrane i
- Hidroelektrane koje iskorištavaju energiju mora (plima i oseka, energija talasa, morske struje...)

Prilikom projektovanja HE ne treba imati u vidu samo energetske korišćenje vode, nego i zahtjeve poljoprivrede (navodnjavanje, odvodnjavanje), snabdijevanje vodom, mogućnost plovidbe...

Izbor tipa HE zavisi od niza faktora koji utiču na racionalnu i ekonomičnu izgradnju postrojenja, pa je nemoguće navesti kruta pravila za izbor tipa postrojenja.

Princip rada hidroelektrane :

- Voda iz rijeke ili jezera dolazi pomoću sistema kanala ili cijevi do vodenih turbine
- Vodene turbine se pod dejstvom vode okreću, a kako su mehanički povezani rotori turbine i generator okreće se rotor generatora i proizvodi se struja;
- Proizvedena električna energija sistemom transformatora i dalekovoda odvodi se do potrošača.

Male hidroelektrane (mHE) su hidroenergetski sistemi manjih snaga, uglavnom izgrađeni na manjim vodotocima, odnosno na manjim rijekama, potocima, raznim kanalima, pa čak i sistemima za navodnjavanje.

U njima se energija ovih vodotoka pretvara u korisnu energiju, čime se obezbjeđuje relativno čista i pouzdana proizvodnja električne energije.

One su pretežno protočne elektrane, pa stoga i ne zahtijevaju značajne zemljane i građevinske radove i investicije koje obično traži izgradnja velikih brana i akumulacija. Osnovna razlika između velikih i malih hidroelektrana je u instaliranoj snazi, pri čemu je granična snaga koja dijeli ove hidroelektrane različita od zemlje do zemlje. Bez obzira na velika odstupanja u pojedinim zemljama sa stanovišta gornje granice instalirane snage (mHE od 1,5 MW do 30MW), u posljednje vrijeme najčešće se kao standard prihvata vrijednost ukupnog instaliranog kapaciteta do 10 MW (prihvaćen u EU – ESHA).

Mala hidroelektrana nije jednostavno samo smanjena verzija velike hidroelektrane. Da bi se zadovoljili osnovni zahtjevi koji se pred nju stavljaju, za njenu izgradnju potrebni su specifična oprema i uređaji, prije svega u smislu jednostavnosti, visine investicija i troškova rada i održavanja, načina rada, maksimuma pouzdanosti i sigurnosti, kao i jednostavnom korišćenju i održavanju od strane lica koja za to nijesu specijalizovana. Principijelna šema male hidroelektrane prikazana je na slici.



Najčešći raspored osnovnih elemenata male hidroelektrane

Energija mora i okeana

Energija mora i okeana je obnovljivi izvor energije koji koristi prirodne pojave u morima i okeanima, poput plime i oseke, talasa, morskih struja i temperaturnih razlika između površinskih i dubljih slojeva vode. Ove pojave mogu se iskoristiti za proizvodnju električne energije pomoću različitih tehnologija.

Sistemi za iskorišćavanje energije mora i okeana ne emituju ugljen-dioksid tokom rada, što doprinosi smanjenju zagađenja i ublažavanju klimatskih promena. Takođe, mogu

doprinjeti energetskej stabilnosti jer koriste prirodne procese koji su stalni i predvidivi, smanjujući zavisnost od fosilnih goriva. Međutim, njihova široka primjena zavisi od daljeg razvoja tehnologija, smanjenja troškova izgradnje i održavanja, usklađivanje sa propisima o zaštiti životne sredine.

Mora i okeani sadrže ogromne količine energije koje mogu biti iskorišćene za proizvodnju električne energije. Glavni izvori ove energije su: **energija plime i oseke**, **energija talasa**, **toplotna energija okeana (OTEC)** i **energija morskih struja**.

Ovi izvori se razlikuju po mehanizmu nastanka i tehnologijama koje se koriste za njihovu eksploataciju.

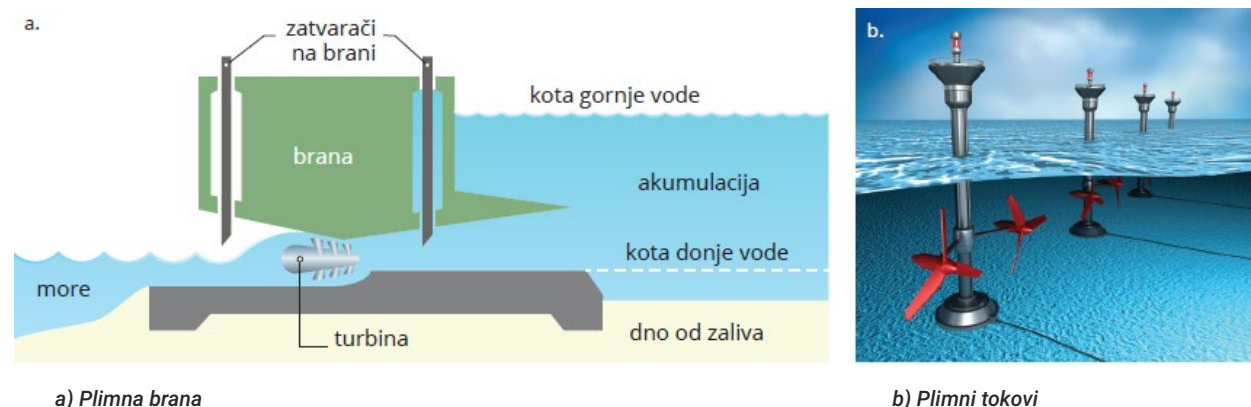
Elektrane koje koriste energiju plime i oseke (obnovljivi izvor energije) za pogon turbina, predstavljaju posebnu vrstu akumulacionih hidroelektrana. Plima i oseka (morske mijene) nastaju pod dejstvom Sunca i Mjeseca na vodu u morima i okeanima. Morske mijene su periodično dizanje (plima) i spuštanje (oseka) morske i okeanske površine i premještanje velikih vodenih masa prouzrokovano gravitacionom silom kojom Mjesec i Sunce djeluju na vodene mase i Zemljinom rotacijom.

Zbog toga što promjene oseke i plime izazivaju kretanje fluida, tj. vodene mase (kinetička energija), moguće je izvršiti pretvaranje te energije u električnu energiju pomoću posebnih elektrana. Ovakvi tipovi elektrana nijesu česti jer njihova izrada, održavanje i postizanje isplativosti trenutno traži značajna novčana sredstva. Danas su samo visokorazvijene i bogate zemlje razvile nekoliko takvih elektrana, iako dosta zemalja ima prirodni potencijal za njihovo korišćenje.

Tehnologija koja se koristi za konverziju veoma je slična tehnologiji koja se koristi u konvencionalnim hidroelektranama. Međutim, elektrane na plimu i oseku nikada ne mogu raditi konstantno, nego samo do pojave iduće plime i oseke.

Danas se uglavnom sreću dvije mogućnosti korišćenja energije plime i oseke:

- putem plimnih brana (slika a) ili
- iskorišćavanjem plimnih tokova (slika b).



Kod **plimnih brana** brana služi za sprečavanje ulaska vode u bazen/akumulaciju i za skupljanje i postepeno ispuštanje vode kada se plima počne povlačiti. Otvaranjem zatvarača/zapora i postepenim propuštanjem vode kroz otvor na turbini proizvodi se električna energija. Energija se može proizvoditi u jednom ili u oba smjera.

Plimni tokovi su velike količine vode koje teku okeanima uslijed promjene položaja vode – gibanja plime i oseke. Taj efekat se najčešće primjećuje u plitkim djelovima gdje postoje prirodna suženja na kojima se brzina vode značajno povećava. Sama tehnologija korišćenja ove energije slična je tehnologiji za pretvaranje energije vjetra, uz neke bitne razlike. Nažalost, ta tehnologija je još u svojim začecima, dosta je skupa i dostupna je samo razvijenim zemljama.

Područja istočne obale Kanade kao i zapadne obale Francuske i Velike Britanije su područja israženih plima i oseka. Najveća izmjerena razlika između plime i oseke od 16 metara izmjerena je u Kanadi.



Primjer razlike plime i oseke

Elektrana La Rance

Najpoznatija i ujedno najveća ovakva elektrana izgrađena je 1966 godine u Francuskoj. Nalazi se na ušću rijeke La Rance u more. U tom području prosječne plime su visine 8m, a maksimalne 13,5m. Snaga elektrane je 240MW.

Energija morskih struja

Elektrana električnu energiju stvara pomoću morskih strujanja – funkcioniše kao neka vrsta podvodne vjetrenjače. Pred jugo-zapadnom obalom Engleske je već postavljeno takvo probno postrojenje. Da bi se mogla uskoristiti strujanja u oba smjera, krila rotora se mogu rotirati za 180°.

Elektrana se sastoji od tri glavne komponente: 50 metara visoki toranj služi kao stub na kojem je postrojenje montirano, „pogonska prostorija“ koja sadrži kontrolni sistem, priključak na mrežu za prenos električne energije, hidraulički sistem za podizanje i spuštanje postrojenja, kao i rotor koji je pričvršćen na toranj i koji čini srce postrojenja.



Elektrana Strangford Lough

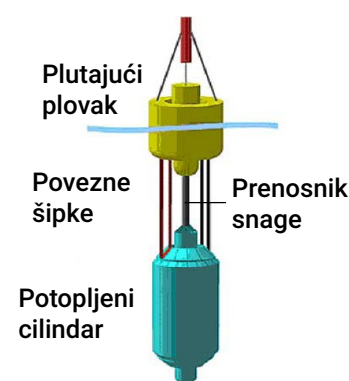
Energija talasa

Elektrane na morske talase jesu one koje koriste energiju talasa (obnovljivi izvor energije) za proizvodnju električne energije. Osnovni uzrok nastanka energije talasa je djelovanje vjetrova (posljedica dejstva Sunca) na površinu mora i okeana. Pošto se snaga talasa razlikuje od dnevnih mijena plime i oseke i stalnih cirkularnih okeanskih struja, za njeno korišćenje mora se odabrati povoljna lokacija na kojoj su talasi dovoljno česti i dovoljne snage.

Snagu talasa definišemo po jedinici površine normalne na smjer kretanja talasa. Ona može iznositi i 10kW/m^2 , ali biti i oko nule. Na primjer, za područje sjevernog Atlantika, na otvorenom moru između Škotske i Islanda u 50 odsto vremena, snaga talasa je 3.9kW/m^2 ili veća.

Energija talasa se može iskoristiti putem površinskih i podvodnih uređaja, kao i pomoću rezervoara.

Površinski uređaji (plutajući sistemi)– ove uređaje talasi pomjeraju gore-dolje po površini okeana i na taj način im prenose energiju.



Plutajući sistemi



Oscilirajući vodeni stub (OWC – Oscillating Water Column) – Strukture koje koriste oscilacije vode u komorama kako bi stvorile pritisak koji pokreće turbine. Vazduh u komorama se potiskuje talasima i na taj način pokreće generator. Primjer: **Limpet** u Škotskoj.



OWS sistem Islay LIMPET (Škotska)

Talasni zmijoliki uređaji (surface attenuators) – Duge plutajuće konstrukcije koje se savijaju pod dejstvom talasa i generišu električnu energiju. Ove tehnologije imitiraju način na koji se zmija kreće u vodi i koriste mehaničke spojeve za pretvaranje energije. Primer: tehnologija **Pelamis Wave Energy Converter (Pelamis WEC)**.



Pelamis WEC

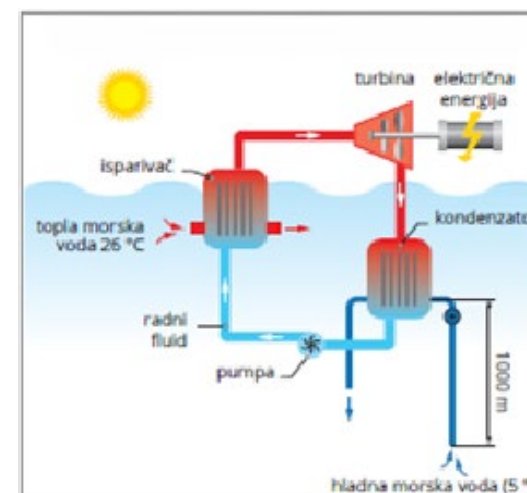
Podvodni uređaji – se kreću od balonskih predmeta pričvršćenih za dno okeana do dugih cijevi koje se protežu velikom dužinom. Kada talasi prouzrokuju njihovu oscilaciju oni pokreću turbinu i stvaraju električnu energiju.



Podvodni uređaji

Toplotna energija okeana (OTEC - Ocean Thermal Energy Conversion)

OTEC koristi temperaturnu razliku između toplih površinskih voda i hladnih dubokih voda tropskih okeana za proizvodnju električne energije. Veća temperaturna razlika omogućava efikasniju konverziju energije. U blizini ekvatora, razlika temperature između površinske i dubinske vode može dostići do $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, što ovaj izvor energije čini značajnim potencijalom. OTEC elektrane mogu raditi 24 sata dnevno tokom cijele godine, koristeći toplotnu energiju koju tropska mora neprestano akumuliraju.



Šematski prikaz OTEC sistema



Plutajuće OTEC postrojenje

Tri su osnovne tehnologije kod OTEC sistema:

- **Zatvoreni ciklus** – Koristi radni fluid s niskom tačkom ključanja, poput amonijaka. Topla morska voda prolazi kroz izmjenjivač toplote i prenosi energiju na radni fluid, koji isparava. Nastali gas pokreće turbinu povezanu s generatorom električne energije. Nakon toga, gas se hladi i kondenzuje uz pomoć hladne dubinske vode, vraćajući se u tečno stanje i zatvarajući ciklus.
- **Otvoreni ciklus** – Morska voda iz toplih površinskih slojeva uvodi se u komoru sa smanjenim pritiskom, gdje dio vode isparava zbog niskog pritiska. Nastala para pokreće turbinu, nakon čega se hladi kontaktom s hladnom dubinskom vodom i ponovo kondenzuje u tečnost.
- **Hibridni ciklus** – Kombinuje elemente zatvorenog i otvorenog ciklusa kako bi se povećala efikasnost. Topla voda isparava radni fluid kao u zatvorenom ciklusu, dok se istovremeno dio vode u otvorenom ciklusu direktno isparava pod niskim pritiskom

Geotermalna energija

Geotermalna energija je obnovljivi izvor energije koji potiče iz unutrašnjosti Zemlje i nastaje kao posljedica visoke temperature njenih dubokih slojeva, koja se kreće između 4000°C i 7000°C . Ova toplota je rezultat **prirodnog raspadanja radioaktivnih elemenata** poput uranijuma, torijuma i kalijuma, kao i ostataka termalne energije nastale prilikom formiranja planete.

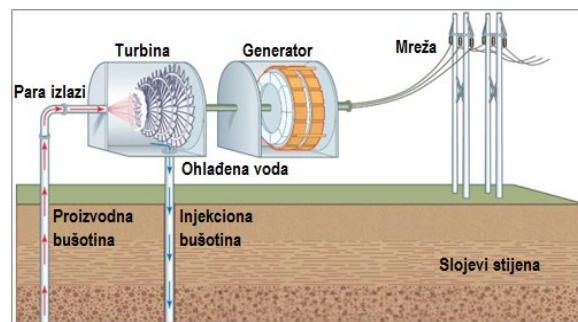
Temperatura Zemljine unutrašnjosti raste s dubinom – na **80 do 100 km**, temperatura stijena dostiže **600°C do 1200°C** . Ova toplota konstantno struji prema površini i može se iskoristiti za **proizvodnju električne energije, grijanje objekata i industrijske procese**.

Geotermalna energija ima široku primjenu, od direktnog grijanja prostora i industrijskih postrojenja do proizvodnje električne energije u geotermalnim elektranama. Geotermalne elektrane

Geotermalne elektrane koriste toplotnu energiju iz unutrašnjosti Zemlje za proizvodnju električne energije. Para ili vruća voda iz dubokih slojeva dovodi se do turbina koje pokreću generatore, koji proizvodi električnu energiju. Nakon prolaska kroz turbinu, para se kondenzuje, a ohlađena voda vraća nazad u podzemni izvor kako bi se proces mogao ponavljati.

Postoje tri osnovne vrste geotermalnih elektrana:

- **Elektrane na suvu paru** – koriste najstariji način pretvaranja geotermalne energije u električnu. Para iz unutrašnjosti Zemlje direktno se dovodi do turbine, koja pokreće generator. Ovaj tip elektrane prvi put je primijenjen 1904. godine u Toskani, Italija. Danas se rijetko koriste zbog specifičnih geoloških uslova potrebnih za njihovo funkcionisanje.



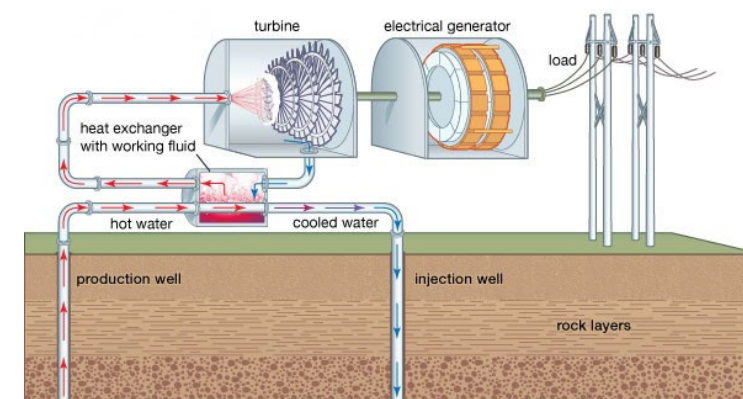
Šematski prikaz elektrane na suvu paru

Elektrane sa fleš-parom – koriste podzemnu vodu pod visokim pritiskom, koja dolaskom na površinu naglo prelazi u paru i pokreće turbinu.

Kod ovog tipa elektrane, vruća voda se pod velikim pritiskom dovodi do rezervoara sa niskim pritiskom gdje se pretvara u paru koja pokreće turbinu. U ovom procesu, para se hladi, kondenzuje natrag u vodu i ponovo se vraća u unutrašnjost zemlje kako bi se ponovo zagrijala i iskoristila. Većina geotermalnih elektrana su ovog tipa.

Elektrane sa binarnim ciklusom

– Kod elektrana sa binarnim ciklusom, vruća voda iz unutrašnjosti zemlje se koristi za zagrijavanje druge tečnosti do tačke ključanja kada se ona pretvara u paru i pokreće turbinu. Ove elektrane su posebno pogodne za područja sa umjerenim geotermalnim resursima, jer omogućavaju efikasno iskorišćavanje nižih temperatura. Takođe, imaju zatvoren sistem, što smanjuje emisije gasova i doprinosi energetskej održivosti.



Šematski prikaz elektrane sa binarnim ciklusom

Direktna primjena geotermalne energije

Pored proizvodnje električne energije, geotermalna energija se direktno koristi za grijanje i druge praktične primjene, omogućavajući efikasno i ekološki prihvatljivo korišćenje toplotne energije

- **Grijanje objekata** – Geotermalna voda se koristi za **daljinsko grijanje** naselja i gradova. Na Islandu, više od 90% domaćinstava koristi geotermalnu energiju za grijanje.
- **Poljoprivredu i akvakulturu** – Omogućava **zagrijavanje plastenika**, čime se produžava vegetacioni period, kao i kontrolisani uzgoj ribe i školjki u toplijim vodama.
- **Industrijsku primjenu** – Koristi se za **sušenje poljoprivrednih proizvoda, pasterizaciju mlijeka** i druge procese koji zahtijevaju toplotu.
- **Geotermalne toplotne pumpe** – Ova tehnologija koristi **plitke geotermalne izvore** za **grijanje i hlađenje zgrada**, povećavajući energetske efikasnost uz niske operative troškove.

Iako se geotermalna energija smatra praktično neiscrpim resursom, njena široka primjena zavisi od geoloških uslova, troškova istraživanja i bušenja, kao i od tehničkih izazova kao što su korozija cjevovoda i taloženje minerala u opremi.

Prednosti geotermalne energije

- Geotermalna energija je obnovljivi izvor energije ukoliko se sa rezervoar sa vrućom vodom pravilno upravlja tj. ukoliko brzina ekstrakcije energije nije veća od brzine prirodnog punjenja rezervoara

- Geotermalna energija je čista, zatvorenog je tipa i ne doprinosi stvaranju efekta staklene bašte.
- Ekonomski je isplativa. Direktno korišćenje geotermalne energije je mnogo jeftinije od energije dobijene korišćenjem fosilnih goriva.
- Generisanje energije je konstantno i ne zavisi od vremenskih uslova
- Geotermalne elektrane zahtijevaju manje površine nego li je to slučaj sa termoelektranama, solarnim elektranama ili vjetroelektranama.

Biomasa

Biomasa predstavlja gorivo koje se dobija od organskih materija, nastaje iz obnovljivih i održivih izvora energije i može se koristiti za stvaranje električne ili toplotne energije.

Neki primjeri materijala koji sačinjavaju biomasu su – otpadna građa, šumski ostaci, određeni usjevi, đubrivo i neke vrste otpada.

Uz konstantno snabdijevanje otpadom – od građevinskih radova i krčenja terena, preko drveta koje se ne koristi u proizvodnji papira, do čvrstog komunalnog otpada, proizvodnja zelene energije može se neograničeno nastavljati.

Biomasa je obnovljivi izvor goriva za proizvodnju energije jer će ostaci uvijek postojati – otpadno drvo, šumski resursi i mlinski ostaci.

Energija iz biomase proizvedena je iz obnovljivog organskog otpada koji se inače odlaže na deponije ili spaljuje.

Kada se sagorijeva, energija biomase se oslobađa u vidu toplote. Ako imate kamin, već učestvujete u upotrebi biomase, jer je drvo koje gori zapravo biomasa.

U elektranama na biomasu otpadno drvo ili drugi otpad sagorijeva kako bi se proizvela para koja pokreće turbinu za proizvodnju električne energije ili koja obezbjeđuje toplotu za potrebe industrije ili domaćinstava.

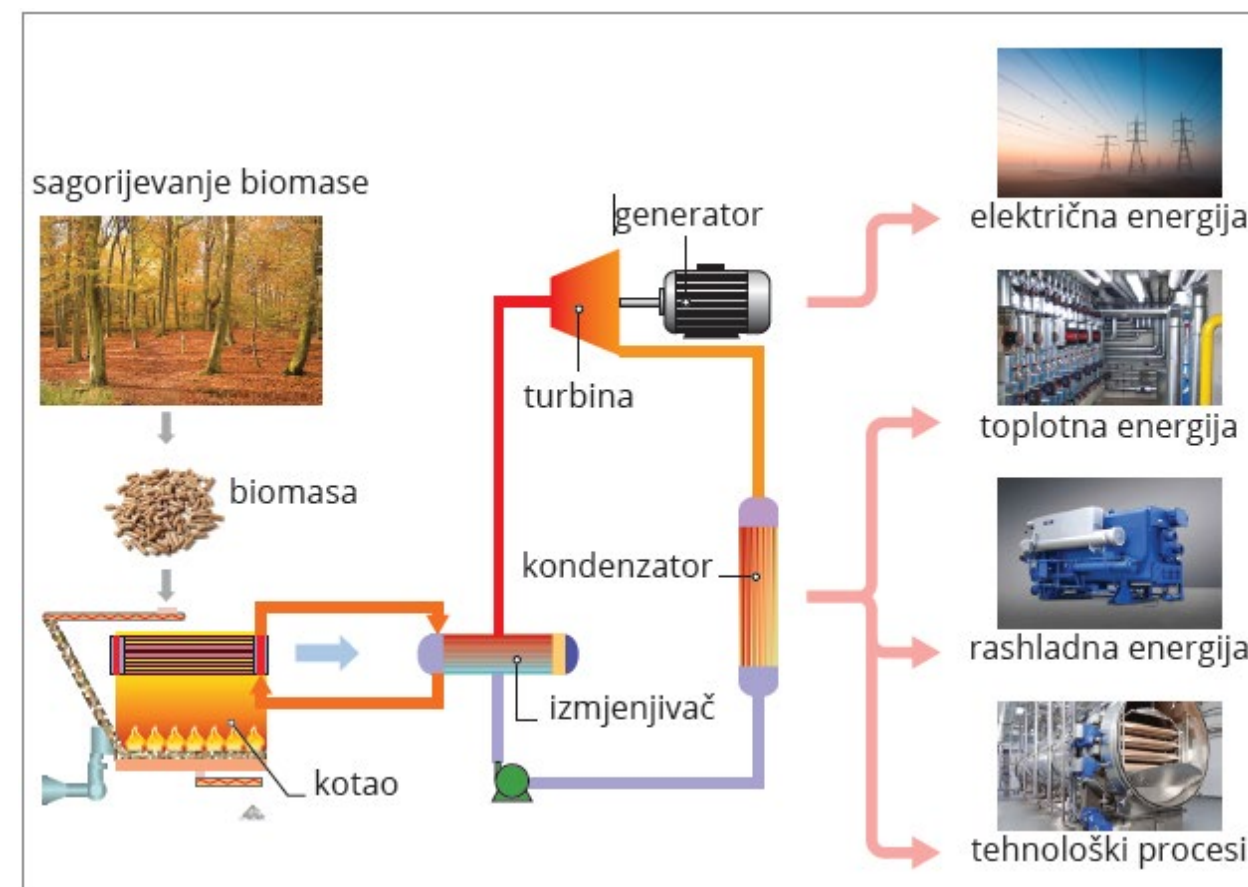
Biomasa je bogat resurs: organska materija nas okružuje, od šuma i obradivih površina do otpada i deponija. Sva biomasa prvobitno dobija energiju od Sunca – zahvaljujući fotosintezi, resursi biomase ponovo rastu u relativno kratkom vremenskom periodu u poređenju sa izvorima fosilnih goriva kojima su potrebne stotine miliona godina da se nadoknade. To znači da sigurno nećemo ostati bez biomase za proizvodnju energije.

Preusmjeravanje otpada na postrojenja za proizvodnju energije na biomasu umjesto na deponije ne samo da pomaže u smanjenju veličine deponija i ublažava ove rizike, već koristi i materijale koji bi inače bili neiskorišćeni.

- **Princip rada elektrana na biomasu** u osnovi se zasniva na termodinamičkom Rankinovom ciklusu, koji iskorištava toplotu nastalu sagorijevanjem biomase za proizvodnju pare ili zagrijavanje specijalnog radnog fluida. Para visoke temperature i pritiska pokreće turbinu povezanu s električnim generatorom, koji proizvodi električnu energiju. Nakon ekspanzije, para se hladi u kondenzatoru, prelazi u tečno stanje i

pomoću pumpe vraća se u kotao, čime se ciklus zatvara. Istovremeno, dio toplote može se iskoristiti za grijanje vode i različite tehnološke procese, što obezbjeđuje efikasnije iskorištavanje raspoložive energije.

- **Kogeneracijska postrojenja na biomasu** istovremeno proizvode električnu i toplotnu energiju. Toplota koja bi se u klasičnim elektranama gubila kroz kondenzatore, ovdje se koristi za grijanje prostora, pripremu tople vode ili industrijske procese. Na taj način, uz minimalne gubitke, znatno se povećava efikasnost postrojenja i optimizuje iskorištavanje biomase kao primarnog energetskog izvora.
- **Organski Rankinov ciklus (ORC)** je sve zastupljenija tehnologija u kogeneracijskim postrojenjima na biomasu. Specifičnost ove tehnologije ogleda se u korišćenju organskog fluida niže tačke isparavanja, što omogućava efikasniju konverziju toplote iz nižih temperaturnih izvora i često olakšava rad manjih, decentralizovanih sistema. Na taj način, u poređenju s klasičnim vodeno-parnim postrojenjima, ORC postiže bolju iskorišćenost energije iz biomase, posebno kada se radi o nižim temperaturama sagorijevanja ili ograničenim količinama toplote.



Šematski prikaz ORC sistema na biomasu

Osim početnih troškova za pokretanje postrojenja, postoje dodatni troškovi povezani sa vađenjem, transportom i skladištenjem biomase prije proizvodnje električne energije. Ovo je dodatni trošak koji druge obnovljive tehnologije ne moraju da uzimaju u obzir, budući da se za gorivo oslanjaju na besplatne resurse na licu mjesta poput plime, Sunce, vjetra.

Ukupni troškovi u velikoj mjeri zavise od vrste biomase i načina na koji se pretvara u električnu energiju. Međutim, iako je biomasa često skuplja od alternativnih obnovljivih izvora energije, najskuplje vrste bioenergije su i dalje jednake ili jeftinije od fosilnih goriva. Bioenergija ne zahtjeva bušenje u zemlji, što nosi veliko smanjenje novčanih troškova i povećanje čistoće ekstrakcije.

Vjetroeletkrane

Vjetroeletkrane su sistemi koji se sastoje od više vjetroatregata povezanih u jedinstvenu cjelinu. Mogu biti manje, sa nekoliko agregata za lokalnu potrošnju, ili velike, sa desetinama, pa i stotinama vjetroatregata smještenih na odgovarajućim lokacijama. Prema položaju, dijele se na:

- **Kopnene (onshore) vjetroeletkrane** – postavljaju se na kopnu, na ravničarskim ili brdskim područjima s povoljnim vjetrovima. Karakteriše ih lakša izgradnja i održavanje, ali i niži prosječni intenzitet vjetra u odnosu na morske vjetroeletkrane.
- **Morske (offshore) vjetroeletkrane** – grade se na morima i okeanima, najčešće na plitkim priobalnim područjima, gdje su vjetrovi jači i stabilniji. Iako omogućavaju veću proizvodnju energije, njihova gradnja i održavanje su tehnički zahtjevniji i skuplji.
- **Vjetroeletkrane na planinskim prevojima** – postavljaju se na povišenim terenima, gdje se vjetar uslijed orografskih efekata ubrzava, što omogućava efikasnije iskorišćenje energije.
- **Vjetroeletkrane u pustinjama** – koriste stabilne, suve klimatske uslove s konstantnim vjetrovima, iako je problem pješčana erozija i specifična zaštita oprem



Primjeri različitih vrsta vjetroeletkrana

Hibridne vjetroeletkrane

Hibridne vjetroeletkrane kombinuju energiju vjetra sa drugim izvorima energije, najčešće solarnom energijom, dizel-generatorima ili baterijskim sistemima. Ovi sistemi su posebno značajni na izolovanim lokacijama, kao što su ostrva, udaljena naselja i istraživačke stanice, gdje je neophodna stabilnost napajanja bez oslanjanja na centralizovanu mrežu. Hibridni sistemi se često koriste i na modernim jedrenjacima sa integrisanim pogonskim rješenjima, čime se povećava energetska efikasnost i smanjuje potrošnja goriva.

Razvoj vjetroeletkarskih sistema značajno je unaprijedio iskorišćenje energije vjetra u različitim sektorima. Vjetroatregati, vjetroeletkrane i vjetroturbine za specijalne namjene omogućavaju sve širu primjenu ovog obnovljivog izvora energije, čime se doprinosi energskoj stabilnosti i smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu.



Hibridna elektrana koja koristi energiju talasa, vjetra i sunca. Takozvani Hybrid Energy Converter (HEC)

Iako se danas novi izvori energije koriste za proizvodnju samo malog dijela ukupne svijetu potrebne energije, zbog mnogobrojnih prednosti njihovog korišćenja ovaj udio bi trebalo znatno uvećati već u bliskoj budućnosti.

Neke od njihovih najbitnijih prednosti:

- Ovi izvori energije imaju vrlo važnu ulogu u smanjenju emisije ugljen-dioksida (CO₂) u atmosferu, što se veoma potencira u energetskej politici Evropske unije.
- Povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetskej održivost sistema jedne zemlje, kao i njenu ekonomsku i državnu nezavisnost. U isto vrijeme pomaže u poboljšanju sigurnosti dostave energije i tako smanjuje zavisnost od uvoza energetskih sirovina, goriva kao i električne energije.
- U dogledno vrijeme se očekuje da će većina obnovljivih izvora energije postati ekonomski konkurentna konvencionalnim izvorima energije.

Za veće korišćenje energije iz obnovljivih izvora veoma je važna razvijena ekološka svijest stanovništva, kao i politička volja za investiranje u postrojenja za proizvodnju tzv. čiste ili zelene energije.



VJEŽBA

Istraživački rad – Analiza energetske postrojenja u regionu:

Male hidroelektrane
Solarne fotonaponske elektrane
Elektrane na biomasu
Geotermalne



KVIZ

Kviz 1: Obnovljivi izvori energije

<https://forms.office.com/e/YZ1j2ZSCB0>



VIDEO

Vrste obnovljivih izvora električne energije

<https://www.energyencyclopedia.com/en/free-downloads/videos/types-of-res-and-the-use-of-renewable-56>

Upoređivanje obnovljivih izvora električne energije

<https://www.energyencyclopedia.com/en/free-downloads/videos/comparison-of-renewable-energy-source-55>

3. ZAŠTITA NA RADU I ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE

3.1. Moguće opasnosti po zdravlje i sigurnost radnika pri radu na vjetroelektranama

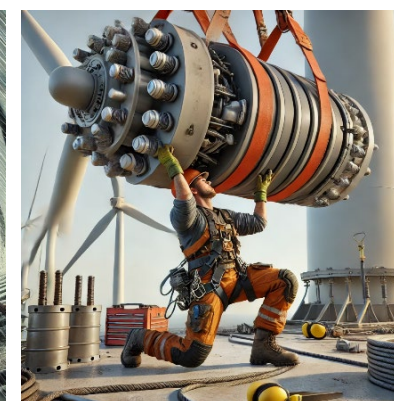
Rad u okruženju vjetroelektrana podrazumijeva izlaganje različitim faktorima radne sredine koji mogu negativno uticati na zdravlje i sigurnost radnika.

Faktori radne sredine: ekstremne temperature (visoke i niske), relativna vlažnost, vjetar, Sunčeva svjetlost, buka, vibracije, loša podloga, rad na visini, teški tereti, dugotrajan nepravilan položaj tijela, prisustvo opasnih napona, atmosferski prenaponi, zagađenost, prisustvo opasnih materija i hemikalija i dr.

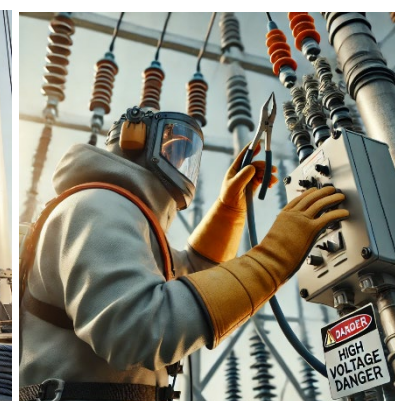
Ekstremne temperature, kako visoke tako i niske, mogu izazvati ozbiljne zdravstvene probleme ako radnici nisu adekvatno zaštićeni. Visoke temperature, u kombinaciji s direktnom izloženosti Sunčevoj svjetlosti, mogu dovesti do toplotnog udara, dehidracije i opekotina, dok niske temperature povećavaju rizik od smrzotina i hipotermije. Relativna vlažnost vazduha dodatno utiče na osjećaj temperature i može otežati termoregulaciju organizma. Snažan vjetar, koji je karakterističan za područja u kojima se nalaze vjetroelektrane, ne samo da otežava izvođenje radova već može izazvati gubitak ravnoteže, naročito pri radu na visini.



Vremenske neprilike



Podizanje teškog tereta



Opasnost od visokog napona

Buka i vibracije koje potiču od rada generatora i drugih elektroenergetskih komponenti mogu dugoročno oštetiti sluh, izazvati glavobolje i negativno uticati na nervni sistem. Kontinuirano izlaganje vibracijama, posebno kod radnika koji rukuju alatima ili teškim mašinama, može izazvati poremećaje u cirkulaciji i probleme s mišićno-koštanim sistemom. Loša podloga na gradilištu, neravni i klizavi tereni, kao i prisustvo prepreka predstavljaju povećan rizik od padova, uganuća i preloma.

Rad na visini spada među najopasnije aktivnosti u okviru izgradnje i održavanja vjetroelektrana. Radnici često moraju obavljati zadatke na stubovima i gondolama vjetroturbina, gdje su izloženi opasnosti od pada sa velike visine. Osiguranje pomoću zaštitnih pojaseva i pravilna upotreba kolektivne i lične zaštitne opreme ključni su za minimizaciju rizika. Nošenje teških tereta tokom uspinjanja i spuštanja dodatno povećava opterećenje mišićno-koštanog sistema i može dovesti do povreda kičme i zglobova.

Dugotrajan nepravilan položaj tijela prilikom izvođenja radova može uzrokovati bolove u leđima, vratu i ramenima, što s vremenom može rezultirati hroničnim oboljenjima.

Pored fizičkih opasnosti, prisustvo električne energije u radnom okruženju predstavlja ozbiljan rizik.

Mogući izvori opasnosti od visokog napona: direktni dodir djelova pod naponom, približavanje djelovima uređaja pod visokim naponom, previsoki napon dodira i koraka, električni luk, indukovani napon, zaostali napon, statički elektricitet, uticaj električnog i magnetskog polja, atmosferski prenaponi i dr.

Direktni dodir sa djelovima pod naponom može izazvati teške povrede ili smrt, dok približavanje visokonaponskim instalacijama bez odgovarajuće zaštite nosi opasnost od indukovanog napona. Visoki napon dodira i koraka može uzrokovati ozbiljne opekotine i unutrašnje povrede tkiva, a električni luk može dovesti do termičkih oštećenja kože i očiju. Propisima je utvrđena granična vrijednost napona dodira koja je opasna po život i zdravlje čovjeka i ona iznosi 50 V za naizmjeničnu (za 50 Hz) odnosno 120 V za jednosmjernu struju. Veće vrijednosti napona dodira povećavaju rizik od elektrošoka, fibrilacije srca i toplotnih oštećenja tkiva, zavisno od trajanja izloženosti i električne otpornosti tijela. Indukovani i zaostali naponi predstavljaju dodatne izvore opasnosti, naročito pri održavanju sistema koji su privremeno isključeni, dok statički elektricitet može izazvati nepredvidive elektroenergetske incidente. Uticaj električnog i magnetskog polja na ljudski organizam još uvijek je predmet istraživanja, ali se smatra da dugotrajna izloženost može izazvati zdravstvene tjege. Prisustvo atmosferskih prenapona, naročito tokom olujnog nevremena, dodatno povećava rizik od udara groma i oštećenja električne opreme.



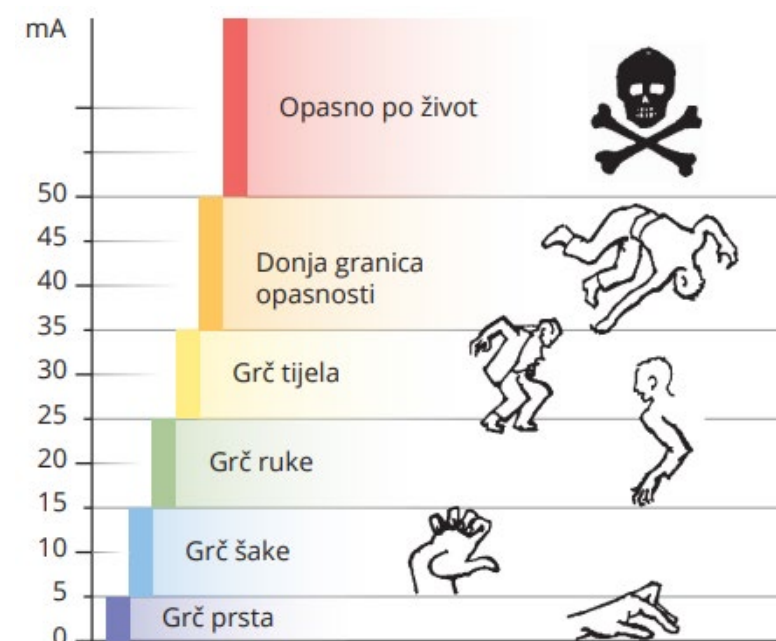
VIDEO

Napon koraka i dodira

<https://www.youtube.com/watch?v=8sPp8G8a48E>

Dejstva električne struje na ljudski organizam mogu biti toplotna, mehanička, elektrohemijaska i biološka. Toplotni efekti manifestuju se kroz opekotine i uništavanje tkiva uslijed visokih temperatura koje nastaju tokom električnog udara. Mehanički efekti uključuju grčenje mišića, što može dovesti do gubitka kontrole nad pokretima i ozbiljnih povreda. Elektrohemijaski efekti ogledaju se u promjenama sastava krvi i oštećenju nervnog sistema, dok biološki efekti uključuju poremećaje u radu srca, što može rezultirati srčanim zastojem.

Na slici je prikazano djelovanje električne struje na čovječe tijelo, gdje su dati i efekti koji se pri tome javljaju i koji zavise od jačine struje.



Djelovanje električne struje na čovječe tijelo

Pored električnih opasnosti, prisustvo opasnih materija i hemikalija u radnom okruženju može uzrokovati trovanja, iritacije kože i očiju, kao i respiratorne probleme. U pojedinim segmentima rada koriste se različiti hemijski preparati koji, ukoliko nisu pravilno skladišteni i rukovani, mogu izazvati teške posljedice po zdravlje radnika. Prisustvo zagađenosti u vazduhu, posebno u vidu prašine i sitnih čestica, može uzrokovati dugotrajna oštećenja pluća i povećati rizik od profesionalnih bolesti disajnih organa.

Još jedan važan aspekt jeste opasnost od požara.

Izvori opasnosti od požara: kratki spojevi i preopterećenja u električnim instalacijama, neispravne električne komponente, skupljanje zapaljivog materijala, povećana temperatura i dr.

Požari predstavljaju dodatnu prijetnju po sigurnost radnika, jer se u elektroenergetskim postrojenjima često javljaju uslijed kratkih spojeva i preopterećenja u električnim instalacijama. Neispravne električne komponente, oštećeni kablovi i neadekvatno održavanje opreme mogu povećati rizik od izbijanja požara. Sakupljanje zapaljivih materijala, kao što su ulja i maziva korišćena u mehaničkim djelovima turbina, dodatno povećava mogućnost širenja plamena. Povećana temperatura komponenti može izazvati samozapaljenje, naročito ako sistemi hlađenja ne funkcionišu pravilno.



Opasnost od požara

U slučaju nesreće, brzo i pravilno pružanje prve pomoći može biti presudno za spašavanje života. Poznavanje osnovnih postupaka reanimacije, pružanja pomoći pri opekotinama, lomovima i strujnim udarima omogućava radnicima da adekvatno reaguju u hitnim situacijama. Evakuacioni planovi i obuke za vanredne situacije igraju ključnu ulogu u minimiziranju posljedica nesreća i zaštiti zdravlja zaposlenih. Na svim radnim i pomoćnim prostorijama, kao i na gradilištima sa električnim postrojenjima i uređajima, postoji stalna opasnost od strujnog udara. Posljedice mogu biti bezazlene ili kobne, zavisno od brojnih faktora. Strujni udar može izazvati lakša ili teža oštećenja zdravlja, u zavisnosti od okolnosti nesreće.

Postupak spašavanja unesrećenog zavisi od toga da li je riječ o niskom ili visokom naponu. Prvi korak je isključenje napona u dijelu postrojenja ili instalacije s kojim je unesrećeni u kontaktu. Kod niskog napona, napon se isključuje pomoću prekidača, vađenjem utikača ili osigurača, a ako to nije moguće, unesrećeni se odvaja izolacionim predmetima poput kuka, motki ili kliješta prilagođenih tom naponu. Spasilac mora stajati na suvoj podlozi i izbjegavati dodir sa zidovima ili drugim osobama. Ni u kom slučaju unesrećeni ne smije biti dodirnut direktno.

Kod visokog napona, isključenje može izvršiti samo stručno osposobljena osoba. Prije isključenja, unesrećenom se ne smije približavati, niti ga dodirivati, čak ni izolovanim sredstvima. Nakon isključenja, isključeni dijelovi moraju biti uzemljeni prije nego što se pruži pomoć.



Oslobađanje unesrećenog uslijed strujnog udara

Nakon oslobađanja, potrebno je provjeriti stanje unesrećenog – disanje, puls i eventualno krvarenje. Ako krvari, prvo treba zaustaviti krvarenje. U slučaju prestanka disanja ili rada srca, odmah započeti:

- vještačko disanje,
- spoljašnju masažu srca,
- kombinovane metode oživljavanja u slučaju prividne smrti.

O svakoj nesreći odmah obavijestiti zdravstvenu ustanovu.

Sigurnost radnika u vjetroeletktranama zavisi od pravilne primjene propisanih mjera zaštite na radu, korišćenja odgovarajuće zaštitne opreme i kontinuirane obuke. Svijest o potencijalnim opasnostima i poštovanje preventivnih mjera ključni su faktori u sprečavanju nesreća i osiguravanju bezbjednog radnog okruženja.

3.2. Primjena mjera bezbjednosti i zaštite na radu prilikom izvođenja radova na vjetroeletktranama

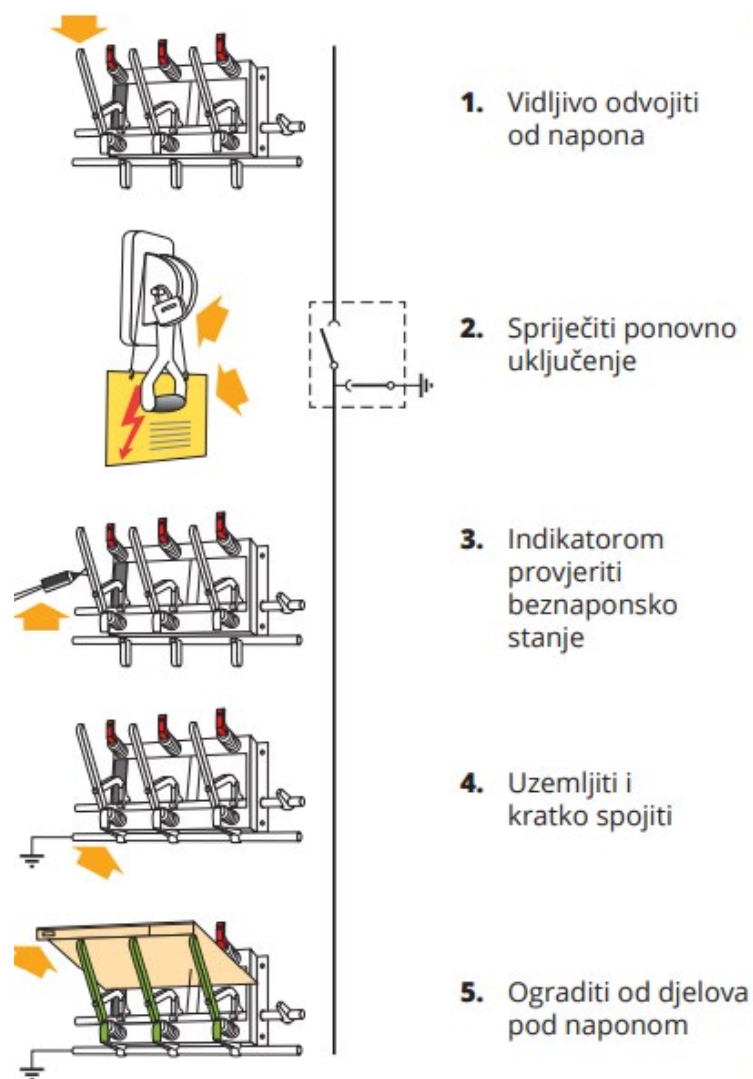
Prilikom izvođenja radova na vjetroeletktranama, ključna je primjena mjera bezbjednosti i zaštite na radu kako bi se smanjili rizici od povreda i nesreća. Načini rada u odnosu na prisustvo napona dijele se na radove u beznaponskom stanju, radove u blizini napona i radove pod naponom. Radovi u beznaponskom stanju podrazumijevaju potpuno isključenje napajanja uz sprovođenje propisanih mjera zaštite kako bi se spriječilo nenamjerno ponovno uključanje. Radovi u blizini napona zahtijevaju dodatne mjere opreza, uključujući upotrebu zaštitnih barijera i sigurnosnih odstojanja. Radovi pod naponom izvode se uz posebne tehničke i organizacione mjere, kao i upotrebu specijalizovane opreme i izolacionih alata.

Zaštitna sredstva i oprema dijele se na lična i kolektivna. Lična zaštitna sredstva uključuju kacige, zaštitne naočare, vizire, rukavice, zaštitnu odjeću i obuću, sigurnosne pojaseve i opremu za rad na visini. Kolektivna zaštitna sredstva obuhvataju izolacione barijere, zaštitne pregrade, upozoravajuće oznake i sredstva za obezbjeđenje radnog prostora. Pravilan izbor i upotreba zaštitnih sredstava ključni su za minimizaciju rizika pri radu.

Mjere bezbjednosti pri radu temelje se na primjeni “pet zlatnih pravila” sigurnosti, koja uključuju isključenje napona, osiguranje od ponovnog uključanja, provjeru odsustva napona, uzemljenje i kratko spajanje te ograđivanje i označavanje radnog područja. Pored toga, važno je koristiti izolacione zaštitne pregrade, ploče i prekrivače kako bi se spriječio nenamjerni kontakt sa djelovima pod naponom. Postavljanje ograda, traka i oznaka upozorenja dodatno doprinosi bezbjednosti radnog prostora.

Mjere bezbjednosti:

- “pet zlatnih pravila”
- postavljanje izolacionih zaštitnih pregrada, ploča, prekrivača
- postavljanje ograda i oznaka upozorenja, ograđivanje mjesta rada i dr.
- zabrana rada pod naponom i dr.



Pet zlatnih pravila

Prije početka radova neophodno je provjeriti ispravnost zaštitnih sredstava i opreme. Svaka zaštitna kaciga, rukavica, pojas ili drugi element mora biti tehnički ispravan i odgovarati propisanim standardima. Pored toga, obavezno je postavljanje sredstava za obilježavanje i obezbjeđivanje radnog prostora, uključujući zaštitne ograde, trake za obilježavanje radova i privremenu saobraćajnu signalizaciju.

Lična zaštitna sredstva: zaštitne kacige, zaštitne naočare, viziri, štitnici za zavarivanje, štitnici za uši, maske za prašinu, zaštitne rukavice, antivibracione rukavice, zaštitna odjeća, zaštitna obuća, sigurnosni pojasevi i oprema za rad na visini.



Lična zaštitna sredstva

3.3. Sprovođenje mjera bezbjednosti i mjera lične zaštite pri radu na visini u vjetroeletktranama

Pri izvođenju radova na visini u vjetroeletktranama, radna mjesta obuhvataju različite lokacije, kao što su stubovi vjetroturbina, pristupne platforme, gondole te specijalno uređeni pristupni sistemi. Ove lokacije zahtijevaju posebnu pažnju zbog specifičnih opasnosti, budući da radnici djeluju na velikim visinama, često u nepovoljnim vremenskim uslovima, te na površinama koje ponekad mogu biti neadekvatno pripremljene ili nepropisno održavane.

Lokacije radova na visini: krovovi objekata (kosi i ravni), fasade objekata, stubne konstrukcije, tornjevi, parking nadstrešnice i dr.



Oprema potrebna za rad na visini

Korištenje ličnih zaštitnih sredstava pri radu na visini predstavlja ključnu mjeru zaštite. Radnici moraju biti opremljeni zaštitnim kacigama, sigurnosnim pojasevima, specijalizovanom opremom za rad na visini te ostalim ličnim zaštitnim sredstvima koja su neophodna za sprječavanje povreda.

Prilikom izvođenja radova na visini, neophodno je temeljno evidentirati faktore radne sredine. Na primjer, prilikom inspekcije jedne vjetroturbine, radnici trebaju obratiti pažnju na vremenske uslove – brzinu i smjer vjetra, temperaturu i mogućnost padavina – kao i na stanje radne površine, uključujući stabilnost pristupnih platformi i eventualne prepreke koje mogu utjecati na sigurnost. Detaljno evidentiranje ovih faktora omogućava da se na vrijeme prepoznaju potencijalni rizici i poduzmu adekvatne mjere zaštite.

Sprovođenje mjera bezbjednosti za sigurno obavljanje radova na visini podrazumijeva implementaciju svih propisanih sigurnosnih procedura. To uključuje postavljanje zaštitnih ograda i barijera na radnim mjestima, upotrebu sistema za zaštitu od pada, osiguranje radnih mjesta korištenjem sigurnosnih pojaseva, anker točaka i specijalizovane opreme za rad na visini, kao i redovne preglede i održavanje pristupnih sistema. Takođe, izuzetno je važno osigurati stalnu komunikaciju među radnicima te sprovesti detaljne evakuacione procedure, kako bi se u slučaju nužde moglo brzo i efikasno reagovati.



KVIZ

Kviz 2: Primjena mjera bezbjednosti i zaštite na radu prilikom izvođenja radova na vjetroelektranama:

<https://forms.office.com/e/gbHp9CACVp?origin=lprLink>



VIDEO

Simulacija hitne evakuacije

<https://www.youtube.com/watch?v=UWSckm8zTc8>

Upotreba zaštitne opreme

<https://www.youtube.com/watch?v=nA9oC--tq50>



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak 1: Simulacija evakuacije

Materijal i alat:

- Sigurnosni pojas s kopčama
- Karabinerske kopče
- Anker tačke
- Komunikacijska oprema (radio ili mobilni uređaj)
- Simulaciona zaštitna oprema

Postupak:

1. Priprema sigurnosne opreme
 - Postaviti sigurnosni pojas i pravilno ga pričvrstiti prema uputstvu proizvođača.
 - Provjeriti da su svi pojasevi dobro podešeni i osigurani prije početka simulacije.
 - Pričvrstiti sigurnosni pojas za anker tačku koristeći odgovarajuću karabinersku kopču.
 - Osigurati da je anker tačka stabilna i da može podnijeti opterećenje.
2. Planiranje evakuacije
 - Komunicirati s članovima tima i uspostaviti plan evakuacije.
 - Odrediti uloge: jedna osoba zadužena za komunikaciju s bazom, druga za provjeru opreme.
3. Simulacija hitne situacije
 - Po instrukciji instruktora, simulirati hitnu situaciju (pad ili potrebu za evakuacijom).
 - Koordinisano slijediti evakuacioni plan:
 - Obavijestiti tim.
 - Osigurati mjesto evakuacije.
 - Sprovesti postupak spuštanja ili izvlačenja radnika.
4. Analiza simulacije
 - Nakon završetka vježbe, analizirati postupak evakuacije.
 - Identifikovati moguće greške ili oblasti za poboljšanje.
 - Diskutovati s instruktorom i timom kako bi se poboljšala brzina i efikasnost reakcije.



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak 2: Simulacija spašavanja sa visine

Materijal i alat:

- Sigurnosna mreža
- Sistem za spašavanje (užad, koloturnici, karabineri)
- Sigurnosni pojasevi
- Komunikacijska oprema
- Prva pomoć

Postupak:

1. Priprema sistema spašavanja
 - Pregledati sigurnosnu mrežu i sistem za spašavanje.
 - Provjeriti stanje mreže i pričvrtnih elemenata.
 - Osigurati da je mreža stabilno postavljena.
2. Simulacija hitne situacije
 - Simulirati pad radnika sa visine.
 - Demonstrirati ispravnu reakciju tima.
3. Izvođenje spašavanja
 - Komunicirati s timom i osigurati stabilnost svih radnih platformi i sigurnosne opreme.
 - Pomoću sistema za spuštanje ili podizanje, primijeniti odgovarajuću tehniku evakuacije unesrećenog radnika.
 - Pravilno pričvrstiti sigurnosne pojaseve spašenog radnika i osigurati ga dok ga tim ne spusti na sigurno mjesto.
4. Analiza postupka spašavanja
 - Diskutovati o svim izazovima tokom simulacije.
 - Evaluirati efikasnost reakcije i sigurnost svih uključenih članova tima.

3.4. Primjena mjera za smanjenje negativnog uticaja vjetroelektrana na životnu sredinu

Očuvanje životne sredine predstavlja jedan od ključnih aspekata pri izgradnji i eksploataciji vjetroelektrana. S obzirom na činjenicu da obnovljivi izvori energije igraju značajnu ulogu u smanjenju emisija gasova staklene bašte, istovremeno je važno prepoznati i kontrolisati moguće negativne uticaje ovih postrojenja na ekosistem. Održivo upravljanje prirodnim resursima, zaštita biodiverziteta i pravilno zbrinjavanje otpada predstavljaju osnovne principe odgovornog poslovanja u oblasti obnovljivih izvora energije.

Vjetroelektrane mogu imati višestruke negativne uticaje na životnu sredinu. Prije svega, izgradnja vjetroparkova može dovesti do degradacije staništa i promjena u pejzažu, što može uticati na biljni i životinjski svijet. Takođe, rotirajuće lopatice vjetroturbina predstavljaju rizik za ptice i slijepe miševе, naročito u migracionim koridorima. Buka koju proizvode turbine može negativno uticati na životinjske vrste i lokalne zajednice. Pored toga, elektromagnetne interferencije koje nastaju kao posljedica rada elektrana mogu uticati na komunikacione sisteme i radarske uređaje. Danska kompanija Vestas razvila je lopatice sa nazubljenim ivicama inspirisanim perjem sove, čime je buka smanjena za 10 dB u poređenju sa standardnim lopaticama.

Procedura upravljanja otpadom: identifikacija otpada, razvrstavanje otpada, pakovanje otpada, označavanje otpada, transport otpada, skladištenje otpada, reciklaža

U cilju smanjenja negativnog uticaja vjetroelektrana na životnu sredinu, neophodno je sprovesti niz mjera. Pravilno planiranje lokacija vjetroelektrana omogućava smanjenje negativnih efekata na ekosistem, uz poštovanje bioloških koridora i zaštićenih područja. Korišćenje tehnologija za smanjenje buke, poput optimizacije dizajna lopatica i sistema aktivne kontrole rada turbina, može značajno smanjiti negativne uticaje na faunu. Takođe, implementacija sistema za praćenje kretanja ptica i automatsko isključivanje turbina u kritičnim periodima migracija predstavlja efikasnu preventivnu mjeru.

Danska kompanija Vestas razvila je lopatice sa nazubljenim ivicama inspirisanim perjem sove, čime je buka smanjena za 10 dB u poređenju sa standardnim lopaticama.

U Španiji su vjetroelektrane u blizini migracionih puteva ptica opremljene radarima koji automatski zaustavljaju turbine kada se približi jato ptica, čime se smanjuje broj sudara.



Zaustavljanje vjetroturbine u toku migracije ptica

Reciklaža vjetroatregata i druge opreme vjetroelektrana nakon isteka njihovog životnog vijeka je od suštinskog značaja za smanjenje otpada i zaštitu prirodnih resursa. Implementacija kružne ekonomije u sektoru obnovljivih izvora energije doprinosi smanjenju ekološkog otiska i optimizaciji resursa.

Procjenjuje se da će do 2050. godine 43 miliona tona lopatica vjetroturbina završiti svoj životni vijek, što ih čini ključnim pitanjem upravljanja otpadom. Lopatice su izrađene od izdržljivog polimernog kompozita, ali upravo ta čvrstoća otežava njihovu reciklažu. Trenutno se mnoge lopatice odlažu na deponije, što nije održivo. Neke evropske zemlje već su zabranile ovu praksu. Očekivani vijek trajanja vjetroatregata je 20–30 godina, a globalni kapaciteti vjetroelektrana brzo rastu. Da bi se postigla energetska neutralnost do 2050. godine, potrebno je značajno povećati instalaciju novih kapaciteta, što podrazumijeva i upotrebu miliona lopatica.



Reciklaža lopatica vjetroturbine

Više od 90% komponenti vjetroatregata može se reciklirati, uključujući čelik, bakar i aluminijum iz tornjeva i gondola. Međutim, lopatice su izazov zbog svoje veličine i materijala. Njihov transport je složen, jer novije lopatice dostižu dužinu preko 100 metara, a vjetroparkovi su često u udaljenim oblastima.

Inovacije su ključne za rješavanje problema. Istraživači preporučuju prelazak na termoplastične smole koje se mogu ponovo istopiti i koristiti.

Jedna od isplativih metoda je mehaničko brušenje fiberglasa za upotrebu u proizvodnji cementa, dok ko-obrađivanje cementa podrazumijeva sagorijevanje lopatica u pećima. GE je već implementirao ovu praksu. Njemačka firma Enercon koristi kružne sisteme reciklaže u kojima se metalne komponente turbina mogu ponovo koristiti u novim vjetroatregatima, čime se smanjuje potreba za sirovinama. Kompanija GE Renewable Energy koristi reciklirane lopatice u cementnoj industriji, čime smanjuje emisije CO₂ u proizvodnji cementa.

Potrebno je nastaviti s razvojem rješenja koja će osigurati održivu budućnost energije vjetra i smanjiti ekološki otisak industrije.



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak 1: Upravljanje otpadom kod vjetroelektrana

Materijal i alat:

- Spremnici za različite vrste otpada (plastika, metal, papir, elektronski otpad, opasni otpad)
- Oznake za kategorizaciju otpada
- Vreće za otpad i posude za hemikalije
- Propisi o ekološkom zbrinjavanju otpada
- Rukavice i zaštitna oprema

Postupak:

1. Identifikacija otpada
 - Pregledati prostor vjetroelektrane i identifikovati vrste otpada koji nastaje tokom rada i održavanja.
 - Kategorizovati otpad na opšti, elektronski, opasni i reciklabilni otpad.
2. Razvrstavanje otpada
 - Razvrstati otpad prema ekološkim standardima i propisima.
 - Obeležiti spremnike prema vrstama otpada (npr. papir, metal, plastika, električni i elektronski otpad, opasni otpad).
3. Pakovanje i označavanje otpada
 - Ispravno zapakovati otpad koristeći adekvatne vreće i spremnike.
 - Označiti svaki spremnik prema vrsti otpada i uputstvima za odlaganje.
4. Skladištenje i reciklaža
 - Pravilno skladištiti otpad do preuzimanja od strane ovlašćenih službi.
 - Odrediti mogućnosti za reciklažu i ponovnu upotrebu određenih materijala (metalni i električni otpad, plastika).

Završna provjera:

- Provjeriti da li je sav otpad ispravno razvrstan i označen.
- Pregledati prostor skladištenja i osigurati da su propisi o zaštiti životne sredine ispoštovani.
- Diskutovati o mogućnostima unapređenja procesa reciklaže i ponovne upotrebe materijala.



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak 2: Primjena zaštitne opreme pri sprovođenju mjera zaštite životne sredine

Materijal i alat:

- Lična zaštitna oprema (rukavice, maske, zaštitna odijela, obuća)
- Spremnici za opasni otpad
- Oznake za hemikalije i opasne materijale
- Standardne procedure za rukovanje otpadnim materijalima

Postupak:

1. Priprema zaštitne opreme
 - Odabrati odgovarajuću zaštitnu opremu prema vrsti otpada s kojim se rukuje.
 - Provjeriti ispravnost i funkcionalnost opreme prije upotrebe.
2. Pravilno rukovanje otpadom i hemikalijama
 - Identifikovati opasne materijale i hemikalije prema oznakama.
 - Koristiti zaštitne rukavice i maske pri rukovanju hemikalijama.
 - Pravilno zatvoriti i skladištiti spremnike sa hemikalijama kako bi se spriječilo curenje ili kontaminacija.
3. Pakovanje i transport opasnog otpada
 - Ispravno zapakovati i označiti opasni otpad prema propisanim standardima.
 - Koristiti odgovarajuće kontejnere i naljepnice za opasne materijale.
 - Transportovati otpad u skladu sa sigurnosnim procedurama i ekološkim standardima.

Završna provjera:

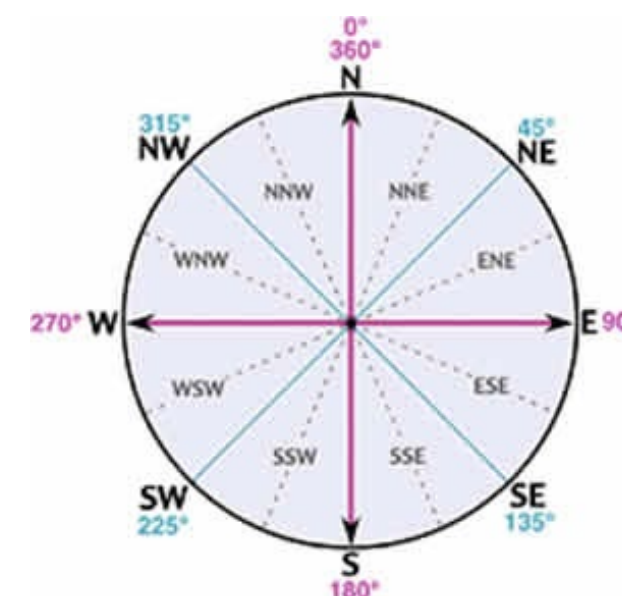
- Pregledati pravilnu primjenu zaštitne opreme tokom izvođenja svih koraka.
- Osigurati da su otpadni materijali ispravno zapakovani, označeni i pripremljeni za transport.
- Diskutovati o potencijalnim rizicima i načinima za poboljšanje mjera zaštite životne sredine u vjetroelektrani.

4. ENERGIJA VJETRA

Vjetar se najjednostavnije može opisati kao strujanje vazdušnih masa koje nastaje uslijed razlike temperatura odnosno pritisaka na površini Zemlje. I vjetar je, kao i značajan broj ostalih raspoloživih energetske izvora, posljedica dejstva Sunca na Zemlju, i spada u obnovljive izvore energije.

Strujanjem vazduha dolazi do trenja, odnosno gubitka kinetičke energije u dodiru sa čvrstom podlogom, što rezultuje razlikama u brzini strujanja u prostoru i vremenu.

Vjetar se najčešće opisuje dvjema jednostavnim komponentama: smjerom i jačinom. Za određivanje smjera koristi se vjetrovica, a označavamo ga stranom svijeta sa koje dolazi.



Smjerovi vjetra

Na vjetrove koji se nalaze na visinama od 1000 m iznad Zemljine površine ne utiče Zemljino tlo. S druge strane površinski vjetrovi do 100 m visine zavise od tla. Upravo su površinski vjetrovi ti koji su bitni za analizu energetske efikasnosti vjetra kakva je potrebna za vjetroelektrane. Lokalne vjetrove pokreću razlike u temperaturi kopna i mora kao i dolina i visoravni. Iako su globalni vjetrovi važni za određivanje prevladavajućih vjetrova u određenom području, lokalni klimatski uslovi mogu savladati uticaj uobičajenih smjerova vjetra. Lokalni vjetrovi se uvijek dodaju sistemima vjetrova veće skale, tj. na smjer vjetra utiče suma globalnih i lokalnih efekata. Kada je vjetar više skale slab, lokalni vjetar može dominirati uzorkom.

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 A$$

- P - snaga vjetra u W
- ρ - gustina vazduha u kg/m^3
- v - brzina strujanja vjetra u m/s
- A - površina turbine u m^2

Iz jednačine se može vidjeti da snaga P proporcionalno raste s trećim potencijalom brzine vjetra i s površinom turbine A.

Snaga vjetra ne može se izračunati bez mjerenja brzine vjetra na određenom području kroz period od godine i više dana. Brzina vjetra mijenja se unutar djelova sata.

Jačina vjetra tradicionalno se izražava Beaufortovom skalom.

Tabela: Beaufortova skala

Beaufotova oznaka, Bf	Opis vjetra	Djelovanje	Brzina na 10m iznad tla		
			m/s	km/h	čv
0	Tišina	Dim se diže ravnu u vis, zastave i lišće se ne miču	0,0 - 0,4	0,0 - 1,4	0,0 - 0,9
1	Lahor	Čovjek ne osjeća, ali dim se više ne diže jednoliko, vjetrulja se ne pokreće	0,4 - 1,8	0,4 - 6,5	0,9 - 3,5
2	Povjetarac	Osjeća se na licu,, lišće počinje treperiti i vjetrulja se pokreće	1,8 - 3,6	6,5 - 13	3,5 - 7
3	Slab vjetar	Lišće se neprestano njiše i šušti, lagana zastava se njiše	3,6 - 5,8	13 - 20,9	7 - 11
4	Umjereni vjetar	S tla se podiže prašina, suho lišće i papirići, zastava se razvija, njišu se manje grane	5,8 - 8,5	20,9 - 30,6	11 - 17
5	Umjereno jaki vjetar	Njišu se veće lisnate grane, a i mala stabla, ljudima je neugodno, stvaraju se mali talasi	8,5 - 11	30,6 - 39,6	17 - 22
6	Jaki vjetar	Zuji na predmetima, žice zvižde, njišu se velike grane, teško je nositi kišobran	11 - 14	39,6 - 50,4	22 - 28
7	Žestoki vjetar	Neprestano se njiše drveće, talasi se pjene, otežano je hodanje	14 - 17	50,4 - 61,2	28 - 34
8	Olujni vjetar	Njišu se debela drveća, lome se velike grane, onemogućeno je hodanje	17 - 21	61,2 - 75,6	34 - 41
9	Jaki olujni vjetar	Pomiču se manji predmeti, pomiču se cijepovi, nastaju štete na kućama	21 - 25	75,6 - 90	41 - 48
10	Orkanski vjetar	Obara se i čupa drveće sa korijenjem, nastaju veće štete na zgradama	25 - 29	90 - 104,4	48 - 56
11	Jaki orkestarski vjetar	Velike štete na većem području, razorno djelovanje	29 - 34	104,4 - 122,4	56-65
12	Orkan	Teško pustošenje cijelog područja	43	154,8	65

1 m/s = 3,6 km/h = 1,944 čv (čvor)

4.1. Osnovne primjene energije vjetra

Za neke ozbiljnije procjene kako bi se ovaj resurs mogao koristiti u svrhu dobijanja električne energije moraju se napraviti detaljne analize.

Danas, u prisustvu moderne tehnologije iskorišćavanje energije vjetra u svrhu proizvodnje električne energije je mnogo lakše i za to se koriste vjetrogeneratori. Ne postoji jedinstven, opšte prihvaćen međunarodni konsenzus vezan za definiciju vjetroelektrane, ali je rasprostranjeno uvjerenje da su vjetroelektrane jedan od najekološkijih načina proizvodnje električne energije današnjice.

Ljudi koriste energiju vjetra barem 5500 godina. Neki od primjera je da se čamac sa jedrima koristi barem 5000 godina a arhitekta su koristile upravljan vjetar za prirodne ventilacije još u antičko doba. Sa usponima i padovima, vezanim uglavnom za rast i pad cijena nafte, razvoj se naročito ubrzava poslije 2000. sa neprekidnim rastom cijena nafte.

Upravo vjetroelektrane čine značajno mjesto u distribuiranoj proizvodnji električne energije. One se izgrađuju i smještaju u područjima sa visokom iskoristivosti vjetra. Takva područja često se nalaze unutar naponski relativno slabih dijelova mreže koji su locirani u ruralnim predjelima, te se time znatno otežava njihovo efikasno priključenje na distributivnu mrežu. Korišćenje vjetroelektrana moglo bi da obezbijedi relativno jeftinu električnu energiju, ali je potrebno zadovoljiti niz uslova poput specifične opreme i uređaja, idealne lokacije za izgradnju vjetroelektrane, uslova za njenu izgradnju i pogon.

Glavna prednost vjetroelektrana u odnosu na konvencionalne izvore električne energije je nepostojanje troškova za gorivo. Naime, glavni pokazatelj da vjetroelektrane čeka svijetla budućnost su relativno mali uticaj na životnu sredinu, kraći period izgradnje u odnosu na ostale izvore, dug životni vijek, kao i najvažnija stvar za investitore - brz povraćaj uloženog kapitala. Iskorišćavanje energije vjetra je najbrži rastući segment proizvodnje energije iz obnovljivih izvora.

U zadnjih nekoliko godina turbine na vjetar znatno su poboljšane. Međutim, jasno je da vjetroelektrane nikad neće dostići faktor opterećenja kao npr. termoelektrana, jer je ona po svojoj prirodi drugačiji izvor i zavisi od prirodnih uslova, ali istovremeno, vjetroelektrane imaju besplatno i neograničeno obnovljivo gorivo.

Vjetroelektrane takođe štede gorivo potrebno za proizvodnju električne energije iz elektrana na fosilna goriva. Ako se proizvede KWh iz vjetroelektrane, štedi se gorivo koje je potrebno za proizvodnju tog KWh u konvencionalnoj elektrani na fosilna goriva. U nepovoljnim uslovima poput jakog nevremena ili oluje koja će uticati na rad vjetroelektrana moguće je zaustavljanje vjetroelektrana, međutim zaustavljanje vjetroelektrane pod tim uslovima može se razvući i na nekoliko sati što pokazuje da zaustavljanje vjetroelektrana nije toliko dramatičan slučaj kao ispad neke veće elektrane (npr. termoelektrane 300 MW) iz EES-a u mnogo kraćem vremenu.

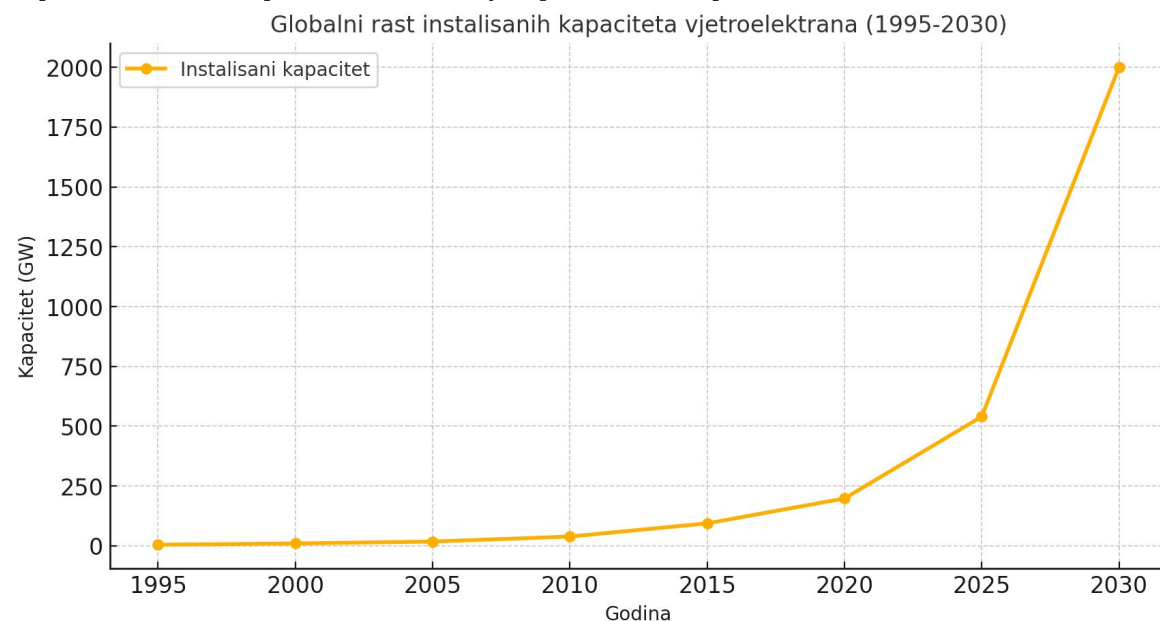
Jedna od najstarijih vjetrenjača je De 1100 Roe (slika). Napravljena je 1674. godine i njena prva uloga je bila da tlo koje je niže od mora održi suvim. Pomjerena je 1965. godine zbog toga što više nije bila toliko bitna i potrebna. Danas se ponekad koristi da bi pumpala vodu u susjedni sportski park.



Vjetrenjača De 1100 Roe

Instalisani kapaciteti vjetroelektrana u svijetu i predviđanje rasta tržišta

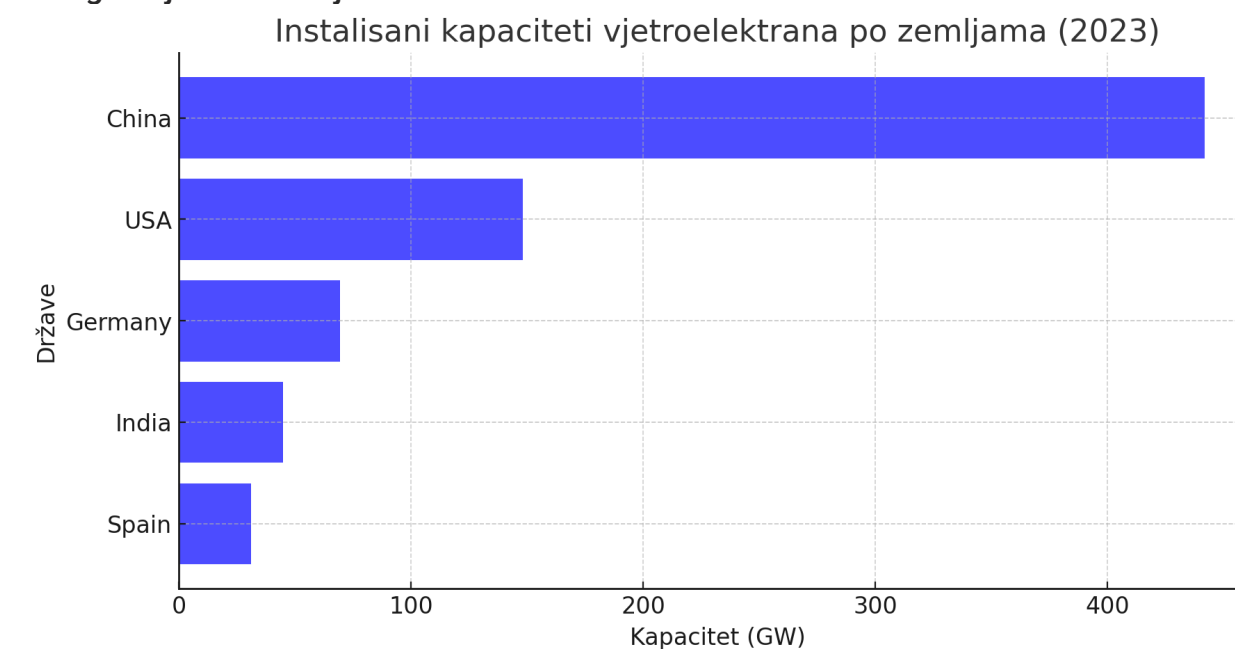
Ukupni instalisani kapacitet vjetroelektrana u svijetu neprestano raste, predvođen tehnološkim napretkom, smanjenjem troškova proizvodnje i sve većim ulaganjima u obnovljive izvore energije. Globalno tržište vjetroelektrana karakteriše brzi rast kapaciteta, pri čemu su prednjačile regije poput Evrope, Sjeverne Amerike i Azije, a posebno Kina, koja danas ima najveći udio u ukupnoj instalisanoj snazi.



Grafikon: Rast instalisanih kapaciteta vjetroelektrana

Trendovi pokazuju da se kapaciteti postrojenja na kopnu razvijaju stabilnim tempom, dok sektor priobalnih vjetroelektrana bilježi značajan rast zahvaljujući poboljšanoj efikasnosti turbina, većim faktorima iskorišćenja i podršci politika usmjerenih ka dekarbonizaciji.

Predviđa se da će u narednim decenijama vjetroelektrane postati dominantan izvor električne energije u mnogim zemljama. Globalna energetska tranzicija i postavljeni klimatski ciljevi podstiču povećanje investicija, a predviđanja sugerisu da će do sredine 21. vijeka instalisani kapacitet vjetroelektrana premašiti proizvodnju iz fosilnih goriva u mnogim djelovima svijeta.



Grafikon: Instalirani kapaciteti vjetroelektrana u 2023. godini

Napredak uskladištenju energije, razvoj pametnih mreža i digitalizacija elektroenergetskog sistema dodatno će povećati efikasnost i pouzdanost vjetroelektrana, smanjujući zavisnost od fosilnih goriva i obezbjeđujući stabilnu isporuku električne energije.



VJEŽBA

Istražiti instalisane kapacitete u svom regionu i uporediti sa svjetskim tržištem u oblasti vjetroelektrana.

4.2. Karakteristike vjetroelektrana

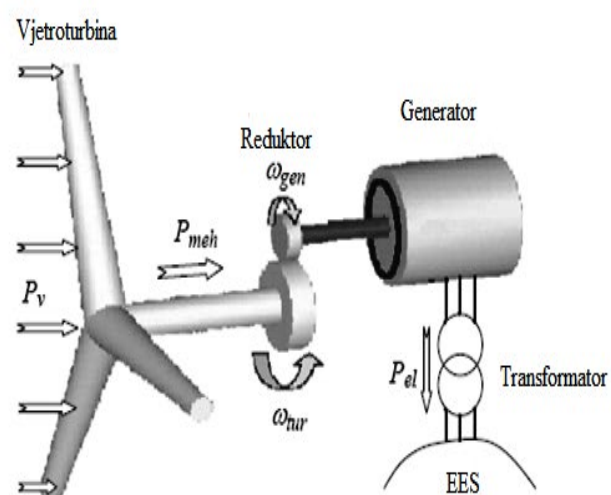
4.2.1. Definicije vjetroatregata i vjetroelektrane

Današnji sistemi za iskorištavanje energije vjetra su vjetroturbine. Vjetroturbina je još poznata pod nazivima vjetroatragat i vjetrogenerator. Vjetroelektrana je uređaj koji pretvara kinetičku energiju vjetra u električnu energiju. Sastoji se od jednog ili više vjetroatregata koji, pomoću rotirajućih lopatica, pokreću generator koji proizvodi struju.

Vjetroatregat je rotirajuća mašina koja pretvara kinetičku energiju vjetra prvo u mehaničku, a zatim preko električnih generatora u električnu energiju. Pri tome se rotor vjetroatregata i rotor električnog generatora nalaze na istom vratilu.

Vjetroatregati su hladne mašine što znači da se u njima pretvara energija prirodnog fluida koji ima temperaturu okoline. Glavna karakteristika vjetra kao pogonskog fluida je njegova obnovljivost. Nakon što vazduh napusti sistem kojem je predao energiju vraća se u okolinu nepromijenjenih fizičkih i hemijskih svojstava. Preostala energija fluida na izlazu iz turbine dovoljna je da on napusti sistem.

Principijelna šema konverzije energije vjetra u električnu energiju data je na slici.



Principijelna šema konverzije energije vjetra u električnu energiju.



VIDEO

Princip rada vjetroturbine

https://www.youtube.com/watch?v=qSWm_nprfqE

4.2.2. Vrste izvedbi vjetroatregata i njihove karakteristike

Vjetroatregati se prema vrsti izvedbi mogu podijeliti u nekoliko kategorija:

- prema položaju osovine
- prema vrsti vjetrogeneratora
- prema brzini obrtanja (sa stalnom brzinom obrtanja, sa promjenljivom brzinom obrtanja).

4.2.2.1. Vjetroatregati prema položaju osovine

Prema položaju osovine vjetroatregate možemo podijeliti na one sa horizontalnom osovinom i sa vertikalnom osovinom.

Vjetroturbine s horizontalnom osom okretanja ili VSHO

Turbine sa horizontalnom osom okretanja su one čija je osa paralelna sa smjerom struje vjetra i tlom. Većina komercijalnih turbina je ovog tipa. Najčešće su izvedbe sa 3 lopatice, a ponekad se mogu vidjeti i izvedbe sa 2 lopatice. One imaju rotor, vratilo i električni generator smještene u kabini na vrhu visokog stuba pa moraju biti okrenute direktno prema vjetru, za šta koriste senzor uparen sa servo motorom. VSHO turbine se mogu podijeliti na one koje gledaju prema vjetru i na one koje gledaju od vjetra. Velika većina gleda prema vjetru, jer se na taj način izbjegava uticaj turbulencija koje nastaju iza turbine. Osnovna prednost VSHO turbina koje gledaju od vjetra je ta što se u njih ne moraju ugrađivati mehanizmi za zakretanje turbine, ali nisu toliko pouzdane i trajne kao "obične" VSHO turbine.

Kao što je već napomenuto, većina modernih vjetroturbina ima 3 lopatice i elektronički sistem koji ih usmjerava prema vjetru. One imaju veliku obodnu brzinu (nekoliko puta veću od brzine vjetra), visok stepen iskorišćenja, te dobru pouzdanost. Lopatice se najčešće boje u sivu boju kako bi se stopile sa okolnim oblacima. Lopatice mogu biti duge od 20 pa sve do 50 i više metara. Čelični tornjevi variraju visinom od 60-ak pa sve do 100 i više metara visine. Dizajn tornja je važan faktor kod vjetroturbina sa horizontalnom osom jer na višoj nadmorskoj visini vjetar struji brže. Ilustracije radi, sa dvostrukim povećanjem nadmorske visine, brzina vjetra se povećava 10% po danu te čak između 20% i 60% po noći. Za VSHO najčešće se uzima da je visina tornja 2 do 3 puta veća od dužine lopatica. Lopatice se vrte brzinom od 10 do 22 obrtaja po minutu. Ta brzina se pomoću prenosnog sistema (reduktora) uvećava i predaje električnom generatoru.

Prednosti vjetroturbina sa horizontalnom osom:

- Glavna prednost je veća efikasnost u proizvodnji električne energije
- Postavljanje na visoke tornjeve omogućava pristup većim brzinama vjetra
- Lopatice se nalaze sa strane, ako se gleda iz centra mase vjetroturbina, što poboljšava stabilnost
- Mogućnost zakreta lopatica, što daje veću kontrolu, omogućava namještanje optimalnog luka, tako da vjetroturbina iskoristi maksimum energije vjetra
- Mogućnost fiksacije lopatica u oluji, što minimizuje potencijalnu štetu

Nedostaci vjetroturbina sa horizontalnom osom

- Većina ovakvih vjetroturbina zahtjeva sistem za zakretanje turbine, što je dodatno poskupljuje
- Problematičan rad u vjetrovima na malim nadmorskim visinama koji su često turbulentni
- Visoki tornjevi i duge lopatice rotora turbine su problematične za transport i na moru i na kopnu. Transportni troškovi mogu zauzimati do 20% od ukupnih troškova opreme.
- VSHO turbine su problematične za postavljanje, jer zahtjevaju vrlo visoke i skupe kranove.
- Izvedbe koje gledaju od vjetra pate od smanjene trajnosti i pouzdanosti zbog turbulencija kojima su izložene.



Vjetroturbine sa horizontalnom osom

Vjetroturbine s vertikalnom osom okretanja ili VSVO

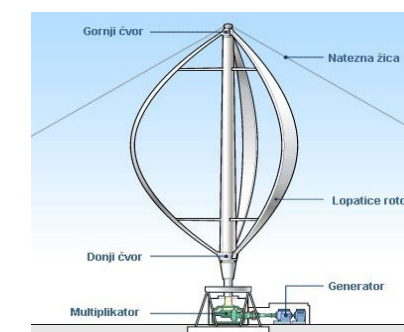
Njihova glavna karakteristika je ta da je osa okretanja postavljena vertikalno. Glavna prednost ovakve konfiguracije je da turbina ne treba biti uperena direktno u vjetar da bi bila efikasna. To je prednost na lokacijama gdje je smjer vjetra dosta promjenjiv. Dakle VSVO turbina može iskoristiti energiju iz različitih smjerova vjetra. Vjetroturbine sa vertikalnom osom mogu biti postavljene bliže tlu i ne trebaju im visoki tornjevi zbog čega su pristupačnije za održavanje. Loša strana je ta da su brzine vjetra na manjim nadmorskim visinama dosta manje, što za sobom povlači činjenicu da je manje energije raspoloživo za transformaciju. Uz to, strujanje vazduka blizu tla i drugih objekata je

često turbulentno što znači češće vibracije, te brže trošenje ležajeva i kraći životni vijek kao njihovu posljedicu. Međutim, ako se vjetroturbina postavi na krov zgrade, ona preusmjerava strujanje vjetra što značajno povećava (ponekad i udvostručuje) brzinu strujanja.

VSVO turbine se mogu grubo podijeliti na Dariusove i Savoniusove turbine.

Dariusova turbina

Dariusova turbina ima duge tanke lopatice u obliku slova C, koje su spojene pri vrhu i dnu vertikalne ose. Najčešće se izrađuje sa 2 ili 3 lopatice. One imaju dobru efikasnost, ali takođe proizvode značajna ciklička naprezanja koja dovode do slabije pouzdanosti. Takođe, zahtijevaju eksterni izvor struje, koji im pomaže pri pokretanju zbog slabog početnog okretnog momenta. Radi slabije stabilnosti moraju ih pridržavati metalni kablovi, što nije uvijek praktično. Kod novijih izvedbi to nije uvijek slučaj jer imaju eksternu substrukciju pričvršćenu na gornji ležaj.



Dariusova turbina

Spiralna Gorlov turbina

Gorlov turbina je nastala kao dizajnersko unapređenje Dariusove turbine. Ona koristi spiralne lopatice. Ona rješava neke probleme Dariusove turbine, kao prvo, može se sama pokrenuti, odnosno ne treba joj vanjski električni izvor, te su smanjene vibracije i buka. Po efikasnosti (do 35%) je uporediva sa najboljim VSHO turbinama.



Spiralna turbina

Giromil turbine

Ovo je još jedan podtip Dariusove turbine koja koristi ravne lopatice, a ne zakrivljene. Navodno su ruski naučnici uspjeli unaprijediti efikasnost ove turbine na čak 38 %.



Giromil turbine

H tip turbine

Jedan od poznatih izvedbi je H-tip kod kojeg su lopatice postavljene paralelno s obzirom na osu okretanja. U odnosu na uobičajenu Dariusovu turbinu ovo je jednostavnija izvedba no problem je u tome što je masa lopaticama pomaknuta u odnosu na simetralu tornja. Iz tog razloga lopatice moraju biti čvršće.

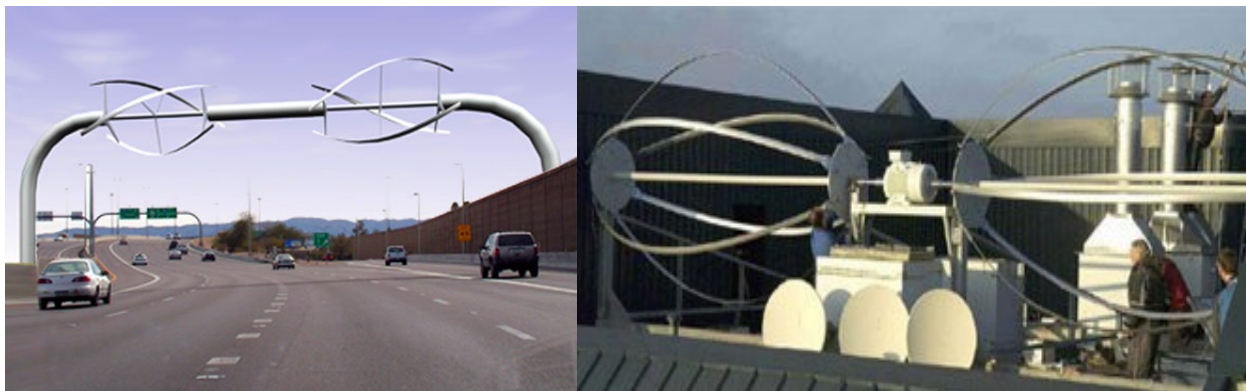


H tip turbine

Cilkoturbine

Ova izvedba vjetroturbine ista je kao H-tip a razlika je u tome što lopatice imaju mogućnost zakretanja oko svoje ose. To omogućava lopaticama postavljanje u položaj tako da uvijek zahvataju neki ugao napada vjetra. Glavna karakteristika ovog tipa turbine sa tri ili četiri lopatice je ta što je moment približno konstantan. Zbog sistema zakretanja dobija se skoro maksimalni mogući moment što pridonosi povećanju korisnosti ovakve vjetroturbine, a to znači da dobijamo više energije. Pozitivna karakteristika jeste mogućnost samopokretanja okretanjem lopatica u optimalan položaj da bi se generisala dovoljno velika sila uzgona za pokretanje. S druge strane, mehanizam za zakretanje je kompleksan i zahtjeva neku vrstu senzora za određivanje smjera vjetra.

Osim vertikalnih izvedbi postoje i horizontalne izvedbe Dariusove vjetroturbine što uveliko olakšava i proširuje njihov spektar primjene. Prednost je u tome što su ležajevi bolje smješteni na konstrukciji i time su manje aksijalno opterećeni. Ovakvom izvedbom konstrukcija se smješta na određenu visinu na kojoj hvata jednoliko raspoređenu brzinu vjetra pa je time izbjegnuta problem malih brzina na dijelu turbine koji se nalazi pri tlu. Negativan aspekt ove izvedbe jeste nemogućnost hvatanja vjetra iz svih smjerova (kao i kod VSHO) pa se spektar njihove primjene smanjuje.



Horizontalne izvedbe Dariusovih vjetroturbina

Savoniusova vjetroturbina

Ova vjetroturbina zamisao je Finskog inženjera Sigurda J. Savoniusa. Ovo je prva izvedba vertikalne vjetroturbine, a nastala je 1922. godine. Ponekad može imati i tri lopatice. Ovakav tip vjetroturbine radi na principu potisne sile. Gledajući presjek, turbina ima oblik slova S. Zbog zaobljenja lopatica ima manji potisak kada se giba protiv vjetra s ispuštenim dijelom nego kada se giba s vjetrom ulegnutim dijelom. Na taj način potisak je uvijek jači u jednom smjeru i dolazi do rotacije. Zbog ovakvog principa rada ove vjetroturbine daju puno manje energije nego uzgonske turbine iste veličine.



Spiralna Savoniusova vjetroturbina

Ovakve vjetroturbine vrlo su jednostavno izvedene pa se koriste u slučajevima kada su cijena i pouzdanost bitniji od efikasnosti, npr. anemometar. Još jedna upotreba ovog principa pojavljuje se na vrlo poznatom Fletner ventilatoru. On se koristi na krovovima kuća ili autobusa i služi za ventilaciju prostora, pogoni ga snaga vjetra. Takođe se ponekad mogu uočiti reklamne oznake u obliku ove vjetroturbine, cilj im je rotacija reklamnog znaka kojom se privlači pažnja.

Postoji i izvedba ovakve turbine kod koje su lopatice spiralno zakrenute po dužini pa se na taj način dobija ujednačeni moment na vratilu.

Prednosti turbina sa vertikalnom osom okretanja

- Lakše za održavanje, jer su načelno svi rotacioni dijelovi smješteni bliže tlu
- Nije im potreban mehanizam za zakretanje
- Dobro za korištenje na mjestima gdje je brzina vjetra visoka blizu tla (npr. razni prolazi i kanjoni)
- Ne treba im visoki toranj, što bitno pojeftinjuje izvedbu
- Ne moraju se okretati prema smjeru vjetra, što ih čini jako dobrima u uslovima turbulentnog vjetra
- Teoretski mogu biti mnogo veće od VSHO turbina, npr. plutajuće turbine sa vertikalnom osom od više stotina metara, kod kojih se cijela struktura rotira, bi eliminisale potrebu za velikim i skupim ležajevima

Nedostaci turbina sa vertikalnom osom okretanja

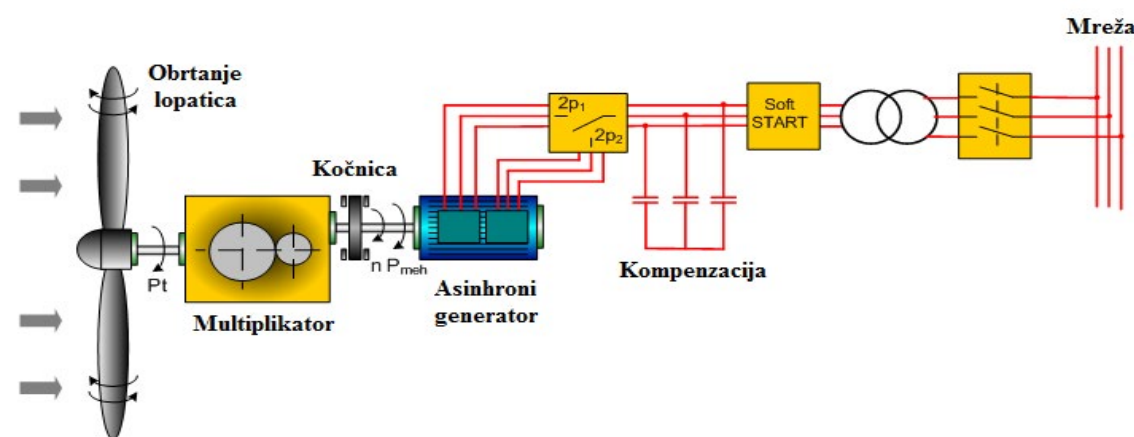
- Većina ima iskoristivost u rangu 50% iskoristivosti turbina sa horizontalnom osom okretanja. To je većinom zbog dodatnog otpora koji nastupa zbog toga što lopatice rotiraju u vjetar
- Većina mora biti postavljena na relativno ravan dio tla, tako da su mnoge lokacije koje mogu iskoristiti VSHO turbine jednostavno prestrme
- Većina ima jako malen početni okretni moment, pa trebaju spoljašnji izvor energije da započnu okretanje
- Iako je većina njihovih dijelova smještena na tlu, što je svakako prednost, oni su ipak opterećeni velikom težinom strukture iznad njih, što u slučaju nedovoljno dobrog dizajna znatno otežava izmjenu dijelova

4.2.2.2. Vjetroagregati prema vrsti vjetrogeneratora

Prema vrsti vjetrogeneratora možemo ih podijeliti na vjetroagregate sa indukcijom kaveznim vjetrogeneratorom, sa sinhronom mašinom i turbinom sa promjenljivom brzinom obrtanja, sa dvostrano napajanom indukcijom mašinom i sa višepolnom sinhronom mašinom sa direktnim pogonom

Vjetroagregat sa indukcijom kaveznim vjetrogeneratorom

Principijelna šema ovog vjetroagregata je data na slici



VA sa indukcijom kaveznim vjetrogeneratorom

Kod ovih vjetroagregata nije moguće mijenjati brzinu obrtanja vjetroturbine. Zbog krutosti karakteristike moment-brzina asinhronne mašine, radi se sa brzinama koje se neznatno razlikuju od sinhronne brzine koju diktira mreža na koju je priključen vjetrogenerator. Ovakav rad se djelimično ublažava izradom dvostrukog statorskog namotaja (kao kod motora za veš mašinu), namot projektovan za manju snagu ima veći broj pari polova (3-4), dok namot za nominalnu snagu ima manji broj pari polova (2-3). Ovakav način rada dovodi do povećanja stepena iskorišćenja vjetroagregata. Na priključke statora vezuje se uređaj za ograničenje polazne struje i momenta mašine, takozvani soft starter i on štiti turbinu i reduktor od udarnog momenta. Nakon postizanja brzine soft starter se kratko prespaja i generator je direktno povezan na mrežu. Između rotora turbine i asinhronog generatora je multiplikator tako odabran da se može upotrijebiti 4-polni ili 6-polni trofazni asinhroni kavezni generator. Takav generator je vrlo jednostavan, priključuje se direktno na mrežu 50 ili 60 Hz uz primjenu uređaja kojim se smanjuju veličine struje kratkog spoja. Opterećenje generatora je ograničeno aerodinamičnom izvedbom lopatica turbine tzv. "stall principle", a brzina cijelog pogonskog niza turbina + multiplikator + generator se vrlo malo mijenja oko nazivne brzine generatora. Klizanje generatora iznosi oko (1-2) % tako da su gubici u rotoru generatora u podnosivim granicama.

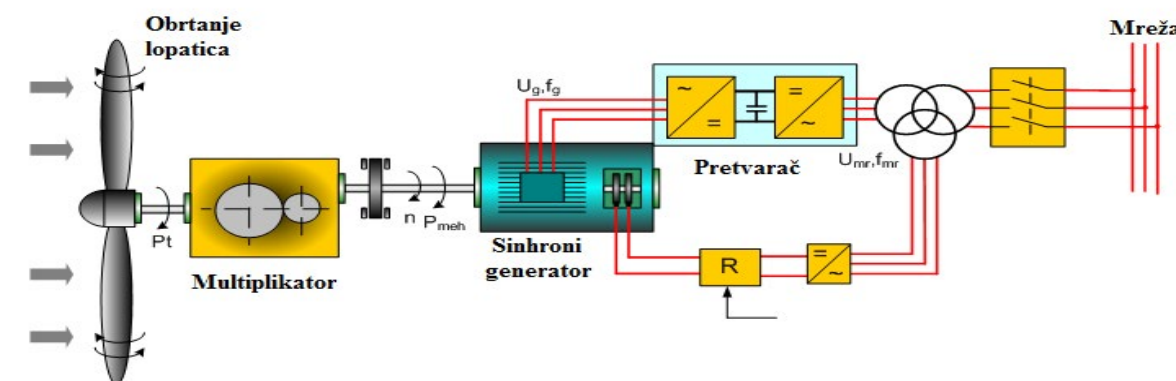
Asinhrona kavezna mašina troši reaktivnu snagu, pa se kod ovih vjetroagregata vrši kompenzacija reaktivne energije pomoću baterija kondenzatora. Ovakav vjetroagregat nije povoljan za lokacije sa udarnim vjetrovima, jer zbog krutosti mehaničke karakteristike obrtni moment vjetroturbine se oštro prenosi na vratilo te može doći do oštećenja

zupčanika u reduktoru. U slučaju kvara na električnoj mreži, vjetrogenerator lako gubi stabilnost a zbog velikih varijacija snage koje uzrokuju pojavu kolebanja napona ovakav tip vjetroagregata nije preporučljiv za priključak na slabiju distributivnu mrežu. Prednost ovog vjetroagregata je u cijeni, jer se koristi robusna indukciona mašina koja se direktno vezuje za mrežu. U primjeni je česta varijanta kaveznog asinhronog motora s promjenljivim brojem polova, obično za dvije brzine obrtanja prema slici.

Vjetroagregat sa sinhronom mašinom i turbinom sa promjenljivom brzinom obrtanja

Klasični sinhroni generatori izvedeni za konstantnu sinhronu brzinu obrtanja koju diktira pogonska mašina imaju na rotoru jednosmjernu pobudnu struju. Takvi su agregati (generator + pogonska mašina) uopšte glavni izvori električne energije u elektranama, za sisteme 50 ili 60 Hz. Ako je zbog bolje energetske iskoristivosti agregata ili drugog razloga potrebno za vrijeme pogona regulisati brzinu obrtanja turbine i sinhronog generatora, a taj generator priključiti u energetske sistem fiksne frekvencije, to se može uraditi upotrebom frekventnog pretvarača smještenog između namotaja sinhronog generatora i energetske mreže fiksne frekvencije, prema ilustraciji na slici. Snaga pretvarača jednaka je snazi generatora.

Potrebna je pobudna struja u rotorskom namotaju i sistem regulacije napona ili trajni magneti.



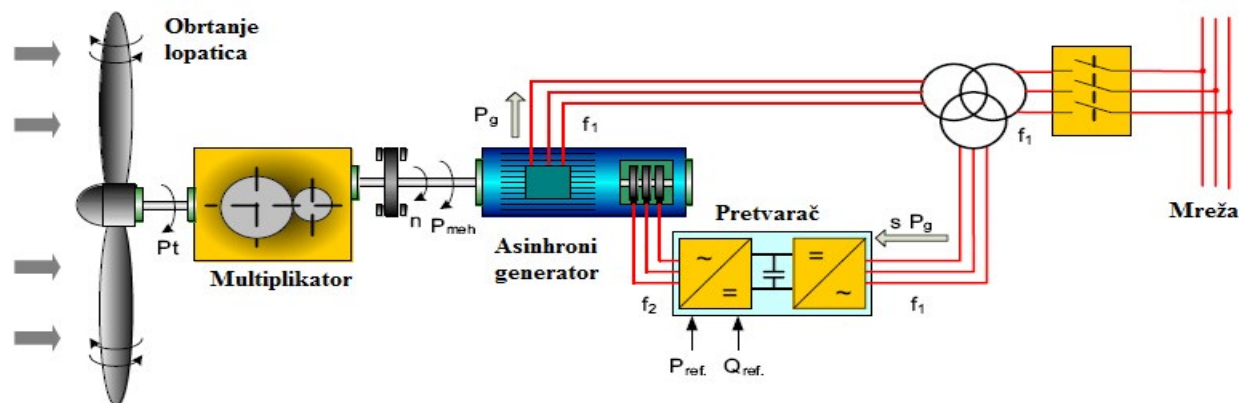
VA sa vjetrogeneratorom-dvostrano napajanom indukcijom mašinom

Vjetroagregat sa vjetrogeneratorom - dvostrano napajanom indukcijom mašinom

Karakteristika za ovaj vjetrogenerator je da se koristi kod vjetroagregata velike snage. Omogućava promjenu brzine u širokom dijapazonu oko sinhronne brzine, pa samim tim obezbjeđuje visok stepen iskorišćenja vjetroturbine za širok opseg brzine vjetra. Promjena brzine obrtanja vjetroturbine je od 10 do 25 obr/min, pa je za prilagođavanje brzine potreban mehanički reduktor. Principijelna šema ovog vjetroagregata je data na slici.

Statorski namotaj je direktno priključen na mrežu, a rotorski namotaj je preko kliznih prstenova, pretvaračke grupe inverter-ispravljač i transformatora priključen na mrežu. Promjena aktivne i reaktivne snage generatora se vrši promjenom frekvencije i faze struje kojom se napaja rotorski namotaj. Mašina može raditi u širokom opsegu brzina i u nadsinhronom i u podsinhronom režimu, što omogućava potpuno prilagođavanje brzine

obrtnja vjetroatregata brzini vjetra. Izvedba sa dvostrano napajanom indukcijom mašinom je daleko povoljnija od one sa indukcijom kaveznom mašinom zbog veličine i cijene frekvencijskog pretvarača, viših harmonika u mreži koje generiše pretvarač, kontrole, potrebnog prostora za smještaj, stabilnosti energetskog sistema, mogućnosti generisanja reaktivne energije.

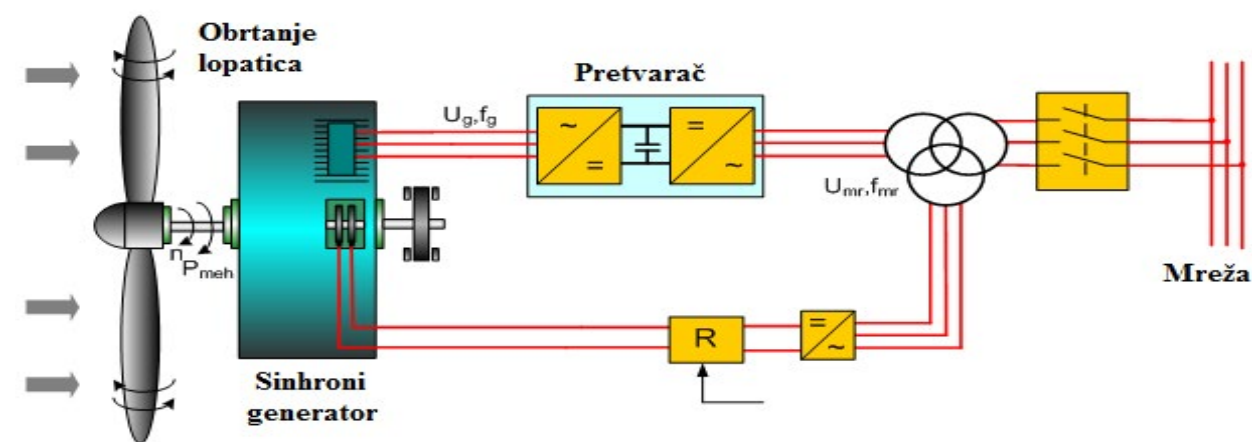


VA sa vjetrogeneratorom-dvostrano napajanom indukcijom mašinom

Dvostrano napajana indukcijom mašina može generisati i reaktivnu energiju, ali je obično vjetrogenerator projektovan da radi sa faktorom snage $\cos\varphi=1$, jer generisanje reaktivne energije dodatno strujno opterećuje konvertor u rotorskom kolu. Ipak, ukoliko je potrebno stabilisati napone u distributivnoj mreži, vjetrogenerator može na račun smanjenja aktivne snage generisati reaktivnu snagu. Dvostrano napajana indukcijom mašina se ugrađuje u vjetroatregate najvećih snaga, u one koji su projektovani za rad na kopnu (onshore), tako i u modele za priobalne morske pojase (offshore). Ovakvi vjetroatregati imaju veći stepen iskorišćenja, mogu generisati reaktivnu snagu, manja su im udarna mehanička naprezanja, jer je karakteristika generatora adaptivna, rade stabilnije i generišu manju buku. Nedostaci su: relativno visoka cijena zbog energetske elektronike, osjetljiviji su na atmosferske prenapone, povećani gubici u generatoru, generišu više harmonike. Ograničavajući faktor kod vjetroatregata najvećih snaga je reduktor koji trpi velika naprezanja.

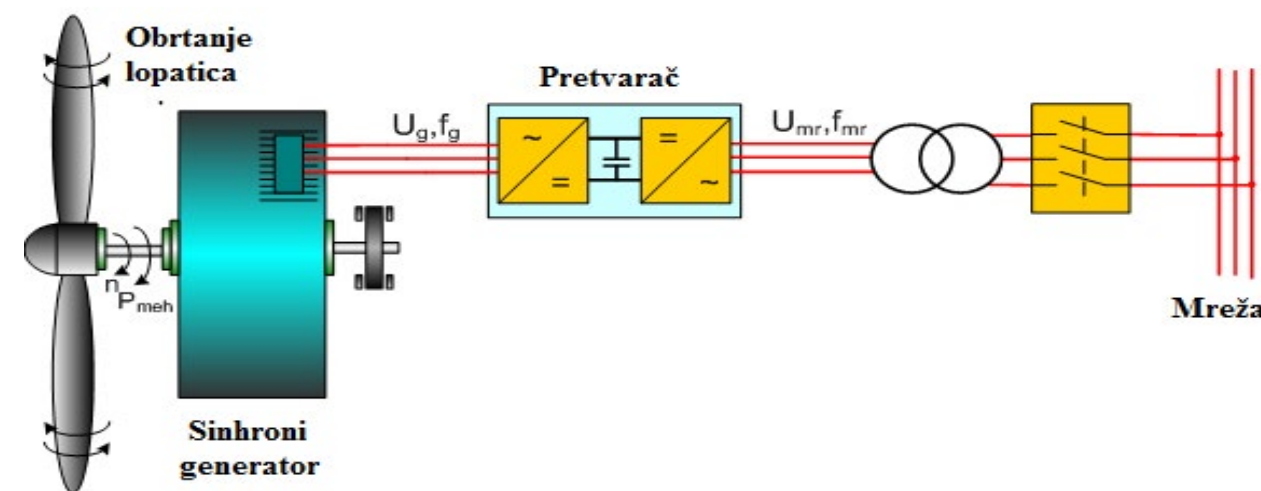
Vjetroatregat sa vjetrogeneratorom - višepolnom sinhronom mašinom sa direktnim pogonom

Osnovni nedostatak do sada prikazanih vjetroatregata je korišćenje reduktora između turbine i generatora. Ova mana je izbjegnuta kod koncepta sa sporoobrnim višepolnim sinhronim generatorom koji se direktno povezuje sa vjetroturbinom. Principijelna šema ovog vjetroatregata prikazana je na slici. Za razliku od asinhronog generatora moguće je koristiti sinhroni generator za vrlo male brzine obrtnja turbine (5-30 obr/min). Sinhroni generator sa velikim brojem polova (60 ili više) u izvedbi s klasičnom pobudom ili trajnim magnetima se može direktno spojiti na turbinu bez multiplikatora (engl. direct-drive), a priključak na mrežu je preko frekventnog pretvarača. Snaga frekventnog pretvarača jednaka je snazi generatora. Zbog velikog broja polova i male brzine obrtnja generator mora razvijati veliki moment obrtnja, njegove su dimenzije i masa relativno velike, presudno utiču na izvedbu i dimenzije elektrane.



VA sa vjetrogeneratorom-višepolnom sinhronom mašinom sa klasičnim sistemom za pobudu i direktnim spojem sa turbinom

Vjetrogenerator radi sa promjenljivim brzinama, te mora biti frekventno odvojen od mreže, što se postiže AC-DC-AC pretvaračima. Snaga i brzina vjetroturbine reguliše se zakretanjem lopatica rotora. AC-DC-AC pretvarači moraju imati snagu vjetrogeneratora, što je mana ovog koncepta. Zbog ograničenja snage konvertora, vjetrogenerator je projektovan da radi sa nominalnom snagom uz faktor snage $\cos\varphi=1$, ali je moguće na račun smanjenja aktivne snage generisati reaktivnu snagu kada je to potrebno. Ovakav jedan vjetrogenerator prikazan je na slici.



VA sa vjetrogeneratorom-višepolnom sinhronom mašinom sa permanentnim magnetima

Vjetroatregati sa sporoobrnim sinhronim vjetrogeneratorima koriste se i za agregate malih snaga (300 kW), ali i za vjetroatregate najvećih snaga. Njemački proizvođač vjetroturbina Enercon proizvodi vjetroatregate sa sporoobrnim sinhronim vjetrogeneratorima. Ovaj proizvođač nudi vjetroatregat nominalne snage 4.5 MW, sa vjetroturbinom prečnika 114 m i nosećim stubom visine 124 m. Radni opseg brzina vjetra za ovu turbinu je 2.5 do 34 m/s. Brzina obrtnja rotora vjetroturbine je 8 do 13 obr/min, pri čemu periferna brzina vrha lopatice dostiže brzinu od 270 km/h. Vjetroatregat sa sporoobrnim sinhronim vjetrogeneratorom ima slične karakteristike kao vjetroatregat sa vjetrogeneratorom - dvostrano napajanom indukcijom mašinom. Mana mu je visoka cijena, zbog korišćenja nestandardne mašine i konvertora velike snage. Zbog velikog broja polova, generator ima veliku masu i prečnik. Prednost u odnosu na prethodna rješenja je direktno sprezanje vjetrogeneratora sa vjetroturbinom, odnosno nema reduktora.

4.2.2.3. Vjetroatregati prema autonomiji režima rada

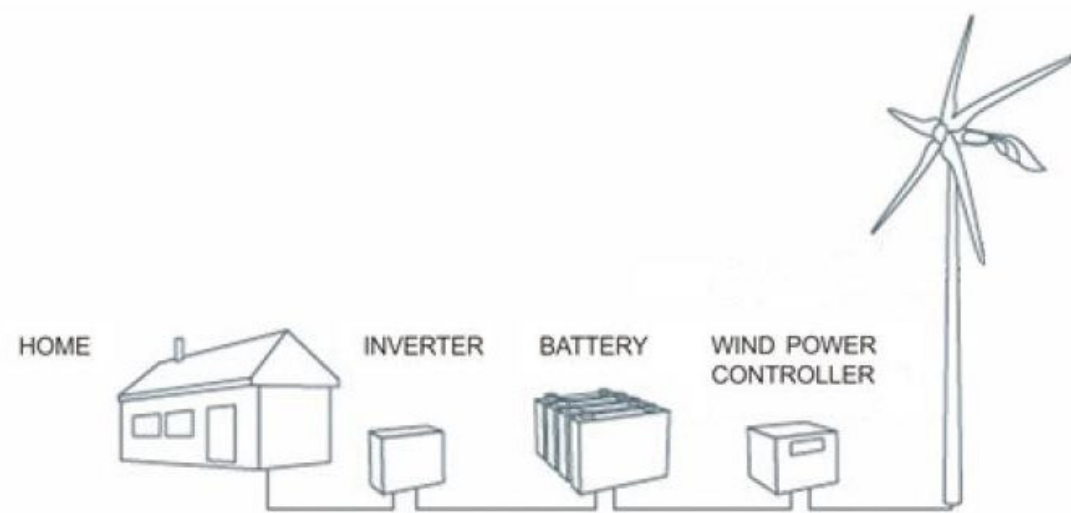
Prema autonomiji režima rada vjetroeletkrane se dijele na on-grid vjetroeletkrane (vjetroeletkrane priključene na elektroenergetsku mrežu), off-grid (samostalne vjetroeletkrane ili vjetroeletkrane koje nisu priključene na elektroenergetsku mrežu) i hibridne vjetroeletkrane (vjet-ro-solarne, vjet-ro-dizel, vjetroeletkrane sa sistemom za skladištenje energije).

On-grid vjetroeletkrane

On-grid vjetroeletkrane su vjetroeletkrane koje su direktno povezane na nacionalnu ili regionalnu elektroenergetsku mrežu. Ove vjetroeletkrane generišu električnu energiju koja se šalje u mrežu i distribuira krajnjim korisnicima. Proizvedenu energiju šalju direktno u mrežu putem električnih vodova, a energija se koristi za napajanje domaćinstava, industrije i drugih korisnika. Ove vjetroeletkrane obično rade s visokim kapacitetima i stvaraju stabilnu i kontinuiranu proizvodnju energije koja je dostupna za integraciju u mrežu. Kada su priključene na mrežu, on-grid vjetroeletkrane mogu pomoći u održavanju stabilnosti mreže, jer su u mogućnosti prilagoditi svoj rad zavisno od potreba mreže. Mogu smanjiti ili povećati proizvodnju zavisno od uslova potrošnje.

Off-grid vjetroeletkrane

Off-grid vjetroeletkrane nisu povezane na elektroenergetsku mrežu i koriste se za snabdijevanje energijom u područjima koja nemaju pristup mreži ili gdje priključivanje na mrežu nije ekonomski isplativo. Ove vjetroeletkrane proizvode energiju koja se koristi lokalno, često za snabdijevanje udaljenih područja, domaćinstava ili specifičnih industrijskih objekata. S obzirom da ovi sistemi nisu povezani s mrežom, energija koju generišu mora se skladištiti kako bi bila dostupna kada vjetar nije prisutan. Za to se koriste baterije ili druge tehnologije za skladištenje energije. Ovi sistemi rade autonomno i mogu uključivati komponente za automatizaciju kako bi se osigurao nesmetan rad u uslovima s promjenjivim vjetrom. Off-grid sistemi ne zavise od vanjskih izvora energije i mogu funkcionisati u područjima bez elektroenergetske infrastrukture. Mogu se koristiti u udaljenim područjima, na farmama, na brodovima ili u istraživačkim stanicama.



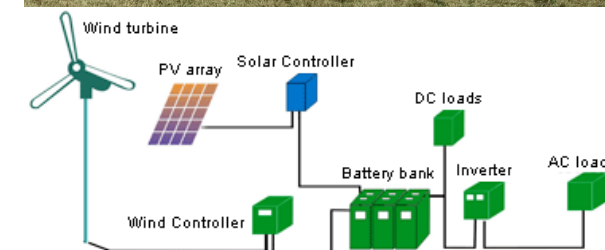
Prikaz off-grid elektrane

Hibridne vjetroeletkrane

Hibridne vjetroeletkrane su decentralizovani sistemi za proizvodnju električne energije. Ovi sistemi kombinuju vjetroturbine s drugim izvorima energije poput solarnih panela, dizelskih generatora ili sistema za skladištenje energije, kako bi osigurale stalno snabdijevanje energijom i optimizovale proizvodnju.

Vjet-ro-solarne hibridne vjetroeletkrane

Ove vjetroeletkrane kombinuju vjetroturbine i solarne panele u jedan sistem. Korištenje obje tehnologije omogućava veću fleksibilnost i stabilnost u proizvodnji energije jer vjetar i Sunce često imaju različite obrasce proizvodnje. Solarni paneli proizvode energiju kada nema vjetra (u sunčanim danima), dok vjetroturbine rade bolje kada je oblačno ili vjetrovito, Sunce ne sija noću, dok vjetar može biti prisutan i slično.



Prikaz vjet-ro-solarne hibridne elektrane

Vjet-ro-dizel hibridne vjetroeletkrane

Ove elektrane koriste vjetroturbine u kombinaciji s dizel generatorima. Vjetroturbine proizvode energiju kad su uslovi povoljni, dok dizel generatori preuzimaju proizvodnju kad vjetar nije dostupan. Korištenje vjetroturbina smanjuje potrebu za dizel gorivom, čime se smanjuju operativni troškovi i emisije CO₂.

Vjetroeletkrane sa sistemima za skladištenje energije

Ove vjetroeletkrane koriste baterije ili druge tehnologije za skladištenje energije (kao što su sistemi na bazi vodonika ili komprimirani zrak) kako bi uskladištile višak energije proizvedene tokom perioda visokog vjetra. Uskladištena energija se koristi kad vjetar slabije duva ili tokom vršnih perioda potrošnje. Skladištenje energije omogućava konstantno snabdijevanje energijom i smanjuje potrebu za povezivanjem s elektroenergetskom mrežom i omogućava optimizaciju korištenja proizvedene energije i smanjuje gubitke.

4.2.2.4. Vjetroatregati prema lokaciji

Vjetroturbine su iskoristive na lokacijama gdje je prosječna brzina vjetra veća od 4.5 m/s. Idealna lokacija bi trebala imati konstantno strujanje vjetra bez turbulencija i sa minimalnom vjerovatnoćom naglih olujnih udara vjetra. Lokacije se prvo selektuju na osnovu karte vjetra, pa se onda vrše praktična mjerenja. Prosječna brzina vjetra jedan je od glavnih faktora za odabir lokacije vjetroturbina. Vrste vjetroeletkrana prema lokaciji: na kopnu (onshore vjetroeletkrane), na moru (offshore vjetroeletkrane - plutajuće i priobalne) i visinske vjetroeletkrane.

Lokacije na kopnu (onshore vjetroeletkrane)

Kopnene instalacije vjetroturbina najčešće se nalaze u brdovitim područjima barem 3 kilometra udaljene od obale. One se najčešće smještaju na vrh brda ili padine, jer na taj način iskorištavaju takozvanu topografsku akceleraciju koju vjetar dobije prelazeći preko uzvisine. Ta dodatna brzina vjetra stvara značajnu razliku po pitanju proizvodnje električne energije. Posebna pažnja se mora posvetiti tačnom postavljanju turbina, jer ponekad mala visinska razlika može imati značajan uticaj na proizvodnju električne energije. Često je problem što neke lokacije koje su pogodne za instalaciju vjetroturbine imaju veliku prirodnu ljepotu ili su ekološki značajne. Instalacija onshore vjetroeletkrana obično je jeftinija nego offshore, jer ne zahtijeva tehnologiju za rad u moru, specijalizovane platforme ili slične infrastrukturne zahtjeve. S obzirom na niže početne troškove, onshore vjetroeletkrane često imaju bržu povratnost ulaganja. Lako je pristupiti kopnenim vjetroeletkranama, što znači manji troškovi za održavanje i popravke, a i infrastruktura (putevi, dalekovodi, itd.) već postoji na kopnu. Nedostatak može biti prostor jer u urbanizovanim područjima ili u gustim naseljima, prostor za instalaciju može biti ograničen i često su smještene daleko od glavnih potrošačkih centara, što može zahtijevati dodatna ulaganja u prenosnu infrastrukturu. Takođe, mogu postojati konflikti s drugim sektorima, poput poljoprivrede ili turizma.

Lokacije na moru (offshore vjetroeletkrane)

To su one lokacije koje su udaljene više od 10 km od kopna i na nima su vjetroinstalacije manje napadne izgledom i bukom. Činjenica da voda (posebno duboka) ima manju površinsku "hrapavost" od kopna jako utiče na brzine vjetra, koje su mnogo veće na moru. Faktori snage su mnogo veći kod takvih instalacija. Kod lokacija sa produženim plićacima vjetroeletkrane je lako instalirati što nije slučaj kod lokacija koje nemaju takve karakteristike. Uopšteno, morske instalacije vjetroagregata su generalno skuplje od kopnenih jer su im tornjevi viši kada se uračuna dio ispod vode. Proizvedena električna energija se do kopna prenosi putem podmorskog kabla. Mora se paziti i na zaštitu od korozije, zbog čega se često dodaju dodatni premazi i katodna zaštita. Takve turbine su najveće turbine u pogonu i predviđa se dalji rast njihove veličine i instalisane snage. Vjetroeletkrane smještene na moru znaju imati i više od 100 vjetroagregata.

Ove vjetroeletkrane mogu biti u plitkim ili dubokim morskim područjima, a podijeljene su u dvije glavne vrste: priobalne i plutajuće.



VIDEO

Kako rade offshore vjetroturbine

<https://www.youtube.com/watch?v=HqCVgRbPQcg>

Priobalne (bottom-fixed) offshore vjetroeletkrane

Priobalne lokacije nalaze se unutar radijusa od 3 km od mora ili na moru unutar 10 km od kopna. Ove vjetroeletkrane postavljaju se na dnu mora i fiksiraju na dnu (često do 60 metara dubine). One su postavljene na morskoj površini, ali učvršćene konstrukcijama koje se povezuju s dnom mora.

Vjetroeletkrane na moru često iskorištavaju stabilniji i snažniji vjetar nego one na kopnu, što povećava efikasnost. Ne ometaju stanovništvo, poljoprivredu ili druge ljudske aktivnosti na kopnu ali se javljaju pitanja vezana za migraciju ptica i uticaj na morski život. Instalacija je vrlo skupa jer zahtijeva gradnju specijalnih platformi, transportne brodove i drugu infrastrukturu dok su povećani tehnički izazovi u vezi s izgradnjom i održavanjem u moru, kao i pristupom.

Plutajuće offshore vjetroeletkrane (FOW – floating offshore wind)

Ove vjetroeletkrane su instalirane na plutajućim platformama koje ne zavise od dna mora. Plutajuće turbine mogu se postaviti u dubokim vodama, gdje su uobičajene priobalne vjetroeletkrane neizvodljive odnosno mogu se postaviti u područja mora koja su previše duboka za tradicionalne priobalne vjetroeletkrane. Plutajuće vjetroeletkrane mogu povećati ukupnu proizvodnju energije, jer je prostor za instalaciju gotovo neograničen jer se mogu postaviti na većim udaljenostima od obale, gdje su vjetrovi najjači i najsvježiji, smanjujući moguće smetnje za obalu.

Instalacija i održavanje plutajućih vjetroeletkrana skuplji su nego za klasične priobalne vjetroeletkrane i potrebna su specijalizovana plovila za transport i instalaciju, a postoji i rizik od oštećenja zbog neprijateljskih uslova u moru (oluje, talasi).

Visinske vjetroeletkrane

Visinske vjetroeletkrane koriste vjetrove na većim visinama, obično iznad 200 metara, kako bi iskoristile snažniji i stabilniji vjetar. Postoji nekoliko tipova visinskih vjetroeletkrana, uključujući one na visokim zgradama i leteće vjetroturbine. Leteće turbine mogu biti smještene u višim slojevima atmosfere. Mogu se koristiti vazdušne platforme koje "lepršaju" u vazduhu ili napredni dronovi koji stvaraju vjetroeletkrane u pokretu. Vjetroeletkrane na visinama mogu koristiti vrlo stabilne i jake vjetrove koji nisu prisutni na površini zemlje. Ove turbine mogu se koristiti u područjima gdje je kopneni prostor ograničen ili gdje su instalacije na zemlji teže izvedive. Trenutno visinske turbine nisu komercijalno razvijene u širokoj upotrebi i još uvijek predstavljaju veliku investiciju i njihova dugoročna isplativost i sigurnost je još uvijek nesigurna.

Svaka od ovih vrsta vjetroeletkrana ima svoje prednosti i izazove. Onshore vjetroeletkrane su najrasprostranjenije, jer su lakše za implementaciju, dok offshore vjetroeletkrane omogućuju veće kapacitete zbog snažnijih i stabilnijih vjetrova. Visinske vjetroeletkrane su još u fazi razvoja, ali imaju potencijal za revoluciju u iskorištavanju vjetra na višim visinama. Odabir tehnologije zavisi od lokalnih uslova, potreba za energijom, dostupnih resursa i investicija.

4.2.2.5. Vjetroagregati prema snazi

Vjetroelektrane se mogu klasifikovati prema snazi, pri čemu se snaga često odnosi na kapacitet pojedine vjetroturbine ili cijelog vjetroparka. Glavne kategorije su male vjetroelektrane i velike vjetroelektrane (vjetroparkovi).

Male vjetroelektrane

Male vjetroelektrane obično uključuju pojedinačne vjetroturbine ili male vjetroparkove s ukupnim instaliranim kapacitetom do 10 MW. Ove elektrane obično služe za lokalnu ili industrijsku potrošnju energije, a rijetko se koriste za komercijalnu proizvodnju na velikim skalama.

Jedna turbina u maloj vjetroelektrani obično ima kapacitet od nekoliko stotina kilovata do nekoliko megavata odnosno najčešće su u pitanju vjetroturbine s kapacitetom od 100 kW do 2 MW.

Male vjetroelektrane često se koriste za specifične, manje energetske potrebe. To mogu biti kuće, farme, poslovni objekti, industrijske zone ili mala naselja i obično izrađuju kao distribuirani izvori što znači da ne zahtijevaju složene prenosne mreže. Instalacija malih vjetroelektrana je obično brža i jeftinija, a zbog manjih dimenzija mogu se postaviti na lokacijama koje nisu prikladne za velike vjetroelektrane.

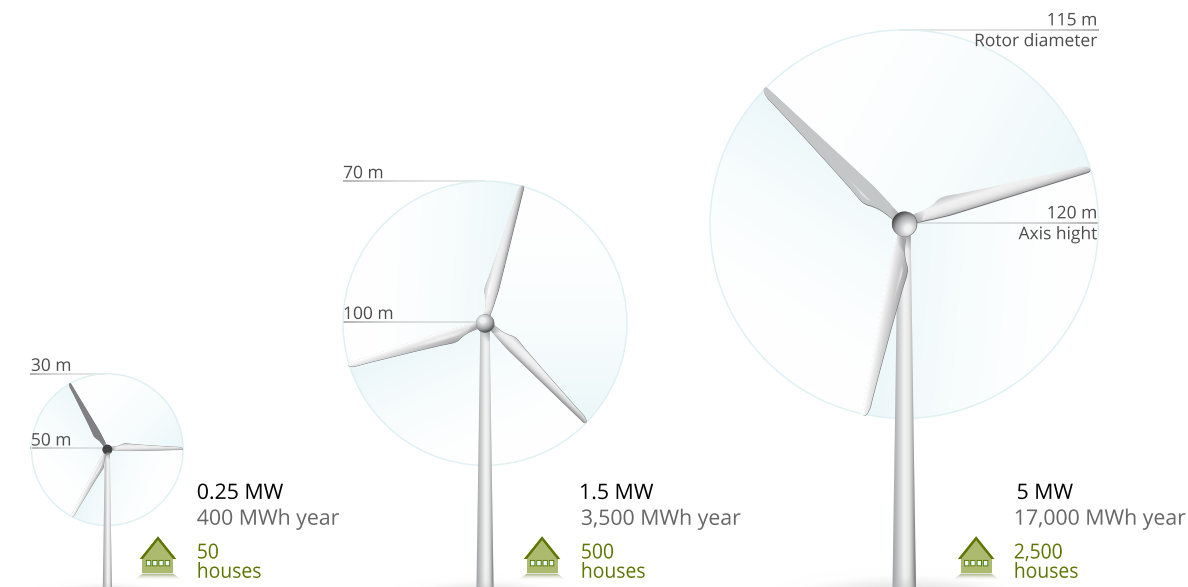
Neke male vjetroelektrane postavljaju se na krovove stambenih ili poslovnih objekata za smanjenje troškova energije. Ove elektrane obično imaju manji kapacitet (do 100 kW), ali mogu značajno doprinijeti uštedi.

Velike vjetroelektrane

Velike vjetroelektrane, ili vjetroparkovi, obuhvataju projekte s ukupnim kapacitetom većim od 10 MW, a obično uključuju veliki broj vjetroturbina. Ovi vjetroparkovi mogu imati kapacitete i do nekoliko stotina megavati (MW) i koriste se za proizvodnju energije za nacionalnu ili regionalnu mrežu. U velikim vjetroelektranama najčešće se koriste vjetroturbine s kapacitetom od 2 MW do 6 MW (ili više). S obzirom na broj turbina i njihovu snagu, ovi vjetroparkovi mogu proizvoditi značajne količine energije. Na primjer, vjetroparkovi poput London Array ili Horns Rev u Europi imaju kapacitete od 500 MW do 1.200 MW.

Ove elektrane uglavnom služe za komercijalnu proizvodnju energije koja se prodaje na tržištu i koja može biti distribuirana širokim područjima. Zahtijevaju razvijenu infrastrukturu, uključujući dalekovode i prenosne mreže, kako bi se proizvedena energija mogla transportovati do potrošača. Mnogi vjetroparkovi su smješteni na velikim udaljenostima od velikih urbanih centara.

Zbog velikih razmjera, velike vjetroelektrane mogu biti ekonomski isplativije, s nižim troškovima proizvodnje po megavat-satu (kWh), što ih čini konkurentnijim u odnosu na druge izvore energije.



Rast parametara vjetroturbine u zavisnosti od snage



VJEŽBA

Proučiti izvedbe vjetroelektrana u vašoj regiji.

4.2.3. Struktura vjetroelektrane

Struktura vjetroelektrane obuhvata različite sisteme koji omogućavaju efikasnu proizvodnju, prenos i distribuciju energije. Svaki od sistema ima specifičnu funkciju u procesu pretvaranja vjetroenergije u električnu energiju, te u njenom povezivanju s elektroenergetskom mrežom. Struktura vjetroelektrane čine sistem vjetroagregata, sistem mrežnog priključka vjetroelektrane (mrežni priključak vjetroagregata, električna mreža unutar vjetroelektrane, razvodno postrojenje u tački priključka na mrežu), upravljačko-kontrolni centar, sistem za skladištenje energije, kondenzatorsko-filtersko postrojenje

Sistem vjetroagregata

Vjetroagregat je osnovna komponenta vjetroelektrane koja pretvara kinetičku energiju vjetra u električnu energiju. Svaki vjetroagregat sastoji se od nekoliko ključnih dijelova kao što su rotor sa lopaticama, generatorska osovina koja prenosi mehaničku energiju na generator, generator koji je obično asinhroni ili sinhroni, mjenjača odnosno mjenjačke kutije, upravljačkog sistema za kontrolisanje rada vjetroagregata i nosive strukture. Svaki od ovih dijelova će biti kasnije detaljnije opisan.

Sistem mrežnog priključka vjetroelektrane

Ovaj sistem omogućava prenos proizvedene električne energije iz vjetroelektrane na električnu mrežu. Sastoji se od nekoliko ključnih dijelova.

Mrežni priključak vjetroatagregata

- **Pretvarači (inverteri):** Pretvaraju električnu energiju koju proizvodi generator u električnu energiju koja je kompatibilna s mrežnim sistemom. U slučaju da se koristi DC (jednosmjerna) energija, inverteri je pretvaraju u AC (naizmjeničnu) energiju koja može biti prenesena do mreže.
- **Zaštita i regulacija:** Mrežni priključak mora biti zaštićen od preopterećenja i kratkih spojeva, a sistem za regulaciju osigurava stabilnost napona i frekvencije, te sinhronizaciju s mrežom.

Električna mreža unutar vjetroelektrane

- **Kablovski sistem:** Koristi se za prenos energije od svakog vjetroatagregata prema razvodnom postrojenju. Ovi kablovi povezani su sa svim vjetroturbinama u vjetroelektrani i omogućavaju centralizovanu distribuciju energije.
- **Razvodna oprema:** Uključuje prekidače, osigurače i druge električne komponente koje pomažu u distribuciji energije i održavanju sigurnosti mreže.

Razvodno postrojenje u tački priključka na mrežu

- **Transformatori:** Koriste se za podizanje napona električne energije na nivo koji je potreban za prenos na većim udaljenostima do krajnjih potrošača ili ulaz u širu elektroenergetsku mrežu.
- **Razvodna oprema i prekidači:** Ovi uređaji omogućavaju kontrolu i zaštitu toka energije prema mreži. Prekidači omogućavaju prekid napajanja u slučaju neispravnosti i osiguravaju sigurnost sistema.

Upravljačko-kontrolni centar

Upravljački centar je ključna komponenta koja omogućava nadzor i optimizaciju rada vjetroelektrane. Ovaj sistem nadgleda stanje svih turbina i sistema unutar vjetroelektrane (brzina rotacije, proizvodnja energije, uslovi vjetra, temperatura, stanje opreme i drugo) i automatski prilagođava rad vjetroturbina, optimizirajući performanse zavisno od uslova vjetra i zahtjeva mreže.

Upravljački centar omogućava daljinsko praćenje i upravljanje vjetroelektranom, čak i s drugih lokacija, što je važno za velike vjetroparkove ili offshore projekte.

Sistem za skladištenje energije

Zavisno od vrste vjetroelektrane i specifičnosti lokalne energetske mreže, sistem za skladištenje energije može biti prisutan kako bi osigurao stabilnost i ravnotežu između

proizvodnje i potrošnje. Baterije mogu pohranjivati višak energije proizvedene tokom dana kada je vjetar jak, a kasnije osloboditi energiju tokom razdoblja slabijih vjetrova. U nekim većim sistemima, korištenje vodnih sistema za skladištenje energije (Pumped Hydro Energy Storage) može biti način za skladištenje energije u visokim rezervoarima kad je proizvodnja energije iz vjetra velika, a kasnije oslobađanje energije u vrijeme potreba.

Kondenzatorsko-filtersko postrojenje

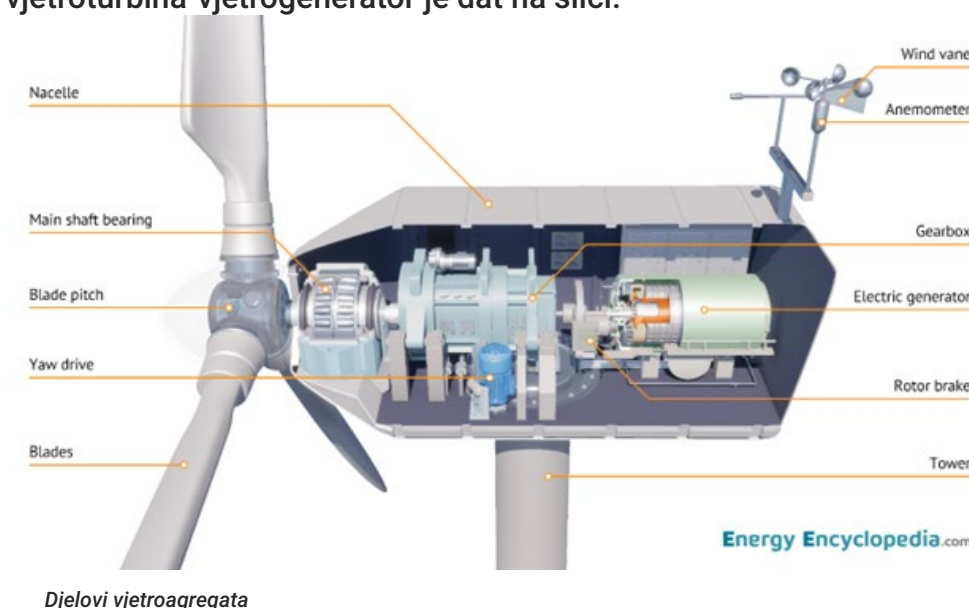
Kondenzatorsko-filterska postrojenja se koriste za poboljšanje kvalitete električne energije koju vjetroelektrana isporučuje u mrežu. Kondenzatori služe za kompenzaciju reaktivne moći, čime se smanjuje naponski pad i povećava efikasnost distribucije električne energije. Filtri mogu biti postavljeni za uklanjanje smetnji u električnom signalu i osiguranje stabilnosti napona i frekvencije, čime se sprječava negativan uticaj na elektroenergetsku mrežu.

Sve ove komponente omogućuju da vjetroelektrane doprinesu energetskej mreži i pomognu u smanjenju emisija CO₂.

4.2.4. Elementi vjetroatagregata

Elementi vjetroatagregata: rotor (lopaticice, glava, osovina), sistem za zakretanje lopatica (senzori, pogonski mehanizam, upravljanje), kočioni sistem (mehanička, električna, hidraulična kočnica), prenosnik snage (multiplikator), generator (asinhroni-indukcioni, sinhroni, jednosmjerni), anemometer, vjetrokaz, sistem za nadzor i upravljanje (manipulacije, mjerenje, regulacija, zaštita, nadzor i monitoring, upravljanje, komunikacija), sistem zakretanja gondole, uređaji energetske elektronike (DC/AC i AC/DC pretvarači), kondenzatorska baterija, gondola, toranj, priključak na mrežu (napojni kabl, razvodni ormar, transformator), sistem zaštite od požara (detektori i alarmi požara, aparati za gašenje požara, ventilacija, automatsko isključenje), temelj, uzemljenje i dr.

Za pravilno i sigurno funkcionisanje čitavog sistema vjetroturbina-generator, generator kao i ostali dijelovi vjetroatagregata moraju ispunjavati određene zahtjeve. Sistem vjetroturbina-vjetrogenerator je dat na slici.



Opis ključnih elemenata vjetroatregata:

Rotor

Rotor VA se sastoji od lopatica, glave rotora i osovine. Lopatice su komponente koje hvataju energiju vjetra i pretvaraju je u mehanički rad. Obično su izrađene od laganih, ali čvrstih materijala. Središnji dio rotora je glava rotora koja povezuje lopatice s osovnom. Glava omogućuje rotiranje lopatica pod uticajem vjetra. Osovina prenosi mehaničku energiju sa rotora na generator. Uključuje glavnu osovnu, koja je povezana sa rotorom i osovnu koja povezuje generator.

Sistem za zakretanje lopatica

Glavna komponenta ovog sistema su senzori. Služe za mjerenje brzine i smjera vjetra, pomažući sistemu da optimizuje ugao lopatica za maksimalnu efikasnost. Pogonski mehanizam upravlja zakretanjem lopatica prema smjeru vjetra (yaw sistem) i obično koristi elektromotore ili hidraulične sisteme. Upravljanje pomaže u regulaciji ugla lopatica kako bi se optimizovala proizvodnja energije, spriječilo preopterećenje i osigurala sigurnost.

Kočioni sistem

Kočioni sistem čine mehanička, električna i hidraulična kočnica. Mehanička kočnica fizički blokira rotaciju rotora, obično putem kočionih diskova, kada je potrebno zaustaviti vjetroatregat. Električna kočnica koči rotaciju rotora korištenjem generatora ili elektromotora kao dinamične kočnice dok hidraulična pruža snažniji kočioni moment putem hidrauličkog sistema i obično se koristi za sigurnosno zaustavljanje pri ekstremnim uslovima.

Prenosnik snage (Multiplikator)

U sistemima sa mjenjačem, multiplikator povećava brzinu rotacije rotora prije nego što ta energija stigne do generatora, jer generator mora raditi pri puno višim brzinama.

Generator

Kao što smo ranije u priručniku pomenuli, nekoliko vrsta generatora se koristi u vjetroatregatima VE. Asinhroni-indukcioni generator je najčešće korišćeni generator u vjetroeletktranama i može raditi u različitim uslovima vjetra. Sinhroni generator je rjeđe korišten u vjetroturbinama, jer zahtijeva sinhronizaciju s mrežnom frekvencijom. U specifičnim slučajevima se koristi i jednosmjerni generator, kada je potrebna proizvodnja jednosmjernog napona, poput off-grid sistema.

Anemometar

Anemometar je uređaj koji mjeri brzinu vjetra i šalje podatke upravljačkom sistemu koji zatim prilagođava rad vjetroatregata.

Pokazivač smjera - vjetrokaz

Ovaj mali uređaj mjeri smjer vjetra, pomažući sistemu za zakretanje gondole i lopatica kako bi vjetroturbina bila usmjerena prema najpovoljnijem smjeru vjetra.

Sistem za nadzor i upravljanje

Ovo je složeniji sistem kojim se izvode operacije manipulacije odnosno upravljanje mehaničkim djelovima, poput zakretanja lopatica i gondole, zatim mjerenje i praćenje parametara kao što su brzina vjetra, temperatura, naponske i strujne vrijednosti i regulacija i optimizacija rada vjetroatregata kako bi se postigla maksimalna efikasnost. Ovaj sistem osigurava zaštitu od preopterećenja, prekomjerne brzine vjetra i drugih opasnosti praćenjem sstanja svih komponenti vjetroatregata u stvarnom vremenu i povezivanjem VE sa vanjskim sistemima za daljinsko praćenje i upravljanje.

Sistem zakretanja gondole

Sistem za zakretanje gondole osigurava da gondola (središnji dio vjetroatregata koji sadrži generator) bude okrenuta prema smjeru vjetra, obično pomoću elektromotora ili hidrauličnih sistema.

Uređaji energetske elektronike

Generator vjetroatregata obično proizvodi naizmjeničnu struju (AC) koja nije uvijek u skladu s mrežnim zahtjevima, pa se koristi inverter (ako je potrebna promjena iz DC u AC) ili konvertor za transformaciju struje u odgovarajući oblik za mrežu. Inverter osigurava da proizvodnja električne energije iz vjetroturbine bude sinhronizovana sa naponom, frekvencijom i fazom elektroenergetske mreže. Invertori takođe mogu obavljati zadatke poput kontrole snage i stabilizacije napona.

Kondenzatorska baterija

Ova baterija se koristi za kompenzaciju reaktivne moći u sistemu i stabilizaciju napona kako bi se održao kvalitet energije.

Gondola

Gondola predstavlja središnji dio vjetroatregata koji sadrži generator, prenosne sisteme, kočnice i sistem za zakretanje. Smještena je na vrhu tornja. Gondola je vrlo teška, obično teži između 70 i 120 tona, zavisno od veličine vjetroturbine. Gondola omogućava efikasan prenos kinetičke energije s rotora na generator i dalje u električnu energiju koja se šalje u mrežu.

Toranj

Struktura koja podržava gondolu i rotor je toranj. Toranj mora biti dovoljno visok da dostigne područja s jakim vjetrom i njegova visina može biti i do 150 metara. Obično je izrađen od čelika ili betona. Veći tornjevi omogućavaju bolje iskorištavanje vjetra.

Priključak na mrežu

Priključak na mrežu predstavlja fizičku vezu između vjetroturbine i elektroenergetske mreže. To uključuje sve potrebne kablove, spojne kutije, razvodni ormar, mjernu opremu i druge komponente koje omogućuju prenos električne energije iz vjetroatregata u mrežu.

Transformator

Transformator je ključna komponenta koja omogućava promjenu napona koji generiše vjetroturbina kako bi se uskladio s naponskim nivoima mreže. Energija koju generiše generator vjetroatregata obično je niskog napona, a transformator podiže taj napon na nivo pogodan za prenos kroz mrežu.

Sistem zaštite od požara i sigurnosni uređaji

Sigurnosni uređaji osiguravaju da vjetroatregat bude zaštićen od oštećenja zbog električnih kvarova, kratkih spojeva, preopterećenja ili drugih nesreća. Zaštitni releji i prekidači omogućavaju automatsko isključivanje sistema u slučaju opasnosti, što štiti opremu i sprječava širenje kvarova na mreži. Detektori i alarmi požara otkrivaju početak požara i šalju alarm za pravovremenu reakciju. Ventilacija mora biti projektovana tako da održava optimalne uslove u gondoli i sprječava nakupljanje zapaljivih gasova. U slučaju požara ili drugog kritičnog problema, sistem automatski isključuje vjetroatregat kako bi se spriječila šteta.

Temelj

Temelj je struktura koja omogućava stabilnost vjetroeletkrane, obično izgrađena od betona i čelika, koja podupire toranj.

Uzemljenje

Uzemljenje vjetroatregata predstavlja ključnu komponentu sistema sigurnosti u vjetroeletkranama. Uzimajući u obzir veličinu i snagu vjetroturbina, pravilno uzemljenje je nužno za zaštitu ljudi, opreme i električnih dijelova od potencijalnih električnih udara, kratkih spojeva i drugih opasnosti koje nastaju uslijed električnih kvarova. Uzemljenje omogućava da električni kvarovi, poput kratkog spoja ili udara munje, budu usmjereni prema zemlji umjesto da prolaze kroz osjetljive komponente vjetroatregata ili električnu mrežu, čime se sprječava opasnost od električnog udara za ljude ili životinje.



VIDEO

Simulacija rada vjetroatregata

<https://www.youtube.com/watch?v=TXHAKe6l0rE>



KVIZ

Kviz 3: Elementi vjetroatregata

<https://forms.office.com/e/he6v3JvUPD>

4.2.5. Materijal, alat, oprema i uređaji za rad na izgradnji i održavanju vjetroeletkrana

Za kvalitetnu i sigurnu izgradnju, montažu i održavanje vjetroeletkrana, neophodno je korišćenje odgovarajućeg materijala, alata, opreme i uređaja. Svaka komponenta ovog sistema doprinosi efikasnosti i sigurnosti rada, omogućavajući pravilno izvođenje svih operacija.

Materijal: provodnici i kablovi za ožičenje, stezaljke, spojnice, razdjelnici, izolacione trake i drugi izolacioni materijal, PV cijevi i kutije, sredstva za podmazivanje, sredstva za uklanjanje rđe, sredstva za zaštitu od korozije (antikorozivne boje, premazi, mastici), materijali za zaptivanje, vijci i matice, materijal za obilježavanje i signalizaciju, građevinski materijal i dr.

Primjeri energetskih kablova



PP00



PP40

Upotreba: Za razvod energije u gradskim mrežama, industrijskim postrojenjima. Polazu se u kablovske kanale, zatvorene prostorije i u zemlju uz primjenu dodatne zaštite.



PP 45-A

Upotreba: Za razvod energije u gradskim mrežama, industrijskim postrojenjima i na mjestima gde se očekuju mehanička oštećenja. Polazu se u zemlju, kablovske kanale i otvorenom prostoru. Pogodan je za vertikalno i koso polaganje kao i na terene podložne klizanju.

Upravljački i signalni kablovi



Upravljački i signalni kablovi

Upotreba: Za povezivanje signalnih i komandnih uređaja u industriji, termo, hidroelektranama, vjetro i solarnim elektranama, saobraćaju i sl. Polaze se u kablovske kanale u zatvorenem prostoru i u zemlju uz primjenu dodatne zaštite.

Kablovski pribor za instalacione kablove



Termoskupljajuća kablovska kapa

Kablovske spojnice i račve



Razne vrste kablovskih papučica



Kablovske glave



Razne vrste spojnih čaura

Primjeri cijevi



Instalacione PVC cijevi

Instalacione metalne cijevi i spojnice

Alat: izolaciona kliješta, kompresiona kliješta, sjekači provodnika, pile za metal, odvijači, ključevi, turpije, čekići, električni bravarski alat, hidraulični alat (hidraulične prese, pištolji i dr.), ručna sredstva za podizanje tereta, makaze i noževi za sječenje izolacionog materijala, makaze za sječenje lima, testere, alat za spajanje lemljenjem, alat za savijanje lima, alat za savijanje profila, alat za probijanje, alat za prosijecanje, alat za odsijecanje, alat za izradu navoja, mjerni i kontrolni alat, alat i pribor za zavarivanje, libela i dr.



Alati za krimpovanje, skidanje izolacije, mjerni instrumenti

Hidraulični alat

Oprema i uređaji: prenosni uzemljivač, izolaciona motka, prenosivi transformator, prenosivi generator, bušilica, brusilica, visokonaponski pokazivači napona, multimetri, uređaji za dijagnostiku i ispitivanja, megaommetar, privremene konstrukcije i objekti (skele, radne platforme, zakloni i dr.), podizne kuke, nosači, ankeri, dizalica sa izolacionom platformom i dr.



Radne platforme

Visokonaponski pokazivači napona ključni su alati za rad na izgradnji i održavanju vjetroelektrana. Ovi uređaji omogućuju tehničarima da sigurno provjere prisutnost ili odsutnost visokog napona u električnim instalacijama, čime se smanjuje rizik od električnih udara.



Visokonaponski pokazivači napona

Specijalizovane mašine i vozila: Za izgradnju i održavanje vjetroelektrana često se koriste specijalizovane mašine i vozila prilagođena radu u teškim uslovima. To uključuje teleskopske dizalice velikog kapaciteta za podizanje i montažu vjetroturbina, terenska vozila za transport opreme i materijala po nepristupačnim terenima, samohodne skele i platforme za rad na visini, kao i specijalizovane bušilice i rovokopače za postavljanje temelja i kablovskih instalacija. Ova vozila i mašine omogućavaju sigurno i efikasno izvođenje svih građevinskih i elektroinstalaterskih radova na vjetroelektranama.



Specijalizovana vozila

Ovi materijali, alati, oprema i uređaji su od izuzetne važnosti za efikasan i siguran rad na izgradnji i održavanju vjetroelektrana, omogućavajući kvalitetno izvođenje svih potrebnih operacija i zadataka.



Specijalizovani avion za transport lopatica vjetroturbine



VIDEO

Specijalizovani avion za transport opreme vjetroelektrane

<https://www.youtube.com/watch?v=EDnLqOqfKaU>



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak 1: Korišćenje ručnih i električnih alata

Materijal i alat:

- Osnovni ručni alati (klješta, odvijači, skalpeli, noževi za skidanje izolacije)
- Električni alati (bušilica, brusilica, lemilica, pištolj za vrući vazduh)
- Tester i mjerni instrumenti (multimetar, ispitivač napona, ampermetar)
- Sigurnosna oprema (zaštitne rukavice, zaštitne naočare, radna odjeća)

Postupak izvođenja:

1. Demonstracija upotrebe alata
 - Upoznaj se s osnovnim funkcijama ručnih i električnih alata.
 - Pregledaj tehničke karakteristike alata i način korišćenja.
 - Pravilno podesi alat prije upotrebe.
2. Praktična primjena alata
 - Koristi klješta i odvijače za obradu provodnika i spajanje električnih elemenata.
 - Isprobaj električne alate za bušenje, rezanje i oblikovanje materijala.
 - Primijeni tester za provjeru ispravnosti električnih instalacija.
3. Analiza efikasnosti i bezbjednosti rada
 - Provjeri ispravnost alata prije i poslije upotrebe.
 - Uporedi brzinu i preciznost ručnih i električnih alata u različitim zadacima.
 - Diskutuj o sigurnosnim pravilima pri radu s električnim alatima.

Završna provjera:

- Demonstriraj tačnu i sigurnu upotrebu svakog alata.
- Prezentuj ispravnu primjenu električnih alata kroz praktične zadatke.
- Identifikuj moguće greške u korišćenju alata i predloži poboljšanja.



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak 2: Prepoznavanje i analiza materijala

Materijal i alat:

- Uzorci različitih vrsta materijala (bakarni i aluminijumski provodnici, izolacioni materijali, plastične i metalne cijevi, zaštitni omotači)
- Tehnička dokumentacija i katalozi proizvođača
- Mjerne alatke (mikrometar, kliješta za presovanje, nož za skidanje izolacije)
- Zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočare)

Postupak izvođenja:

1. Pregled dostupnih materijala
 - Razvrstaj uzorke provodnika i izolacionih materijala.
 - Identifikuj materijale na osnovu boje, fleksibilnosti, oznaka i standarda.
2. Poređenje svojstava materijala
 - Izmjeri debljinu provodnika i izolacije.
 - Uporedi mehaničku čvrstoću različitih materijala.
 - Analiziraj prednosti i mane upotrebe bakra u odnosu na aluminijum u elektroinstalacijama.
3. Diskusija o primjeni materijala
 - Identifikuj koji materijali se koriste za različite tipove instalacija
 - Procijeni koji materijal je najpogodniji za specifične uslove rada (vlaga, visoka temperatura, mehanički stres).
4. Grupni zadaci
 - Podijeli se u grupe i analiziraj tehničke specifikacije određenog materijala.
 - Prikaži zaključke o izboru materijala za konkretne aplikacije.

Završna provjera:

- Prezentuj analizu i zaključke o upotrebi materijala u specifičnim uslovima rada.
- Objasni razloge izbora određenog materijala na osnovu tehničkih podataka.
- Provjeri tačnost podataka u tehničkoj dokumentaciji.

5. MONTIRANJE I DEMONTIRANJE ELEKTROENERGETSKE OPREME U VJETROELEKTRANAMA

5.1. Priprema terena za montažu elektroenergetske opreme u vjetroelettranama

Priprema terena za montažu elektroenergetske opreme ključna je za stabilnost i dugoročnu funkcionalnost vjetroelettrane. Ovaj proces uključuje izradu temelja za vjetroturbine, pripremu rovova za kablovsku infrastrukturu, postavljanje elektroenergetskih priključaka i osiguravanje tehničkih uslova za rad elektroinstalacija.

Važnost i postupak ispitivanja lokacije – mjerenje brzine vjetra

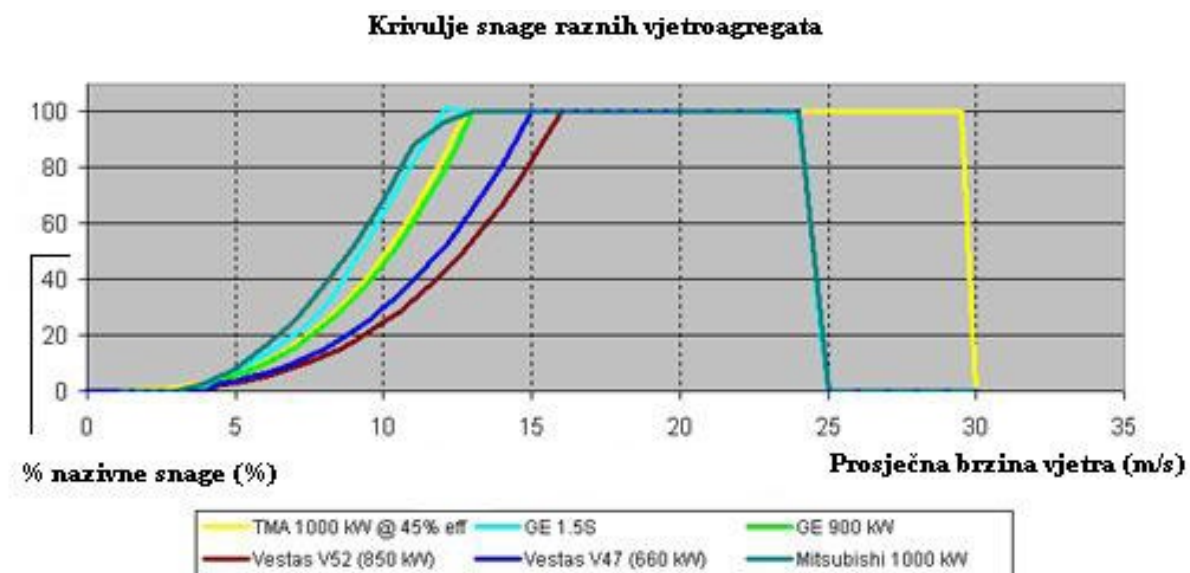
Prije početka izgradnje vjetroelettrane neophodno je sprovesti višegodišnja mjerenja brzine i pravca vjetra kako bi se procijenila isplativost projekta i optimizovala raspodjela vjetroturbina.

Precizna procjena proizvodnje energije omogućava realistične proračune i smanjuje investicione rizike. Optimizacija rasporeda turbina smanjuje turbulencije i povećava efikasnost rada sistema, dok analiza sezonskih varijacija omogućava bolje planiranje proizvodnje i održavanja.

Kritične brzine vjetra za početak rada i zaustavljanje vjetrogeneratora zavise od dizajna i tipa turbine, ali se generalno kreću u sljedećim okvirima:

- Minimalna brzina vjetra za pokretanje (Cut-in speed) - Obično između 3 – 4 m/s. Ovo je najniža brzina vjetra pri kojoj vjetroturbina počinje proizvoditi električnu energiju. Ispod ove vrijednosti, vjetar nema dovoljno snage da pokrene lopatice.
- Nominalna brzina vjetra (Rated speed) - Obično između 12 – 15 m/s. Ovo je optimalna brzina vjetra pri kojoj turbina postiže svoj maksimalni izlaz snage. Turbina nastavlja da proizvodi istu maksimalnu snagu i pri većim brzinama vjetra do granice isključenja.
- Maksimalna brzina vjetra za rad (Cut-out speed) - Obično između 20 – 25 m/s (72 – 90 km/h). Ako brzina vjetra pređe ovu granicu, sistem automatski isključuje turbinu kako bi se spriječio oštećenje.
- Brzina isključivanja u olujnim uslovima (Survival wind speed) - Obično preko 50 – 70 m/s (180 – 250 km/h). Ovo je maksimalna brzina vjetra koju turbina može fizički podnijeti prije trajnog oštećenja. U ekstremnim uslovima, turbina aktivira kočioni sistem i okreće lopatice u "pernato" (feathering) stanje kako bi smanjila površinu izloženu vjetru.

Ove vrijednosti mogu varirati zavisno o proizvođaču i tipu vjetroturbine (kopnene ili offshore). Svaki proizvođač vjetrogeneratora ima napravljen dijagram iskoristivosti u zavisnosti od brzine vjetra. Krivulje snage raznih vjetroatagregata



Krivulje snage raznih vjetroagregata

Postupak mjerenja brzine vjetra:

- Instalacija meteorološke mjerne stanice – Postavlja se na visini planirane gondole vjetroturbine (80-140 m) i opremljena je anemometrima, vjetrokazima i senzorima za temperaturu i vlagu.
- Upotreba LIDAR i SODAR tehnologije – LIDAR (Light Detection and Ranging) i SODAR (Sonic Detection and Ranging) omogućavaju mjerenje profila vjetra do visine od nekoliko stotina metara bez potrebe za fizičkim stubovima.
- Dugotrajno prikupljanje podataka (12-24 mjeseca) – Kontinuirano bilježenje brzine i pravca vjetra za pouzdanu analizu.
- Analiza i optimizacija – Koriste se softverski alati za simulaciju i modeliranje vjetroenergetskog potencijala. Identifikuju se ekstremni vjetrovi, promjene u turbulentnosti i sezonske fluktuacije. Vršiti se optimizacija razmještaja turbina u vjetroparku kako bi se minimizirale turbulencije i maksimizirala proizvodnja energije.
- Donošenje odluka – Na osnovu rezultata izrađuje se finalna studija izvodljivosti i definišu tehničke specifikacije opreme.

Vrste temelja za vjetroturbine mogu biti betonski, čelični i plutajući, u zavisnosti od lokacije i podloge na kojoj se elektrana gradi. Betonski temelji najčešće se koriste u kopnenim vjetroeletranama zbog visoke stabilnosti i otpornosti na vremenske uticaje. Oni se izrađuju u obliku velikih armiranih ploča ili stubova koji preuzimaju opterećenje vjetroturbine i prenose ga na tlo. Čelični temelji se koriste u offshore elektranama, gdje je potrebno osigurati otpornost na koroziju i jake morske struje. Plutajući temelji se primjenjuju kod vjetroeletrana na dubokim vodama, gdje klasične fiksne strukture nisu moguće.

Prilikom postavljanja temelja, posebna pažnja se posvećuje izradi elektroenergetskih priključaka, koji moraju biti ugrađeni u fazi betoniranja kako bi se kasnije olakšalo povezivanje električnih instalacija. Ovo uključuje provlačenje elektroprovodnih cijevi, postavljanje uzemljenja i osiguravanje spojeva za razvodne ormare i transformatore.



Primjeri temelja vjetroturbina

Pored temelja, neophodno je pripremiti rovove za polaganje elektroenergetskih kablova. Rovovi moraju biti dimenzionisani u skladu s projektom i tehničkim standardima kako bi se osiguralo sigurno postavljanje kablova i njihova dugoročna zaštita od mehaničkih oštećenja i nepovoljnih vremenskih uslova.

Za kopnene vjetroeletrane, rovovi se kopaju u skladu s geološkim karakteristikama terena i zahtjevima instalacije. Dubina rova zavisi od naponskog nivoa kablova i specifičnih uslova lokacije, ali obično iznosi od 0,8 do 1,5 metara. Nakon iskopavanja, na dno rova postavlja se zaštitni sloj pijeska ili drugog materijala kako bi se spriječilo direktno oštećenje kablova. Kablovi se zatim pažljivo polažu, osiguravaju i prekrivaju zaštitnim elementima poput plastičnih pokrivnih traka ili betonskih ploča. Nakon toga, rovovi se zatrpavaju slojevima zemlje uz obavezno obilježavanje trase kablova radi lakšeg budućeg održavanja i inspekcije.

Kod offshore vjetroeletrana, rovovi za energetske kablove moraju biti dodatno zaštićeni od hidrodinamičkih sila, talasa i morskih struja. Kablovi se obično polažu pomoću specijalizovane opreme koja omogućava njihovo sigurno postavljanje na morsko dno, a u određenim slučajevima se dodatno prekrivaju zaštitnim materijalima kako bi se smanjio uticaj abrazije i mehaničkih oštećenja.

Nakon polaganja kablova, izvode se testiranja i inspekcije kako bi se osigurala ispravnost instalacija. Testiranje uključuje provjeru kontinuiteta i izolacije kablova, kao i otpornosti spojeva na mehaničke i električne uticaje. Ove provjere su ključne jer osiguravaju sigurnost sistema i sprečavaju potencijalne kvarove nakon puštanja elektrane u rad.

Pored rovova i temelja, potrebno je pripremiti postolja za elektroenergetsku opremu, uključujući transformatorske stanice, razvodne ormare i priključne tačke. Ova postolja moraju biti pravilno nivelisana i učvršćena kako bi izdržala težinu opreme i osigurala stabilnost sistema.

Završna faza pripreme terena uključuje postavljanje uzemljenja i provodnih puteva za zaštitne vodiče. Ispravno izvedeno uzemljenje je od ključnog značaja za zaštitu od prenapona i osiguravanje sigurnosti elektroenergetskog sistema.

Kada su svi pripremni radovi završeni, vrši se finalna inspekcija, kojom se provjerava da li su temelji, rovovi, uzemljenje i energetski priključci izvedeni u skladu s projektom i standardima. Tek nakon toga može započeti montaža elektroenergetske opreme i povezivanje sistema vjetroeletrane na mrežu.

5.2. Montiranje i demontiranje montažne konstrukcije opreme u vjetroelektranama

Montažne konstrukcije u vjetroelektranama predstavljaju ključne elemente koji omogućavaju postavljanje različite opreme i infrastrukturnih objekata potrebnih za rad i sigurnost same vjetroelektrane. Svaka konstrukcija ima specifičnu funkciju i mora biti dizajnirana tako da osigurava stabilnost, izdržljivost i sigurnost, uzimajući u obzir tehničke zahtjeve, vanjske uslove i predviđenu upotrebu.

Toranj i gondola vjetroagregata – karakteristike važne za montažu i demontažu

Montaža i demontaža tornja i gondole vjetroagregata predstavljaju ključne faze u postavljanju i održavanju vjetroelektrana. Ovi procesi zahtijevaju preciznost, specijalizovanu opremu, sigurne radne uslove i stroge tehničke smjernice zbog visine, težine i kompleksnosti ovih elemenata.

Kao što smo naveli, toranj je glavni vertikalni element vjetroelektrane koji podržava gondolu, rotor (lopatice) i sve povezane komponente. Toranj mora biti čvrst i stabilan kako bi podnio sile koje nastaju uslijed vjetera i rotacije vjetroturbine. Tornjevi mogu biti visoki između 60 i 150 metara, zavisno od specifičnih uslova lokacije. Najčešći su čelični tornjevi, ali mogu se koristiti i betonski temelji ili kombinacije čelika i betona. Čelični tornjevi mogu biti tubularni (cilindrični) ili segmentirani (sastavljeni iz više djelova). Toranj mora biti dovoljno čvrst da izdrži različite vremenske uslove (vjetrove, snijeg, kišu) i vibracije koje uzrokuje rad turbine. Osim toga, mora omogućiti montažu gondole, rotora i drugih važnih sistema.

Gondola je ključna komponenta vjetroagregata koja se postavlja na vrh tornja. Težina gondole je obično između 70 i 120 tona. Unutar gondole nalaze se generator, prenosni mehanizam, sistem za okretanje turbine (yaw sistem), sistem za praćenje vjetera, elektronički kontrolni sistem i razni senzori te je od izuzetne važnosti posebno voditi računa o podizanju gondole i spajanju sa tornjem.

Montaža i demontaža tornja i gondole vjetroagregata zahtijevaju specijalizovanu opremu, iskustvo i visoku preciznost kako bi se osigurala sigurnost svih radnika i pouzdano postavljanje svih komponenti. Demontiranje je takođe tehnički izazov, ali uz odgovarajuće mjere opreza, može se izvesti na siguran način i u skladu s regulativama.

Postupak montaže tornja se odvija u nekoliko koraka.

Prvi korak je priprema gradilišta koji počinje temeljnom pripremom zemljišta. Tlo na kojem će se postaviti toranj mora biti stabilno. Izgrađuju se temeljni temelji (betonski ili čelični) na kojima će stajati toranj. Temelj mora biti duboko ukopan kako bi mogao podnijeti težinu cijele turbine. Nakon toga se sprovodi geodetska i tehnička inspekcija temelja kako bi se osigurala pravilna razina i smjer tornja.

Nakon toga se izvodi montaža djelova tornja. Komponente tornja (segmenti) transportuju se na gradilište specijalizovanim vozilima (kamionima ili brodovima za offshore projekte). Montaža tornja obično započinje s donjim segmentima. Svaki segment tornja podiže se pomoću velike dizalice (mobilne dizalice, teleskopske dizalice ili zračne dizalice,

zavisno od lokacije i uslova). Svaki segment tornja spaja se pomoću vijaka i pričvrstnih mehanizama. Djelimična montaža se nastavlja sve dok toranj ne dostigne potrebnu visinu. Zatim se toranj fiksira. Na vrhu tornja postavljaju se toke i nosači koji omogućuju montažu gondole.

Postupak montaže gondole se takođe odvija u nekoliko koraka.

Prvo se priprema oprema. Prije montaže gondole, potrebno je osigurati potrebnu opremu za podizanje, poput dizalice velike nosivosti (obično mobilne dizalice s kranom). Prije podizanja, sve komponente unutar gondola, generator, prenosni sistem i sistem za okretanje, moraju biti pažljivo provjerene i osigurane. Gondola se podiže uz pomoć dizalice prema vrhu tornja pomoću dizalice. To je kritična faza koja zahtijeva veliku preciznost jer gondola mora biti pravilno postavljena na vrh tornja. Dizalice se koriste za podizanje, a radnici na terenu prate sve aspekte podizanja. Nakon toga se gondola priključuje na toranj. Kada gondola dosegne vrh, spaja se na nosače na vrhu tornja, a svi spojevi i sigurnosni mehanizmi se provjeravaju. Nakon montaže gondole, rotor (lopatice) se montiraju na glavnu osovinu generatora. Zavisno od veličine vjetroturbine, lopatice se mogu montirati pojedinačno ili u grupama. Nekad se montiranje lopatica na glavnu osovinu vrši na tlu pa se taj sistem zajedno podiže i montira na gondolu. Na kraju se vrši električna i mehanička provjera. Testiraju se sve električne veze, kontrolni sistemi, prenosni mehanizam i sistem za okretanje gondole.

Postupak demontaže tornja i gondole vjetroagregata

Demontiranje vjetroagregata (tornja i gondole) obično se provodi tokom faze održavanja ili nakon što vjetroelektrana prestane s radom, npr. zbog završetka životnog vijeka ili uklanjanja stare turbine.

Postupak demontiranja tornja započinje zaustavljanjem vjetroagregata. Prvo se isključe sve električne i mehaničke komponente. Zavisno od vrste vjetroelektrane, potrebno je ukloniti sve kablove i električne instalacije koje povezuju vjetroagregat s mrežom. Zatim se provjerava sigurnost. Prije početka demontiranja sprovodi se procjena sigurnosnih uslova, uključujući inspekciju terena i korištenje zaštitne opreme. Kada su svi uslovi provjereni, pristupa se demontiranju djelova tornja. Komponente tornja se postepeno uklanjaju. Segmenti se spuštaju pomoću dizalice, počevši od gornjih djelova. Nakon spuštanja, uklonjeni djelovi se transportuju sa gradilišta na odgovarajući način.

Demontiranje gondola započinje podizanjem gondola. Kao kod montaže, gondola se podiže pomoću velike dizalice i spušta na tlo. Ispod gondole, odvajaju se generator, prenosni mehanizam i ostale komponente koje su ugrađene u gondolu. Nakon što je gondola sigurno postavljena na tlo, svi djelovi se demontiraju i transportuju na odabranu ili reciklažnu lokaciju.

Nosači i postolja elemenata električnih instalacija

Postupak montaže i demontaže postolja i nosača za postavljanje elemenata električnih instalacija i sigurnosne opreme u vjetroelektranama vrlo je važan dio izgradnje i održavanja infrastrukture.

Postolja i nosači imaju važnu funkciju u elektroenergetskim sistemima jer omogućavaju pravilno postavljanje sklopki, transformatora, električnih kablova i drugih energetskih sistema. Njihova uloga je osigurati stabilnost, sigurnost i zaštitu instalacija od vanjskih faktora. Osim toga, služe za montažu sigurnosne opreme, poput sigurnosnih kamera, meteoroloških senzora, svetionika i zvučnih alarma, koji doprinose sigurnosti u vjetroelektrani. Konstrukcije moraju biti dizajnirane tako da podnose vanjske uticaje, kao što su kiša, vjetar, snijeg, visoke temperature i korozivni uslovi, posebno u priobalnim (offshore) vjetroelektranama.

Postupak montaže postolja i nosača

Montaža nosača i postolja započinje postavljanjem temelja. Ako se koristi betonska podloga, ona se izlije prema specifikacijama, osim ako nije postavljena u prethodnim fazama izgradnje. Postolja koja se montiraju na temelje izrađena su od čelika ili aluminija, zavisno od vrste instalacije. Pričvršćuju se vijcima, čavlima ili drugim pričvrsnim materijalima, a kod čeličnih nosača neophodna je kontrola kvalitete zavarenih spojeva i učvršćenja.

U slučaju da se nosači koriste za uređaje koji moraju biti postavljeni pod određenim uglom ili visinom, kao što su meteorološki senzori, kamere ili svetionici, odabere se prilagodljiv dizajn koji omogućava podešavanje položaja. S obzirom na vanjske uslove, postolja su konstruisana tako da pružaju maksimalnu stabilnost i otpornost na vjetrovite uslove.

Nakon što su nosači i postolja postavljeni, na njih se montiraju odgovarajući elektroenergetski uređaji, poput prekidača, senzora i kablova. Električna instalacija povezuje se prema tehničkim specifikacijama, a sigurnosni uređaji, poput kamera ili svetionika, spajaju se sa energetskim izvorima i sistemima za skladištenje energije pa povezuju sa središnjim sistemom vjetroelektrane. Kada su svi elementi montirani, sprovodi se kontrola stabilnosti. To uključuje provjeru pričvrsnih mehanizama i učvršćenja, kao i testiranje svakog postavljenog uređaja kako bi se osigurao ispravan rad.

Postupak demontaže postolja i nosača

Prije početka demontaže svih električnih komponenti potrebno je isključiti napajanje. Uređaji povezani na postolja ili nosače, poput sigurnosnih kamera ili transformatora, moraju se isključiti kako bi se osigurala sigurnost radnika. Zatim se sprovodi sigurnosna provjera kako bi se osiguralo da su uslovi za rad sigurni, pri čemu se koristi zaštitna oprema poput kaciga, rukavica i sigurnosnih odijela.

Demontaža započinje uklanjanjem elektroenergetske opreme. Svi uređaji, uključujući sklopke, kablove, sigurnosne kamere i meteorološke senzore, pažljivo se uklanjaju kako bi se izbjegla njihova oštećenja. Nakon toga slijedi demontaža nosača i postolja, pri čemu se uklanjaju svi pričvrsni vijci i nosivi dijelovi. Ako su postolja izrađena od čelika ili aluminija, rastavljaju se u manje komponente radi lakšeg transporta i reciklaže.

Ako su nosači bili postavljeni na betonske temelje, temelji se uklanjaju ili premještaju kako bi se oslobodio prostor. Zavisno od veličine i težini, može biti potrebno korištenje specijalizovane opreme, poput dizalica ili hidrauličnih alata. Nakon završetka demontaže,

svi uklonjeni dijelovi, uključujući postolja, nosače i električnu opremu, transportiraju se na odgovarajuće odlagalište, reciklažu ili servisiranje. Svi materijali moraju biti pravilno odvojeni radi daljnje obrade ili ponovne upotrebe.

Montaža i demontaža postolja i nosača za električne instalacije i sigurnosnu opremu u vjetroelektranama zahtijevaju pažljivo planiranje, preciznost i odgovarajuću sigurnosnu opremu. Tokom montaže fokus je na stabilnosti, tačnosti postavljanja i pravilnom povezivanju elektroenergetskih i sigurnosnih uređaja. S druge strane, prilikom demontaže potrebno je sigurno uklanjanje opreme i konstrukcija, uz pažljivo rukovanje svim dijelovima kako bi se izbjegla oštećenja i osigurala sigurna i efikasna reciklaža ili ponovna upotreba materijala.



VIDEO

Postupak montaže vjetroelektrane

https://www.youtube.com/watch?v=fl6BMVw_B-Y

<https://www.youtube.com/watch?v=vjqdJ8OSmRA>

<https://www.seetaoe.com/details/129354.html>

Konstrukcije za meteorološku opremu i sigurnosne kamere

Konstrukcije za meteorološku opremu služe za postavljanje uređaja poput anemometara, barometara te senzora za mjerenje temperature i vlažnosti. Ovi uređaji prate uslove vjetra i okoline te omogućavaju optimizaciju rada vjetroelektrane. S druge strane, konstrukcije za sigurnosne kamere koriste se za nadzor vjetroelektrane i zaštitu opreme.

Ove konstrukcije mogu biti izrađene od laganog čelika ili aluminija, ali moraju biti dovoljno čvrste kako bi podnijele vanjske uslove, uključujući jak vjetar, kišu i snijeg. Kada je riječ o visini i smještaju, konstrukcije za meteorološke instrumente obično uključuju stubove ili jarbole koji omogućavaju postavljanje opreme na odgovarajućoj visini, čime se osiguravaju tačna mjerenja. Montaža konstrukcija izvodi se na način koji omogućava jednostavno podešavanje položaja i orijentacije opreme, čime se osigurava njihova maksimalna efikasnost.

Kontejneri za transformatorske stanice i sistem za skladištenje električne energije

Montaža i demontaža kontejnerskih konstrukcija za postavljanje elektroenergetske opreme vjetroelektrana važan su dio procesa izgradnje, održavanja i optimizacije vjetroelektrana.

Kontejnerske konstrukcije imaju ključnu ulogu u zaštiti elektroenergetske opreme, osiguravajući stabilno radno okruženje koje štiti od vremenskih uticaja, mehaničkih oštećenja, prašine i vlage. Njihova primarna svrha je smještaj visokonaponske i niskonaponske elektroenergetske opreme, uključujući transformatore, razvodne ormare, zaštitno-upravljačke sisteme te sisteme za skladištenje energije. Osim zaštite, kontejnerske konstrukcije omogućavaju mobilnost i fleksibilnost, što znači da se mogu transportovati i postaviti na različite lokacije unutar vjetroelektrane ili između više energetskih objekata. Takođe, služe za integraciju i modularno proširenje elektroenergetskih sistema, čime se olakšava upravljanje i održavanje.

Postupak montaže kontejnerskih konstrukcija

Montaža kontejnera započinje njegovim podizanjem i postavljanjem na pripremljeni temelj. Temelj mora biti projektovan tako da podnosi statička i dinamička opterećenja uzrokovana težinom kontejnera i unutrašnje opreme, kao i vanjske sile poput vjetrova, vibracija i elektromagnetskih smetnji. Stabilnost konstrukcije osigurava se pričvršćivanjem pomoću sidrenih vijaka, čeličnih nosača ili betonskih podloga, pri čemu se dodatna zaštita može osigurati kod područja s ekstremnim vremenskim uslovima.

Unutar kontejnera postavljaju se elektroenergetske komponente prema inženjerskim specifikacijama i zahtjevima sigurnosti. Oprema poput srednjenaponskih i niskonaponskih razvodnih ormara, transformatora, sistema za neprekidno napajanje (UPS), sklopnih aparata i zaštitno-upravljačkih jedinica pažljivo se smješta i povezuje u skladu s odgovarajućim elektrotehničkim standardima. Komponente se instaliraju na metalne nosače, izolovana postolja ili unutar specijalizovanih odjeljaka kako bi se osigurala optimalna disipacija topline i elektromagnetska kompatibilnost (EMC).

Kabliranje unutar kontejnera igra ključnu ulogu u povezivanju elektroenergetske opreme s vanjskim sistemima. Visokonaponski, srednjenaponski i niskonaponski kablovi moraju biti pravilno dimenzionisani, označeni i položeni u kablovske kanale s odgovarajućom mehaničkom zaštitom. Uz to, primjenjuju se odgovarajuća uzemljenja i sistemi zaštite od prenapona kako bi se osigurala sigurnost instalacije i pouzdanost rada opreme.

Nakon završene montaže sprovodi se testiranje elektroenergetskih sistema unutar kontejnera. Ovaj postupak uključuje mjerenje izolacijskih otpora, ispitivanje kontinuiteta i funkcionalnosti sklopnih aparata, testiranje zaštitnih releja i provjeru parametara transformatora i baterijskih sistema. Tek nakon što svi parametri zadovolje tehničke norme i propise, kontejner se može pustiti u rad i povezati s elektroenergetskom mrežom.

Postupak demontiranja kontejnerskih konstrukcija

Demontaža kontejnera sprovodi se kada je oprema dostigla kraj svog životnog vijeka, prilikom modernizacije sistema ili prilikom premještanja opreme na novu lokaciju. Prvi korak je sigurno isključivanje elektroenergetskih sistema, pri čemu se prekida napajanje i isključuju svi aktivni električni sklopovi. Prije početka radova sprovodi se ispitivanje odsutnosti napona i osigurava se odgovarajuća zaštita od elektrostatičkog pražnjenja (ESD).

Unutar kontejnera, elektroenergetska oprema se pažljivo demontira prema utvrđenim procedurama. Transformatori, razvodni ormari, zaštitni releji i sklopna postrojenja

postupno se uklanjaju, pri čemu se vodi računa o slijedu rastavljanja kako bi se izbjegla mogućnost kratkih spojeva i nepredviđenih električnih pražnjenja. Kablovi se odvajaju, označavaju i uklanjaju na siguran način kako bi se spriječila oštećenja i osigurao pravilan postupak reciklaže ili ponovne upotrebe.

Nakon što je sva oprema uklonjena, kontejner se priprema za transport pomoću dizalice ili specijalizovanog vozila. Ako se premješta na novu lokaciju, potrebno je osigurati odgovarajuće mehaničke priključke i osigurati transportne uslove kako bi se spriječila oštećenja tokom prevoza. U slučajevima kada se kontejner trajno uklanja, temelji i sidreni elementi takođe se demontiraju, pridržavajući se standarda zbrinjavanja građevinskog otpada.

Transport i zbrinjavanje opreme

Nakon demontaže, kontejneri i elektroenergetska oprema transportuju se na predviđene lokacije za reciklažu, odlaganje ili ponovnu upotrebu. Zavisno od vrste opreme, može biti potrebno korištenje specijalizovanih transportnih usluga za siguran prevoz visokonaponskih komponenti, akumulatora ili drugih osjetljivih električnih uređaja. Reciklaža bakrenih provodnika, izolacijskih materijala i metalnih djelova sprovodi se u skladu s ekološkim standardima kako bi se smanjio negativan uticaj na okolinu i osigurala ponovna upotreba vrijednih materijala.

Sve ove montažne konstrukcije moraju biti dizajnirane i izgrađene u skladu sa sigurnosnim standardima i regulativama, uzimajući u obzir specifičnosti vjetroelektrana (npr. offshore ili onshore, različiti vremenski uslovi, tehnički zahtjevi). Montaža mora biti precizna, jer bilo kakve greške u postavljanju mogu imati ozbiljan uticaj na performanse vjetroelektrane, sigurnost osoblja i okolinu.



VJEŽBA

Istraživački zadatak – primjeri različitih konstrukcija tornjeva vjetroagregata

- Istraži i uporedi različite tipove tornjeva koji se koriste u vjetroelektranama (čelični tubularni tornjevi, betonski tornjevi, hibridni tornjevi).



KVIZ

Kviz 4 – Provjera znanja o montažnim konstrukcijama u vjetroelektranama

<https://forms.office.com/e/H4qvBw4qju>

5.3. Montiranje/demontiranje i povezivanje elektroenergetske opreme u vjetroelektranama

Montaža i povezivanje elektroenergetske opreme u vjetroelektranama obuhvata niz tehničkih postupaka koji osiguravaju pravilan rad sistema. Proces uključuje instalaciju gondole sa fabrički integrisanom opremom, postavljanje i povezivanje dodatnih električnih komponenti, provlačenje i polaganje kablova, te integraciju sistema za skladištenje energije.

Montiranje gondole sa fabrički integrisanom mehaničkom i električnom opremom Gondola vjetroatregata isporučuje se sa već ugrađenim ključnim komponentama, uključujući generator, glavnu osovinu, prijenosni sistem i električne kontrolne module. Montaža gondole vrši se dizalicom velikog kapaciteta, koja podiže i postavlja gondolu na vrh tornja vjetroturbine. Pri montaži se koristi specijalizovani sistem za spajanje, koji osigurava precizno poravnanje osovine generatora sa glavnom osovinom turbine. Nakon postavljanja, vrši se mehaničko pričvršćivanje gondole pomoću visokootpornih vijaka i sigurnosnih prstenova.



Postupak podizanja gondole

Montiranje i demontiranje sistema za nadzor i upravljanje

Osim fabrički ugrađenih komponenti, u gondolu se postavlja i dodatna oprema za nadzor i upravljanje. To uključuje senzore za praćenje temperature i vibracija, meteorološke instrumente, sisteme za daljinsko upravljanje i komunikaciju. Montaža ovih sistema zahtijeva precizno povezivanje senzora i upravljačkih jedinica sa centralnim kontrolnim modulom. Prilikom demontaže, svi priključci se pažljivo isključuju, a osjetljivi uređaji se pakuju u zaštitne kontejnere radi transporta i ponovne instalacije.

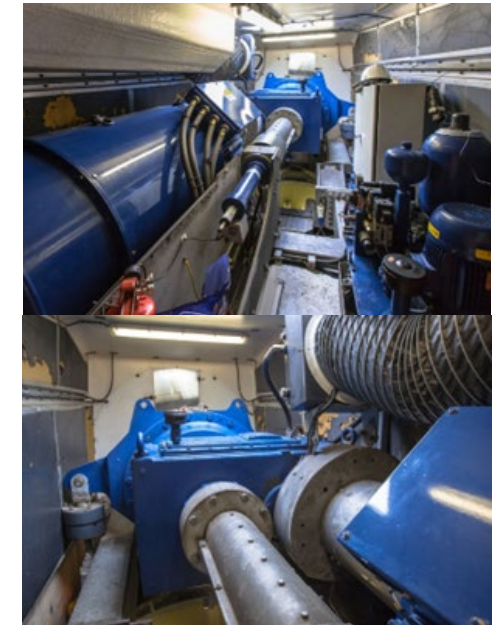


Primjeri montiranja dijelova opreme na gondoli

Povezivanje električnih komponenti unutar gondole vjetroatregata

Povezivanje električnih komponenti unutar gondole vjetroatregata zahtijeva preciznost i stručnost i predstavlja ključan korak u završnoj fazi montaže, jer osigurava funkcionalnost sistema za proizvodnju, regulaciju i distribuciju električne energije. Ovaj proces obuhvata povezivanje generatora, konvertora, zaštitnih i upravljačkih sistema, kao i ostale električne opreme neophodne za efikasan rad vjetroatregata.

Nakon uspješnog povezivanja i testiranja, vjetroatregat je spreman za integraciju u mrežu i redovan rad.



Unutrašnjost gondole vjetroturbine sa osovinom, mjenjačem, kvačilom i sistemom hlađenja

Povezivanje generatora sa konvertorskim sistemom

Generator je srce elektroenergetskog sistema vjetroatregata i njegova primarna funkcija je konverzija mehaničke energije dobijene od vjetra u električnu energiju. U zavisnosti od tipa vjetroturbine, generator može biti sinhroni ili asinhroni, sa direktnim ili indirektnim prenosom snage.

Povezivanje generatora uključuje sljedeće korake:

- Provjera električnih priključaka – Prije povezivanja provjerava se kompatibilnost priključaka generatora sa električnim sistemom vjetroelektrane. Svi priključci moraju biti usklađeni sa tehničkim specifikacijama i standardima izolacije.
- Spajanje generatora sa konvertorom – Izlazni vodovi generatora povezuju se sa konvertorskim sistemom, koji konvertuje proizvedenu električnu energiju iz promjenljive frekvencije u stabilnu i sinhronizovanu frekvenciju pogodnu za distribuciju u mreži. Ožičenje se vrši pomoću visokonaponskih kablova otpornim na temperaturne promjene i mehanička naprezanja.
- Uzemljenje generatora – Generator se povezuje sa sistemom uzemljenja vjetroatregata kako bi se osigurala zaštita od prenapona i elektrostatičkog naelektrisanja.
- Provjera faznog slijeda – Nakon povezivanja vrši se ispitivanje faznog slijeda kako bi se osiguralo pravilno usklađivanje izlazne snage sa mrežnim zahtjevima.



Povezivanje generatora vjetroatregata

Instalacija i povezivanje upravljačkog sistema

Upravljački sistem vjetroagregata zadužen je za nadzor i optimizaciju rada svih komponenti. Sastoji se od različitih senzora, kontrolnih jedinica i sistema za komunikaciju sa centralnim operativnim centrom vjetroelektrane.

- Povezivanje senzora – Unutar gondole instaliraju se senzori za mjerenje temperature generatora, vibracija ležajeva, brzine rotora, napona i struje. Ovi senzori šalju podatke upravljačkom sistemu radi optimizacije rada i prevencije kvarova.
- Instalacija PLC kontrolera – Programabilni logički kontroler (PLC) predstavlja ključnu komponentu za upravljanje radom turbine. Povezuje se sa generatorom, sistemima zaštite i komunikacionim interfejsima kako bi omogućio daljinsko upravljanje i automatizovanu regulaciju snage.
- Integracija sistema za kočenje – Električni i mehanički sistem kočenja povezuje se sa kontrolnim modulom, čime se omogućava trenutno zaustavljanje turbine u slučaju prekomjernih brzina vjetra ili tehničkih problema.



Slika: Povezivanje upravljačkog sistema vjetroagregata, uključujući senzore, PLC kontroler i sistem kočenja

Povezivanje sistema zaštite i sigurnosti

Zaštita elektroenergetskih komponenti od prenapona, kratkih spojeva i preopterećenja je od suštinskog značaja za sigurnost i dugotrajnost sistema.

- Instalacija zaštitnih releja – Relejna zaštita uključuje uređaje koji prepoznaju kvarove na mreži i automatski isključuju sistem u slučaju potrebe. Ovi uređaji povezuju se na ključne čvorove električne mreže vjetroagregata.
- Postavljanje prenaponskih zaštita – Instaliraju se varistori i gasni isklopnici koji štite električne komponente od udara groma i prenaponskih talasa.
- Spajanje sigurnosnog sistema uzemljenja – Uzemljenje se realizuje povezivanjem svih metalnih djelova i električnih uređaja na uzemljivački vod, čime se smanjuje rizik od električnog udara i prenapona.

Polaganje i povezivanje napojnih kablova unutar gondole

Kablovski sistem unutar gondole omogućava distribuciju proizvedene energije ka razvodnom ormaru i daljoj mreži. Napojni kablovi moraju biti pravilno položeni i zaštićeni od mehaničkih oštećenja i vibracija koje nastaju tokom rada vjetroturbine.

- Odabir i provlačenje kablova – Koriste se fleksibilni i temperaturno otporni kablovi koji se provlače kroz kablovske kanale unutar gondole.
- Pričvršćivanje kablova – Kablovi se pričvršćuju pomoću kablovskih vezica i specijalnih nosača koji sprečavaju njihovo habanje i pomjeranje tokom rada.
- Povezivanje sa razvodnim ormarom – Glavni energetske vodovi se spajaju sa razvodnim ormarom, gdje se vrši dalja distribucija energije ka mreži. Povezivanje se obavlja prema jednožilnim shemama, uz provjeru izolacije i kontinuiteta spojeva.
- Testiranje kablova – Nakon povezivanja vrši se ispitivanje otpora izolacije, provjera kontinuiteta i testiranje pod opterećenjem kako bi se osigurala pouzdanost veze.



Polaganje i povezivanje napojnih kablova unutar gondole vjetroturbine

Završna testiranja i verifikacija sistema

Nakon što su sve električne komponente povezane, pristupa se završnim testiranjima koja uključuju:

- Vizuelnu inspekciju spojeva i kablovskih instalacija – Pregledavaju se svi priključci kako bi se osiguralo da nema labavih spojeva ili oštećenja izolacije.
- Mjerenje električnih parametara – Provjeravaju se napon, struja i otpor izolacije kako bi se osiguralo da sistem funkcioniše u skladu sa tehničkim specifikacijama.
- Probni rad vjetroagregata – U kontrolisanim uslovima pokreće se testni rad turbine kako bi se osigurala pravilna funkcionalnost svih povezanih električnih sistema.
- Podešavanje upravljačkog sistema – Optimizacija parametara rada turbine, uključujući brzinu rotora, snagu generatora i zaštitne granice, vrši se pomoću softverskih alata i komunikacionog interfejsa.

Sistem za skladištenje električne energije u vjetroelektrani i postupak montiranja/ demontiranja istih

U modernim vjetroelektranama sve češće se koristi sistem za skladištenje električne energije, najčešće u vidu baterijskih skladišta ili superkondenzatora. Montaža skladišnog sistema podrazumijeva instalaciju baterijskih modula u posebno projektovane kontejnere, njihovo povezivanje sa inverterima i integraciju sa elektroenergetskom mrežom. Kod demontaže, neophodno je isključiti skladišni sistem iz mreže, izvršiti sigurnosno pražnjenje baterijskih ćelija i pažljivo demontirati module radi transporta ili zamjene.

Nakon završetka svih montažnih radova, vrši se završna inspekcija i testiranje kako bi se osigurala funkcionalnost elektroenergetskog sistema i njegova spremnost za rad u mreži.



Primjer sistema za skladištenje električne energije u vjetroelektrani



VJEŽBA

Zadatak: Napisati seminarski rad o postupku povezivanja električnih komponenti unutar gondole vjetroatagregata.



KVIZ

Kviz 5 – Provjera znanja o montaži i povezivanju elektroenergetske opreme

<https://forms.office.com/e/85wh4EzhsW>

5.4. Odabir zaštitnih sredstava i opreme za radove na montiranju i demontiranju elemenata vjetroelektrane

U prethodnim poglavljima priručnika obrađeni su alati, oprema i uređaji koji se koriste u izgradnji i održavanju vjetroelektrana, kao i osnovna zaštitna oprema za rad u elektroenergetskim postrojenjima. U ovom poglavlju fokus je na specifičnoj zaštitnoj opremi i mjerama koje se primjenjuju prilikom montiranja i demontiranja elemenata vjetroelektrane.

Radovi na montiranju i demontiranju elemenata vjetroelektrane spadaju u visokorizične zadatke koji zahtijevaju primjenu adekvatnih zaštitnih sredstava i opreme. Ovi radovi često uključuju rad na visini, rukovanje teškim komponentama, izlaganje elektroenergetskim instalacijama i nepovoljnim vremenskim uslovima, pa je neophodno da svi radnici koriste odgovarajuću ličnu i kolektivnu zaštitu.

Lična zaštitna oprema (LZO)

Lična zaštitna oprema štiti radnike od potencijalnih opasnosti i obavezna je za sve koji učestvuju u montaži i demontaži elemenata vjetroelektrane. Oprema uključuje:

- Zaštitnu kacigu – Štiti glavu od udaraca, padajućih predmeta i električnih udara. Kaciga mora imati sigurnosni remen kako bi bila stabilna tokom rada na visini.
- Sigurnosni pojas i užad za vezivanje (sistem za rad na visini) – Svi radnici koji rade na tornju ili gondoli moraju koristiti sigurnosne pojaseve sa apsorberima energije, kao i užad za vezivanje pričvršćena za fiksne tačke.
- Zaštitne rukavice – Moraju biti otporne na habanje i mehaničke povrede, a za rad sa elektroenergetskim komponentama koriste se dielektrične rukavice koje sprečavaju strujni udar.
- Zaštitna odjeća i obuća – Radnici moraju nositi antistatičku i vatrootpornu odjeću otpornu na vremenske uslove. Obuća treba imati zaštitne kape na prstima i protivklizne đonove.
- Zaštita sluha i vida – U zavisnosti od radnog okruženja koriste se antifoni (zaštita od buke) i zaštitne naočale za sprečavanje prodora prašine, metalnih čestica i vjetra u oči.
- Respiratorna zaštita – Kada se radi sa hemijskim sredstvima, poput sredstava za zaštitu od korozije ili boja za metalne djelove, koriste se maske sa filterima protiv isparavanja.

OBAVEZNA ZAŠTITNA OPREMA							
Šlem	Radno odijelo	Zaštitna obuća	Zaštitne rukavice	Zaštitne naočare	Zaštitni antifon	Respirator	Plut. prsluk

- **Provjeru lične zaštitne opreme** – Svi radnici moraju provjeriti ispravnost svojih kaciga, sigurnosnih pojaseva, rukavica i drugih sredstava prije ulaska u radnu zonu.
- **Provjeru električne zaštite** – Mjerenje izolacije kablova, ispitivanje uzemljenja i verifikacija sistema za zaštitu od prenapona obavljaju se prijeradane elektroenergetskim instalacijama.
- **Testiranje sigurnosnih sistema za rad na visini** – Užad i sigurnosni sistemi se redovno testiraju na nosivost i otpornost kako bi se osiguralo da mogu izdržati dinamička opterećenja tokom rada.
- **Uvođenje standardnih operativnih procedura (SOP)** – Radnici moraju slijediti definisane procedure za bezbjedno rukovanje opremom, uključujući pravila zaključavanja i označavanja (LOTO – Lockout/Tagout) kako bi se spriječili nenamjerni startovi sistema.

Hitne mjere i plan evakuacije

Pored standardne zaštitne opreme, svaki tim koji radi na montaži i demontaži vjetroelektrane mora biti upoznat sa procedurama za hitne situacije.

- **Plan evakuacije iz gondole i tornja** – U slučaju požara, električnog kvara ili drugih incidenata, radnici moraju imati pristup evakuacionim putevima i sistemima za brzo spuštanje.
- **Komplet prve pomoći i AED uređaj** – Prva pomoć mora biti dostupna na licu mjesta, uključujući automatski eksterni defibrilator (AED) za hitne slučajeve srčanog zastoja.
- **Obuka za spašavanje sa visine** – Svi radnici koji rade na turbini moraju biti obučeni za korišćenje opreme za evakuaciju, poput užadi za samospuštanje ili specijalnih košara za spuštanje povrijeđenih.

Korišćenje adekvatne zaštitne opreme i sprovođenje sigurnosnih procedura ključno je za prevenciju nesreća i zaštitu života radnika koji rade na izgradnji, održavanju i demontaži vjetroelektrana. Implementacija ovih mjera doprinosi efikasnom i sigurnom izvođenju svih radova u okviru postrojenja.



VJEŽBA

Lična ili kolektivna zaštitna oprema u vjetroelektranama

- Napisati seminarski rad o ličnoj ili kolektivnoj zaštitnoj opremi koja se koristi na gradilištima vjetroelektrana.



KVIZ

Kviz 6 – Provjera znanja o zaštitnim sredstvima i opremi

<https://forms.office.com/e/f2iVZFZD6V>

6. IZVOĐENJE ELEKTRIČNIH INSTALACIJA VJETROELEKTRANA

6.1. Vrste i osnovni elementi električnih instalacija vjetroelektrana

Izvođenje električnih instalacija vjetroelektrana obuhvata širok spektar sistema i komponenti neophodnih za stabilan i siguran rad postrojenja. Ove instalacije uključuju energetske instalacije, kontrolnu, upravljačku i signalnu instalaciju, instalaciju uzemljenja i gromobranske zaštite, instalaciju osvetljenja, protivpožarnu instalaciju, instalaciju nadzornih kamera te sisteme za kontrolu pristupa.

U sklopu električnih instalacija koriste se različiti elementi, među kojima su provodnici i kablovi, prekidači, sklopke, osigurači, senzori, mjerni instrumenti, zaštitni uređaji, kontroleri, elementi uzemljenja i gromobranske zaštite, svjetlosni indikatori, elektronske brave i uređaji za identifikaciju. Svaki od ovih elemenata ima specifičnu ulogu u funkcionisanju sistema i mora biti pravilno instaliran i povezan kako bi se osigurala pouzdanost i sigurnost postrojenja.

Vrste provodnika i kablova koji se primjenjuju u vjetroelektranama uključuju neizolovane provodnike, energetske izolovane provodnike, energetske kablove niskog napona (do 1kV), upravljačke i signalne kablove te uzemljivačke provodnike. Za njihovu ispravnu montažu koriste se različiti kablovski pribori kao što su kablovske kape, kablovske glave, kablovske spojnice, kablovske račve, kablovske papuče i kablovske vezice.

Osim toga, izvođenje električnih instalacija zahtijeva upotrebu odgovarajućeg instalacionog materijala, uključujući razvodne kutije, kanalice, zaštitne cijevi, obujmice, vezove, konektore, stezaljke i vijke. Pravilna organizacija i montaža kablovskih vodova ključni su za efikasan rad sistema, a u tu svrhu koriste se kablovske konstrukcije poput kablovskih kanala, kablovskih polica, fleksibilnih kablovskih cijevi, kablovskih mostova, kablovskih držača i kablovskih snopova.

6.2. Montiranje kablovskih konstrukcija i polaganje kablova električnih instalacija vjetroelektrana

Postupak montiranja kablovskih konstrukcija

Montiranje kablovskih konstrukcija započinje planiranjem trase i pozicije kablova. Analizira se teren, izbjegavaju prepreke i osigurava da kablovi neće biti izloženi opasnostima poput korozije ili fizičkog oštećenja. Na osnovu potreba vjetroelektrane projektuje se vrsta kablova i tip kablovskih konstrukcija (kanali, podzemne instalacije, kutije za spajanje).

Priprema materijala uključuje izbor kablova prema potrebama prenosa energije, uzimajući u obzir naponske nivoe i specifičnosti terena. Koriste se odgovarajući nosači, kanalice, stubovi i druge konstrukcije u zavisnosti od tipa instalacije (nadzemna ili podzemna).

Priprema kablova i nosača podrazumijeva rezanje kablova na potrebnu dužinu, čišćenje i zaštitu od vremenskih uslova. Ako se kablovi postavljaju na nosače ili u kanalice, montiraju se potrebni nosači ili betonske i metalne konstrukcije.

Polaganje kablova može biti podzemno ili nadzemno. Kod podzemnog polaganja iskopavaju se rovovi na predviđenoj ruti, uz poštovanje minimalnih dubina kako bi kablovi bili zaštićeni od vanjskih utjecaja. Kablovi se polažu u rovove, osiguravajući minimalnu udaljenost između različitih tipova kablova. Kod nadzemnog polaganja, kablovi se pričvršćuju na nosače ili stubove s odgovarajućim razmakom i zaštitom od vremenskih utjecaja.

Spajanje kablova izvodi se u spojnim kutijama ili razvodnim kutijama uz upotrebu vodootpornih spojnica i izolatora, osiguravajući kvalitetne spojeve prema standardima elektroinstalacija.

Testiranje i verifikacija uključuju ispitivanje izolacije, kontinuiteta i naponskih nivoa, kako bi se osigurala ispravnost sistema. Nakon toga slijede završni radovi poput postavljanja zaštita na spojevima, označavanja kablova i dokumentovanja instalacije.

Postupak polaganja i obilježavanja kablova

Prije polaganja kablova, neophodno je izvršiti pravilan izbor vrsta kablova prema njihovoj funkciji:

- **Energetski kablovi** prenose električnu energiju velike snage.
- **Kontrolni kablovi** omogućavaju nadzor i kontrolu radnih parametara sistema.
- **Upravljački kablovi** povezuju sisteme za upravljanje i automatizaciju vjetroturbina.
- **Signalni kablovi** služe za prenos podataka između različitih komponenti sistema.

Polaganje kablova započinje provjerom pripremljenih kablovskih konstrukcija. Kablovi se zatim postavljaju u kablovske kanale, police, mostove ili fleksibilne cijevi, pri čemu se vodi računa o zaštiti od fizičkih oštećenja.

Obilježavanje kablova ključno je za prepoznavanje i održavanje instalacija:

- **Boja i oznake kablova** – svaka vrsta kabla ima specifične boje koje omogućavaju lako prepoznavanje (npr. energetski kablovi su crni ili smeđi).
- **Tagovi i oznake** – kablovi mogu imati trajne oznake s informacijama o vrsti, naponskoj vrijednosti i funkciji kabla.
- **Oznake na spojevima i razvodnim kutijama** – jasno označene ulazne i izlazne tačke za olakšano održavanje i otklanjanje kvarova.
- **Oznake na tlu kod podzemnih instalacija** – korištenje boja, traka ili znakova za naznačavanje prisutnosti kablova ispod zemlje.

Nakon polaganja i obilježavanja, vrše se testiranja naponskih nivoa, signala i kontinuiteta kako bi se osiguralo ispravno funkcionisanje sistema. Ovim postupcima obezbjeđuje se dugoročna pouzdanost i sigurnost elektroinstalacija vjetroelektrana.

Izrada kablovskih završetaka za energetske, upravljačke i signalne kablove u vjetroelektranama vrlo je važan korak jer osigurava ispravan prenos električne energije i signala između različitih komponenti sistema, kao i sigurnost i pouzdanost cijelog elektroenergetskog sistema. Kablovski završeci se prave na način koji osigurava čvrste, sigurne i pouzdane električne spojeve. Prilikom krimpovanja kablovskih završetaka, snaga disipacije, odnosno gubici energije zbog električnog otpora spoja, igra ključnu ulogu u efikasnosti i sigurnosti elektroenergetskih instalacija. Nekvalitetno izvedeni spojevi mogu uzrokovati povećani prelazni otpor, što dovodi do zagrijavanja kontaktne tačke i potencijalnih kvarova u sistemu.

Uticaj prelaznog otpora na performanse sistema:

- **Povećana disipacija toplote** – Loše krimpovan spoj stvara lokalizovano zagrijavanje, što može uzrokovati degradaciju izolacije i ubrzano starenje materijala.
- **Smanjena efikasnost prenosa električne energije** – Veći otpor u spojevima znači dodatne gubitke energije, što može negativno uticati na rad i stabilnost vjetroelektrane.
- **Rizik od mehaničkog slabljenja spoja** – Nedovoljno stegnuti ili neadekvatno izvedeni krimpovani spojevi mogu se vremenom oslabiti zbog vibracija i termičkih ciklusa, što povećava mogućnost prekida vodiča.
- **Povećan rizik od požara** – Visoke temperature na lošim spojevima mogu dovesti do pregrijavanja i potencijalnog zapaljenja kablova.

Preporuke za pravilno krimpovanje:

- Korištenje pravilnog alata za krimpovanje u skladu s preporukama proizvođača.
- Primjena odgovarajućih priključnih elemenata (kablovske papučice, spojnice) izrađenih od materijala kompatibilnih sa provodnikom.
- Mjerenje otpora spoja nakon završetka krimpovanja kako bi se osigurala minimalna disipacija energije.

- Primjena termičke inspekcije (npr. termalnim kamerama) za otkrivanje mogućih problematičnih spojeva tokom eksploatacije sistema.

Pravilno izvedeni kablovski završeci garantuju siguran i efikasan rad elektroenergetskog sistema vjetroelektrana, smanjujući gubitke i produžavajući vijek trajanja opreme.

Primjer postupka izrade kablovskih završetaka za energetske kablove po koracima.

Kod energetskih kablova je važno da završeci budu čvrsti, pravilno izolovani i zaštićeni od vanjskih faktora.



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak 1: Izraditi završetak energetskog kabla uz poštovanje pravilnih koraka pripreme, obrade i spajanja provodnika.

Materijal i alat:

- Energetski kablovi odgovarajućeg presjeka
- Alat za uklanjanje izolacije (nož za kablove, kliješta za skidanje izolacije)
- Kablovske stezaljke i papučice
- Alat za krimpovanje
- Toplotno skupljajuće cijevi ili izolaciona traka
- Multimetar ili ispitivač kontinuiteta
- Zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočale)

Postupak:

1. Priprema radnog mjesta
 - Provjeriti da je radno mjesto čisto i dobro osvijetljeno.
 - Pripremiti sav potreban alat i materijal.
2. Skidanje vanjske izolacije (plašta)
 - Pomoću alata za skidanje izolacije pažljivo ukloniti vanjski plašt kabla u dužini od 3 do 4 cm.
 - Paziti da se ne oštete unutrašnji provodnici.
3. Uklanjanje izolacije provodnika
 - Na svakom provodniku ukloniti izolaciju na dužini potrebnoj za postavljanje priključnih stezaljki (obično 1 do 2 cm).
 - Provjeriti da nema oštećenja na žilama kabla.

4. Postavljanje papučica ili priključnih stezaljki

- Na ogoljene krajeve provodnika postaviti odgovarajuće papučice ili stezaljke.
- Koristiti alat za krimpovanje kako bi se osigurao čvrst spoj.

5. Izolacija spojeva

- Prekriti spojeve toplotno skupljajućim cijevima ili izolacionom trakom kako bi se osigurala zaštita od vlage i mehaničkih utjecaja.
- Provjeriti da je izolacija dobro pričvršćena i da ne ostavlja izložene metalne djelove.

6. Testiranje spojeva

- Pomoću multimetra ili ispitivača kontinuiteta provjeriti ispravnost spojeva.
- Osigurati da su spojevi čvrsti i da nema gubitka kontakta.

7. Pravilno skladištenje optadnog materijala

- Razvrstaj različite vrste otpada
- Pravilno zapakuj, označi i skladišti otpad u skladu s ekološkim standardima

8. Korišćeni alat spremi na odgovarajuće mjesto

Završna provjera:

- Izvrši vizuelnu i funkcionalnu kontrolu spojeva osigurati da kablovski završeci zadovoljavaju standarde sigurnosti i kvaliteta.

Spajanje energetskih, upravljačkih i signalnih kablova u vjetroelektranama mora biti izvedeno vrlo pažljivo kako bi se osigurala pouzdanost i sigurnost cijelog elektroenergetskog sistema. Ovaj postupak uključuje razne vrste spajanja i korištenje specijalizovanih komponenti za svaki tip kabla.

Spajanje energetskih kablova

Spajanje energetskih kablova ključni je korak u osiguravanju stabilnog prenosa energije. Prvi korak u ovom procesu je priprema potrebnog alata i materijala, uključujući energetske kablove srednjeg ili visokog napona, priključne terminale, stezaljke, alat za struganje i krimpovanje te vodootporne kutije i izolacione materijale.

Prilikom uklanjanja vanjske izolacije koristi se odgovarajući alat za skidanje kako bi se izolacija uklonila do potrebne dužine, obično između 10 i 15 centimetara, zavisno od specifičnosti spoja. Važno je paziti da se ne ošteti unutrašnja izolacija ili provodnik. Nakon toga uklanja se unutrašnja izolacija sa provodnika, obično oko 1 do 2 centimetra, pri čemu treba ostaviti dovoljno žice za kasnije spajanje s priključkom.

Na ogoljene provodnike postavljaju se spojevi, koji mogu imati različite oblike, poput okruglih ili pločastih otvora. Ovi spojevi osiguravaju siguran i stabilan električni kontakt između provodnika i priključka. Njihovo pričvršćivanje može se izvršiti krimpovanjem

ili zavrtnjem. Ako se koriste spojevi koji se krimpaju, potrebno ih je stegnuti pomoću odgovarajućeg alata, čime se osigurava čvrst mehanički spoj. U slučaju spojeva sa šarafima, pričvršćivanje se vrši zatezanjem šarafa, pri čemu je važno izbjeći prekomjerno stezanje kako nebi došlo do oštećenja provodnika.

Nakon što su spojevi pričvršćeni, izoluju se odgovarajućim materijalima poput PVC ili silikonskih cijevi, koji štite spoj od vanjskih uticaja poput vlage i hemikalija. Dodatno, spojevi se mogu osigurati silikonom ili termofolijama kako bi se osigurala dugotrajna zaštita od prodiranja vode.

Završni korak u postupku je testiranje spoja pomoću električnog multimetra ili drugog odgovarajućeg uređaja, kako bi se provjerio kontinuitet i ispravnost spoja, čime se osigurava pouzdanost i sigurnost energetskog sustava.



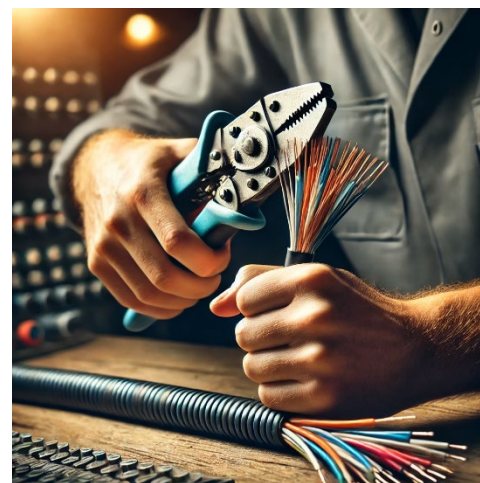
Spajanje energetskih kablova

Spajanje signalnih i upravljačkih kablova

Spajanje signalnih i upravljačkih kablova ključno je za osiguravanje stabilnog i preciznog prenosa niskonaponskih signala koji kontrolišu rad sistema. Prvi korak u ovom postupku uključuje pripremu potrebnog alata i materijala, među kojima su signalni i upravljački kablovi sa više žica, stezaljke i konektori za male provodnike, alati za skidanje izolacije i krimpovanje te zaštitni materijali za izolaciju spojeva.

Uklanjanje vanjske izolacije vrši se pomoću alata za skidanje izolacije, pri čemu se s kablovskog omotača skida izolacija na dužini od 3 do 5 centimetara. Nakon toga, s pojedinih žica unutar kabla uklanja se unutrašnja izolacija, ostavljajući dovoljno golih provodnika za spajanje.

Spajanje signalnih i upravljačkih kablova vrši se pomoću malih stezaljki ili konektora prilagođenih za tanke provodnike. Ovi konektori, koji mogu biti u obliku žičanih klamerica ili malih spojeva, omogućavaju povezivanje žica s upravljačkim uređajem ili prekidačem. Kada su žice postavljene u konektore, koristi se alat za krimpovanje kako bi se osigurala čvrsta veza između provodnika i konektora. U slučaju konektora sa šarafima, žice se pričvršćuju zavrtnjem, pri čemu je važno osigurati dobar kontakt bez prekomjernog zatezanja.



Spajanje signalnih i upravljačkih kablova

Nakon završetka spajanja, spojevi se izoluju PVC ili silikonskim omotačima kako bi se osigurala zaštita od vanjskih uticaja. Završni korak u postupku uključuje testiranje funkcionalnosti signalnih i upravljačkih sistema kako bi se provjerilo ispravno reagovanje na signalne spojeve. Testiranje se provodi pomoću uređaja za mjerenje signala i napona, čime se osigurava pouzdanost i stabilnost cjelokupnog sistema.

Spajanje kablova u vjetroeletranama zahtijeva pažljivo i precizno izvođenje kako bi se osigurala dugoročna pouzdanost sistema. Energetski kablovi, upravljački i signalni kablovi imaju različite zahtjeve, ali svi spojevi moraju biti izvedeni sigurno, zaštićeni od vanjskih utjecaja i testirani kako bi se osigurala ispravnost.

6.3. Montiranje razvodnih i komandnih tabli, ormara i pultova električnih instalacija vjetroeletrana

Razvodne i komandne table, ormari i pultovi električnih instalacija u vjetroeletranama igraju ključnu ulogu u upravljanju, kontroliranju i zaštiti svih elektroenergetskih sistema unutar vjetroeletrane. Njihova namjena i funkcionalnost su od esencijalne važnosti za pravilno funkcioniranje sistema, sigurnost i pouzdanost rada.

Razvodne table i ormari

Razvodne table (ili razvodni ormari) u vjetroeletranama služe kao središnja tačka za distribuciju električne energije unutar sistema vjetroeletrane. Ove komponente omogućavaju sigurno i efikasno upravljanje električnom energijom koja se proizvode u vjetroturbinama, kako bi se energija distribuirala prema drugim dijelovima sistema.

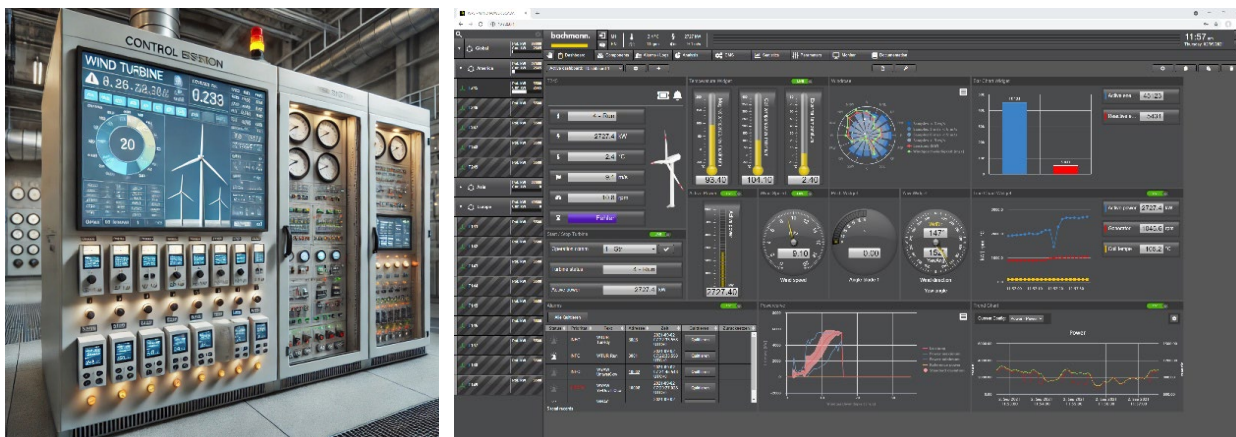
Namjena razvodnih tabli je distribucija električne energije. Primaju električnu energiju od vjetroturbina (ili drugih izvora) i distribuiraju je prema različitim potrošačima unutar sistema, kao što su električni motori, generatori, grijanje, sistemi kontrole i drugo. U razvodnim tablama se nalaze zaštitni uređaji poput osigurača, prekidača, releja i zaštitnih sklopki koji sprječavaju preopterećenje, kratke spojeve i druge sigurnosne incidente. Takođe, omogućavaju praćenje stanja sistema. Često uključuju sisteme za praćenje i nadzor (npr. SCADA sistemi) koji omogućavaju daljinsko praćenje stanja električnih komponenti, kao i daljinsko uključivanje ili isključivanje određenih dijelova sistema.

Komandne table i ormari

Komandne table i ormari u vjetroeletranama omogućavaju upravljanje i nadzor rada vjetroturbina i pratećih sistema. Putem njih operateri mogu ručno kontrolisati i pratiti rad postrojenja, dok su istovremeno integrisani sa automatizovanim sistemima i daljinskim upravljanjem. Korištenjem prekidača, tipki i zaslona, komandne table omogućavaju uključivanje i isključivanje vjetroturbina, podešavanje operativnih parametara i praćenje performansi sistema.

Komandni ormari povezani su sa senzorima i mjernim uređajima koji prate ključne parametre poput brzine vjetra, snage generacije, temperature opreme, napona i struja. Osim toga, opremljeni su signalnim sistemima koji upozoravaju na potencijalne kvarove ili nepravilnosti putem zvučnih alarma, svjetlosnih indikatora ili poruka na ekranu.

Za efikasno upravljanje vjetroeletranama često se koriste automatizovani sistemi poput SCADA platformi, koje omogućavaju nadzor i kontrolu u stvarnom vremenu. U tom kontekstu, komandne table služe kao interfejs između operatera i sistema, omogućavajući preciznu i sigurnu kontrolu rada postrojenja što omogućava brzo reagovanje na promjene i poteškoće u sistemu.



Komandni ormari i table

Pultovi i upravljačke stanice

Upravljački pultovi ili upravljačke stanice koriste se za složenije funkcije nadzora i kontrole, posebno u velikim vjetroeletktranama ili u onim koje su dio većeg energetski povezanog sistema. Ovi pultovi omogućavaju centralizovano upravljanje i praćenje svih sistema vjetroeletktrane.

Pultovi služe kao središnji sistem za praćenje i upravljanje svim funkcijama vjetroeletktrane, uključujući uključivanje i isključivanje vjetroturbina, praćenje operativnih parametara, upravljanje energetskim bilansom, te prilagođavanje proizvodnje energije. Upravljačke stanice omogućavaju daljinsko upravljanje i praćenje rada vjetroeletktrane, što je posebno važno za vjetroeletktrane koje su smještene u udaljenim ili teško pristupačnim područjima.

Ovi pultovi omogućavaju operaterima da pristupe dijagnostičkim informacijama u vezi sa stanjem opreme i mogu omogućiti prepoznavanje problema prije nego što postanu ozbiljni, što pomaže u preventivnom održavanju.



Upravljačka stanica

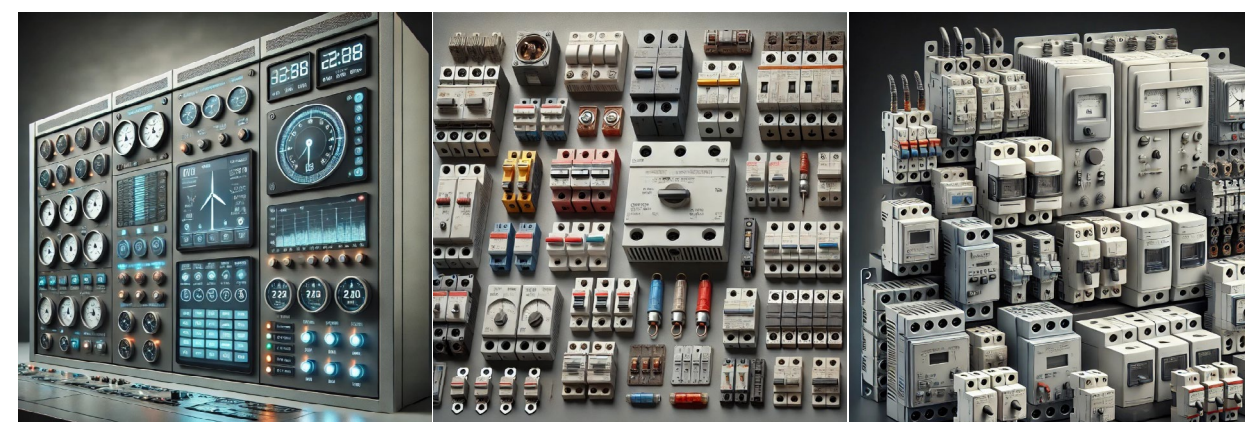
Sigurnost i zaštićenost

I razvodne i komandne table, ormari i pultovi moraju biti dizajnirani tako da osiguraju visok nivo sigurnosti i zaštićenosti. Ovo uključuje:

- **Zaštitu od preopterećenja i kratkih spojeva:** Uključivanjem sigurnosnih uređaja kao što su zaštitni prekidači i osigurači.
- **Zaštita od vanjskih uslova:** Oprema mora biti zaštićena od vlage, prašine, ekstremnih temperatura i kemikalija, te može imati kućišta s odgovarajućim IP standardima (npr. IP65) za zaštitu od vanjskih utjecaja.
- **Fizička zaštita:** Korištenje zaključavanja i drugih sigurnosnih mjera kako bi se spriječio neovlašteni pristup.

Razvodne i komandne table, ormari i pultovi u vjetroeletktranama omogućavaju efikasno upravljanje, distribuciju i nadzor električne energije, kao i zaštitu sistema od kvarova i neispravnosti. Ove komponente omogućavaju operaterima da brzo reaguju na promjene u sistemu, održavaju sigurnost i pouzdanost te optimizuju rad vjetroeletktrane, čime se osigurava maksimalna efikasnost u proizvodnji energije i smanjuju potencijalni rizici.

Osnovni **elektroinstalacioni elementi** koji se ugrađuju u razvodne i komandne table, ormare i pultove su prekidači, sklopke, osigurači, kontaktori, mjerni uređaji (napona, struje, snage, energije, frekvencije), senzori (temperature, vibracija, buke), odvodnici prenapona, zaštitni releji, upravljački uređaji (PLC, softasteri, regulatori), signalni uređaji (LED indikatori, zvučni alarmi) i dr.



Mjerni uređaji

Prekidači, sklopke, osigurači, kontaktori

Odvodnici prenapona, zaštitni releji



Signalni uređaji

Upravljački uređaji

Senzori

Montiranje razvodnih i komandnih tabli, ormara i pultova, te povezivanje elektroinstalacionih elemenata u vjetroeletktranama je važno sa aspekta osiguranja

ispravnog rada, sigurnosti i efikasnosti elektroenergetskih sistema. Ovaj postupak uključuje montažu opreme, spajanje elektroinstalacionih komponenata, te testiranje svih sistema kako bi se osigurao pouzdan rad cijelog sistema.

Montiranje razvodnih i komandnih tabli, ormara i pultova

Priprema za montažu razvodnih i komandnih tabli, ormara i pultova započinje izborom odgovarajuće lokacije. Prostor mora biti suv, lako dostupan i zaštićen od vanjskih uticaja poput prašine i vlage, uz osiguran dovoljan prostor za postavljanje svih potrebnih elemenata. Ključni faktori pri izboru mjesta uključuju adekvatnu ventilaciju kako bi se spriječilo pregrijavanje opreme, sigurnosne zahtjeve koji omogućavaju siguran i nesmetan pristup tehničkom osoblju, te zaštitu od vanjskih faktora, pri čemu se, zavisno od okruženja, koriste zaštitna kućišta s odgovarajućom IP zaštitom, npr. IP65 za vanjsku instalaciju.

Nakon pripreme lokacije, započinje montaža osnovnih elektroinstalacionih elemenata. Razvodne table postavljaju se tako da omogućavaju jednostavan pristup svim komponentama, a njihova instalacija uključuje ugradnju elektroinstalacijskih kutija za osigurače, prekidače, sklopke i druge uređaje neophodne za zaštitu i distribuciju energije. U komandne ormare ugrađuju se uređaji za upravljanje, poput releja, automatizovanih prekidača, sistema za nadzor i kontrolu te interfejs za daljinsko upravljanje. Pultovi i upravljačke stanice postavljaju se na centralnim lokacijama kako bi operateri mogli efikasno upravljati svim funkcijama vjetroelektrane. Ovi elementi uključuju ekrane, tipke, prekidače i komunikacijske uređaje potrebne za nadzor i upravljanje.

Završni dio montaže obuhvata postavljanje vrata i kućišta na svaku tablu, ormar ili pult, čime se osigurava siguran pristup unutrašnjim komponentama, ali istovremeno sprječava neovlašteni ulaz. Zavisno od vrste uređaja, vrata mogu imati staklene prozore za vizuelni nadzor, zaštitu od prašine i vlage te alarmne sisteme koji signaliziraju pokušaje neovlaštenog otvaranja. Ova zaštitna mjera doprinosi sigurnosti i pouzdanosti elektroinstalacija u vjetroelektranama.



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak: Polaznici trebaju izvršiti montažu razvodne i/ili komandne table prema zadatim tehničkim specifikacijama.

Materijal i alat:

- Razvodna/komandna tabla
- Elektroinstalacioni elementi (prekidači, osigurači, sklopke, kontaktori, mjerni uređaji, senzori, odvodnici prenapona, zaštitni releji, upravljački uređaji, signalni uređaji)
- Šrafovi, tiple i pričvrtni materijal
- Alat za bušenje i montažu (bušilica, odvijači, ključevi)
- Izolacioni materijal (izolacione cijevi, trake)
- Multimetar za provjeru ispravnosti spojeva
- Zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočare)

Postupak izvođenja:

1. Priprema radnog mjesta
 - Osigurati da je lokacija montaže suva, prozračna i lako dostupna.
 - Provjeriti tehničku dokumentaciju i plan montaže.
 - Pripremiti sav potreban alat i materijal.
2. Postavljanje razvodne/komandne table
 - Označiti tačnu poziciju na kojoj će se montirati tabla.
 - Pomoću bušilice izbušiti rupe za pričvrtni elemente.
 - Postaviti tablu i pričvrstiti je odgovarajućim vijcima i tipla sistemom.
3. Ugradnja elektroinstalacionih elemenata
 - Ugraditi zaštitne sklopke, osigurače i prekidače prema zadatoj šemi.
 - Postaviti mjerne uređaje (napon, struja, snaga, energija, frekvencija).
 - Ugraditi senzore i zaštitne elemente (odvodnici prenapona, releji).
 - Ugraditi upravljačke uređaje (PLC, softstarteri, regulatori).
 - Postaviti signalne uređaje (LED indikatori, zvučni alarmi).
4. Povezivanje elektroinstalacionih elemenata
 - Povezati napojne, upravljačke i signalne vodove prema tehničkim specifikacijama.
 - Osigurati pravilno ožičenje i organizaciju kablova unutar table.
 - Provjeriti ispravnost priključaka i osigurati odgovarajuću izolaciju.

5. Postavljanje zaštitnih poklopaca i vrata

- Montirati poklopce i zaštitne panele kako bi se osigurala sigurnost sistema.
- Provjeriti da su svi elementi pravilno pričvršćeni i zatvoreni.

6. Testiranje i verifikacija

- Pomoću multimetra provjeriti kontinuitet i ispravnost spojeva.
- Testirati zaštitne i upravljačke komponente.
- Simulirati rad sistema kako bi se provjerila funkcionalnost svih elemenata.

Završna provjera:

- Vizuelno pregledati sve spojeve i pričvršćene elemente.
- Dokumentovati postupak i evidentirati eventualne nepravilnosti.
- Osigurati da svi sigurnosni standardi budu ispunjeni.

6.4 Povezivanje elektroinstalacijskih elemenata u razvodnim i komandnim tablama, ormarima i pultovima

Povezivanje elektroinstalacijskih elemenata u razvodnim i komandnim tablama, ormarima i pultovima mora biti izvedeno prema sigurnosnim i tehničkim standardima. Važno je osigurati pravilno povezivanje svih komponenti, provoditi elektroenergetske veze i implementirati sisteme zaštite i kontrole.

Planiranje i priprema elektroinstalacija započinje provjerom tehničkih crteža i šema povezivanja, koje jasno opisuju raspored uređaja, prekidača, sklopki, releja, terminala i drugih elektroinstalacionih elemenata. Izbor odgovarajućih provodnika ključan je za pouzdanost sistema, pri čemu se vodi računa o maksimalnom opterećenju, vrsti instalacije i zaštitnim mjerama.

Povezivanje zaštitnih uređaja obuhvata pravilnu ugradnju osigurača, prekidača i sklopki kako bi se spriječilo preopterećenje ili kratki spojevi. Osigurači se postavljaju na ulazu u razvodnu tablu radi zaštite od kratkog spoja i preopterećenja, dok automatske sklopke omogućavaju automatsko isključenje napajanja u slučaju nepravilnosti u sistemu. Takođe, prenaponske zaštite smanjuju rizik od oštećenja opreme uslijed naponskih udara.

Povezivanje napajanja i kontrolnih vodova podrazumijeva povezivanje glavnog izvora napajanja s glavnim prekidačem ili osiguračem, odakle se energija distribuira različitim komponentama preko odgovarajućih kablova. Kontrolni vodovi povezuju signalne i upravljačke uređaje u komandnoj tabli, omogućavajući daljinsko upravljanje i automatsko prebacivanje na različite režime rada.

Komandni uređaji, poput releja, prekidača i senzora, povezuju se na kontrolne i signalne vodove kako bi omogućili automatsku promjenu stanja sistema na temelju operativnih parametara. Senzori su integrisani s nadzornim i kontrolnim uređajima, omogućavajući praćenje ključnih parametara poput temperature, napona, struje i brzine vjetra.

Svaka razvodna ili komandna tabla mora biti opremljena odgovarajućim provodnikom povezanim sa sistemom uzemljenja vjetroeletreane. Ova komponenta osigurava sigurno otklanjanje naponskih udara ili električnih kvarova prema zemlji, čime se poboljšava sigurnost sistema.



Unutrašnjost gondole vjetroturbine

Nakon završetka povezivanja, testiranje i provjera spojeva ključni su koraci u osiguravanju ispravnosti sistema. Električno testiranje uključuje ispitivanje kontinuiteta, izolacije i ispravnosti svih spojeva pomoću multimetra ili specijalizovanih uređaja. Vizuelna provjera obuhvata pregled svih spojeva i ožičenja kako bi se osigurala pravilnost instalacije, čvrstoća spojeva, urednost i sigurnost čitavog elektroinstalacionog sistema.

6.5. Izvođenje instalacije uzemljenja i gromobranske zaštite vjetroeletreana

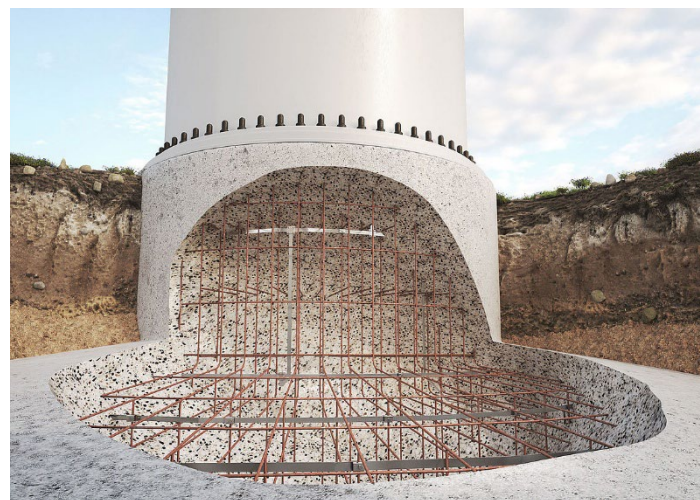
U vjetroeletreanama, uzemljivački sistemi igraju ključnu ulogu u sigurnosti, stabilnosti i zaštiti elektroenergetskih uređaja i ljudi. Uzemljivački sistem omogućuje sigurno otklanjanje električnih struja u slučaju kvara, smanjuje opasnost od električnog udara i osigurava pravilno funkcioniranje sistema. Postoje različiti oblici uzemljivačkih sistema, a svaki od njih je dizajniran za specifičnu funkciju unutar vjetroeletreane.

Uzemljivački sistem vjetroatregata (vjetroturbine)

Za sigurnost same turbine, opreme i ljudi od velikog je značaja uzemljivački sistem vjetroatregata, odnosno vjetroturbine. Glavna funkcija uzemljenja vjetroturbine je osiguranje sigurnog protoka struje u slučaju kvara (npr. kratki spoj ili udar munje).

Vjetroatregati obično imaju uzemljivač ugrađen u temelje turbine. To se obično postiže spajanjem metalnih djelova temelja sa sistemom uzemljenja. Uzemljivački sistem temelja može koristiti čelične armature u betonu ili metalne cijevi postavljene u tlo, koje su povezane s metalnim djelovima turbine (npr. okvirom ili kućištem generatora).

U vjetroturbini, uzemljivačka žica povezuje metalne dijelove (kao što su kućište generatora i prateća oprema) sa sistemom uzemljenja temelja. Vjetroturbine često imaju sistem za zaštitu od udara munje koji uključuje uzemljivačke elektrode povezane s metalnim dijelovima turbine i sistemom uzemljenja.



Uzemljenje vjetroturbine

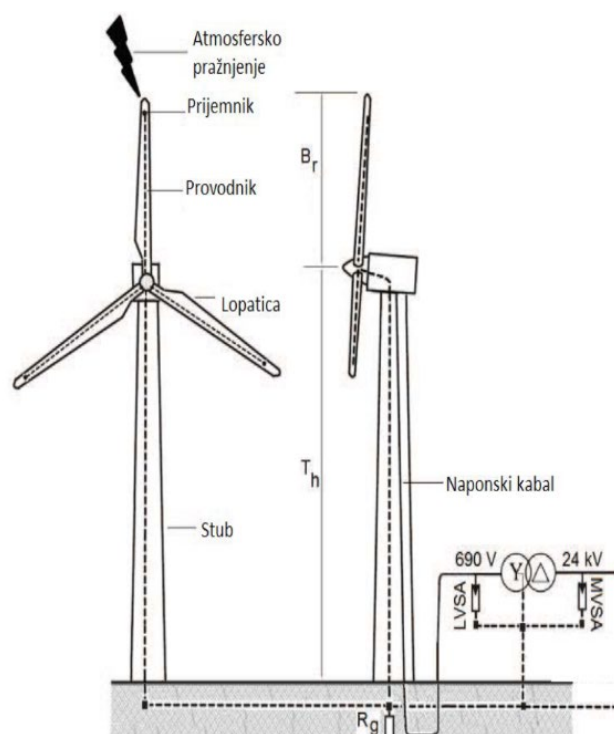
Uzemljivački sistem transformatorskih stanica

Transformatorske stanice u vjetroeletranama služe za transformaciju napona električne energije kako bi se omogućila ispravna distribucija na električnu mrežu. Uzemljivački sistem transformatorskih stanica osigurava sigurnost opreme, zaštitu od kvara i stabilnost sistema.

U transformatorima i drugim uređajima unutar stanice koristi se sistem uzemljenja koji osigurava siguran protok struje u slučaju kvara. Obično se koristi tlo kao uzemljenje, a metalne šipke ili ploče postavljaju se u zemlju oko stanice. Metalni dijelovi transformatora (kao što su metalni okviri i kućišta) povezani su sa sistemom uzemljenja pomoću ožičenja koje ide do uzemljivačkih elektroda (čeličnih šipki ili mreža) u zemlji.

U velikim transformatorskim stanicama često je potrebno koristiti višestruke uzemljivačke elektrode kako bi se raspodijelila energija u slučaju kratkog spoja i smanjio rizik od preopterećenja. Uzemljivački sistem transformatorskih stanica također pomaže u zaštiti opreme od prenapona koji mogu nastati uslijed munje ili drugih smetnji.

Zbog istaknutosti vjetroagregata na lokacijama velikih nadmorskih visina potrebno je osigurati obuhvatnu zaštitu od atmosferskih pražnjenja i prenaponskih talasa. Vjerovatnoća udara atmosferskog pražnjenja raste linearno sa porastom visine pa je za vjetroagregate velikih snaga, a ujedno i velikih visina, zaštita od velike važnosti.



Sistem uzemljenja pri direktnom udaru groma

Uzemljivački sistem električne mreže vjetroeletrane

Električna mreža vjetroeletrane povezuje vjetroturbine, transformatorske stanice i ostalu opremu te omogućuje distribuciju proizvedene energije prema javnoj mreži. Uzemljivački sistem električne mreže osigurava stabilnost i sigurnost cijelog sistema.

U vjetroeletranama može postojati centralizirani uzemljivački sistem koji povezuje sve komponente sistema (vjetroturbine, transformatorske stanice, vodove i uređaje) sa zajedničkim uzemljivačem. Elektroinstalacije i oprema u mreži povezani su s zemljom pomoću zemljanih provodnike. Ovi provodnici služe za osiguranje sigurne putanje struje prema zemlji u slučaju kvara.

Mrežni uzemljivači obično se sastoje od više uzemljivačkih elektroda, poput metalnih šipki, ploča i mreža postavljenih u zemlji. Zavisno od veličine vjetroeletrane, ovi uzemljivači mogu biti postavljeni duž cijelog objekta.

Uzemljivački sistem mreže također uključuje zaštitu od strujnih udara (munja) pomoću prenaponskih zaštita, koje omogućavaju sigurno usmjeravanje naponskih udara prema zemlji. Sistem uzemljenja mora se redovno testirati kako bi se osigurala ispravnost svih veza, a s tim u vezi se koriste uređaji za ispitivanje kontinuiteta uzemljenja.

Vrste elektroda u uzemljivačima

U svim gore navedenim sistemima koriste se različite vrste elektroda za uzemljenje. Neki od najčešćih tipova elektroda uključuju:

- **Metalne šipke:** Čelične šipke postavljene u zemlju, koje su dobro povezane sa sistemom.
- **Metalne ploče:** Pločasti metalni uzemljivači ugrađeni u zemlju, često korišteni u područjima s lošijom provodnošću tla.
- **Mrežni sistemi:** U nekim slučajevima koristi se mrežni sistem od čeličnih žica, čeličnih traka ili ploča postavljenih u zemlji.

Zaštita od prenapona

Osim osnovnog uzemljenja, zaštita od prenapona također je vrlo važna u vjetroeletranama, jer sistemi moraju biti zaštićeni od visokih naponskih udara, posebno zbog munja. Koriste se uređaji kao što su prenaponske zaštite (SPD). Ovi uređaji smanjuju prenos prenapona prema opremi i usmjeravaju višak energije u uzemljivački sistem.

Uzemljivački sistemi u vjetroeletranama, uključujući uzemljenje vjetroturbina, transformatorskih stanica i električnih mreža, imaju ključnu ulogu u osiguravanju sigurnosti ljudi i zaštiti opreme od kvara i šteta. Ovisno o veličini i specifičnostima vjetroeletrane, sistemi uzemljenja mogu biti vrlo kompleksni, ali uvijek moraju biti dizajnirani i izvedeni prema strogim sigurnosnim standardima kako bi se osigurala pouzdanost sistema i minimizirali rizici od električnog udara i drugih električnih opasnosti.

6.6. Mjerenje i kontrola performansi komponenti vjetroturbina

Mjerenje i kontrola performansi komponenti vjetroturbina neophodni su za efikasan rad sistema i sprečavanje kvarova. Proces obuhvata ispitivanje tehničkih parametara tokom rada i nakon montaže kako bi se osigurao optimalan učinak i sigurnost sistema.

Mjerenje tehničkih parametara komponenti vjetroturbina

- Brzina vjetra i performanse lopatica – Anemometri i vjetrokazi mjere ulazne parametre vjetra kako bi se optimizovala aerodinamika lopatica.
- Vibracije i stabilnost rotora – Senzori vibracija prate balans rotora i ukazuju na moguća mehanička oštećenja.
- Temperatura ležajeva i generatora – Termalni senzori otkrivaju pregrijavanje kritičnih dijelova.
- Napon i struja generatora – Analizom električnih parametara osigurava se stabilna proizvodnja energije.
- Efikasnost prenosnog sistema – Mjerenje obrtnog momenta i snage omogućava optimizaciju rada menjača i generatora.
- Sistem kočenja i sigurnosti – Ispituje se funkcionalnost hidrauličnih i mehaničkih kočnica.

Puštanje u rad i ispitivanje ugrađenih komponenti vrši se u nekoliko koraka.

- Vizuelna inspekcija – Provjerava se ispravnost spojeva, pričvršćenja i integritet konstrukcije.
- Električna mjerenja – Testira se napon, struja i kontinuitet provodnika.
- Funkcionalno testiranje – Aktivira se sistem za nadzor i kontrolu, provjeravajući reakcije turbina na različite radne uslove.
- Test opterećenja – Simulira se rad pod maksimalnim opterećenjem kako bi se osigurala stabilnost proizvodnje.
- Analiza podataka i podešavanje sistema – Na osnovu dobijenih rezultata vrše se finalna podešavanja i optimizacija rada.

Kontinuirano praćenje i testiranje performansi osiguravaju dugotrajan, pouzdan i efikasan rad vjetroturbina, smanjujući rizik od neplaniranih kvarova i zastoja.

7. ODRŽAVANJE OPREME I MONITORING U VJETROELEKTRANAMA

7.1. Vrste održavanja i aktivnosti pri održavanju vjetroelektrana

Održavanje vjetroelektrana ključno je za osiguranje njihovog nesmetanog i dugotrajnog rada, smanjenje rizika od kvarova te optimizaciju proizvodnje električne energije. Postoje dvije osnovne vrste održavanja vjetroelektrana: preventivno i korektivno održavanje. Preventivno održavanje obuhvata redovne aktivnosti s ciljem sprječavanja kvarova i produženja radnog vijeka opreme. U okviru ovog održavanja sprovode se vizuelni pregledi, planirane zamjene potrošnih dijelova i periodična testiranja. Korektivno održavanje odnosi se na aktivnosti koje se preduzimaju nakon otkrivanja kvara ili nepravilnosti u radu sistema, a cilj je brzo dijagnostikovati i otkloniti kvar kako bi se sistem vratio u optimalno radno stanje.



Vjetroelektrana van pogona

Praćenje rada vjetroelektrana podrazumijeva mjerenje i analizu različitih parametara. Električne veličine koje se prate uključuju struju, napon, frekvenciju, snagu, električnu energiju i otpornost. Osim električnih veličina, važno je pratiti i neelektrične parametre kao što su temperatura, brzina i smjer vjetra, protok vazduha, vibracije i buka, jer oni direktno utiču na performanse sistema i ukazuju na moguće probleme.

Preventivno održavanje uključuje niz aktivnosti koje doprinose dugotrajnom i pouzdanom radu vjetroagregata. Vizuelni pregledi omogućavaju pravovremeno uočavanje znakova habanja, oštećenja ili nepravilnosti u radu. Preventivni radovi podrazumijevaju podmazivanje pokretnih dijelova, čišćenje sistema i zamjenu potrošnih dijelova prije nego što dođe do otkaza. Pored toga, sprovode se i preventivna ispitivanja stanja elemenata, uključujući testiranje električnih i mehaničkih karakteristika opreme, čime se može predvidjeti potencijalni kvar.



Vizuelni pregledi

Korektivno održavanje se sprovodi kada dođe do kvara ili problema u radu sistema. Dijagnostika kvara uključuje identifikaciju problema, lociranje mjesta kvara i analizu uzroka. Nakon toga, preduzima se otklanjanje kvara ili zamjena neispravnih komponenti. Po završetku popravke, neophodno je testirati funkcionalnost sistema kako bi se osigurala ispravnost, nakon čega se vjetroagregat pušta u rad.

Za precizno praćenje rada vjetroagregata koriste se različiti mjerni uređaji. Električne veličine se mjere pomoću digitalnih multimetara, osciloskopa, mrežnih analizatora, megaommetara, vatmetara i frekvencometara. Neelektrične veličine se prate pomoću termometara, termovizijskih kamera, anemometara, vjetrokaza, senzora orijentacije, senzora vibracija i piranometara.

Svaki obavljen vizuelni pregled, preventivni rad ili testiranje mora biti dokumentovan u ispitnom protokolu. Ovaj dokument sadrži osnovne podatke o pregledu, uključujući datum i vrijeme pregleda, naziv vjetroelektrane i podatke o opremi. Takođe, sadrži opis uočenih problema, izvršenih mjerenja i vrijednosti izmjerenih parametara. Na kraju, u protokolu se navode preporuke za buduće aktivnosti održavanja, čime se osigurava dugotrajna pouzdanost i bezbjednost rada sistema.

7.2. Radovi preventivnog održavanja elemenata vjetroelektrana

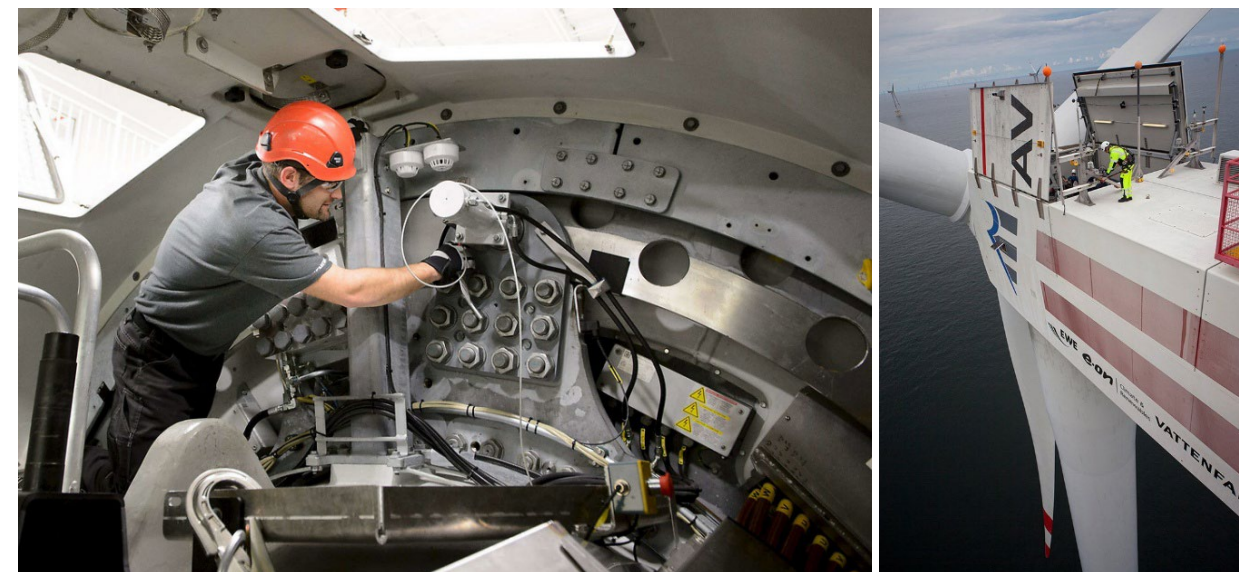
Preventivno održavanje vjetroelektrana ključno je za osiguranje njihovog dugotrajnog i pouzdanog rada. Ove aktivnosti omogućavaju pravovremeno otkrivanje potencijalnih problema i sprječavanje kvarova koji bi mogli dovesti do neplaniranih zastoja ili ozbiljnih oštećenja sistema.

Vizuelni pregledi predstavljaju prvi korak u preventivnom održavanju i imaju za cilj rano otkrivanje znakova habanja, korozije, deformacija i drugih nepravilnosti. Prilikom pregleda ispituju se temelji kako bi se otkrile eventualne pukotine ili promjene u strukturi koje bi mogle ugroziti stabilnost tornja. Toranj se provjerava na koroziju, mehanička oštećenja i labave spojeve. Gondola se analizira zbog mogućih curenja ulja, deformacija i nepravilnosti u radu mehaničkih komponenti. Lopatice se ispituju na prisustvo pukotina, erozije i drugih mehaničkih oštećenja koje mogu uticati na njihovu efikasnost. Sistem za kočenje se provjerava kako bi se osiguralo da može zaustaviti turbinu u hitnim situacijama. Prenosni sistem se analizira zbog mogućih problema sa ležajevima i osovinama, dok se generator, električni spojevi, kablovi i transformatori provjeravaju zbog mogućih kvarova, prekida električnih veza i pregrijavanja.

Preventivni radovi obuhvataju podmazivanje ležajeva i mehaničkih djelova, zamjenu istrošenih ili oštećenih djelova, čišćenje elemenata, provjeru rada i kalibraciju senzora, mjernih uređaja i kontrolnih sistema, pritezanje spojeva i kontakata te obnavljanje antikorozivnih premaza. Sve ove aktivnosti imaju za cilj održavanje sistema u optimalnom stanju i produženje njegovog radnog vijeka.

Preventivna ispitivanja stanja elemenata su od suštinske važnosti za rano otkrivanje potencijalnih problema. Ultrazvučna i vibraciona ispitivanja lopatica omogućavaju detekciju unutrašnjih oštećenja koja nisu vidljiva golim okom. Ispitivanja izolacije, vibracija i uzemljenja generatora osiguravaju njegovu sigurnu i efikasnu funkcionalnost. Provjera aktivnih alarma na sistemu daljinskog upravljanja omogućava brzo reagovanje

u slučaju nepravilnosti. Ispitivanje izolacije, stanja ulja i buke transformatora pomaže u procjeni njegovog trenutnog stanja i predviđanju mogućih problema.



Preventivno održavanje vjetroturbine

Sigurnosne mjere pri izvođenju preventivnog održavanja uključuju korištenje zaštitnih kaciga, rukavica, zaštitnih naočara, sigurnosnih pojaseva i specijalizovane odjeće za rad na visini. Pored lične zaštitne opreme, koriste se i kolektivne mjere zaštite poput zaštitnih ograda i upozoravajućih oznaka. Sva mjerenja električnih i neelektričnih veličina obavljaju se pomoću odgovarajućih mjernih uređaja, u kontrolisanim uslovima kako bi se osigurala tačnost rezultata.



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak 1: Vizuelni pregled elemenata vjetroelektrana

Izvrši vizuelni pregled ključnih elemenata vjetroelektrane radi uočavanja mogućih oštećenja i nepravilnosti.

Materijal i alat:

- Dokumentacija o održavanju
- Inspeksijska lampa
- Kamera za dokumentovanje oštećenja
- Zaštitna oprema (kaciga, rukavice, sigurnosni pojas)

Postupak:

1. Pripremiti inspeksijski izvještaj i plan pregleda.
2. Pregledati temelj, toranj, gondolu i lopatice na pukotine, koroziju i deformacije.
3. Pregledati sistem kočenja, prenosni sistem, generator, kablove i transformator na moguće kvarove.
4. Dokumentovati zapažanja i sačiniti izvještaj s preporukama.



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak 2: Mjerenje električnih i neelektričnih veličina

Izvrši mjerenja karakterističnih parametara rada vjetroelektrane.

Materijal i alat:

- Digitalni multimeter
- Anemometar
- Termovizijska kamera
- Mjerni protokol

Postupak:

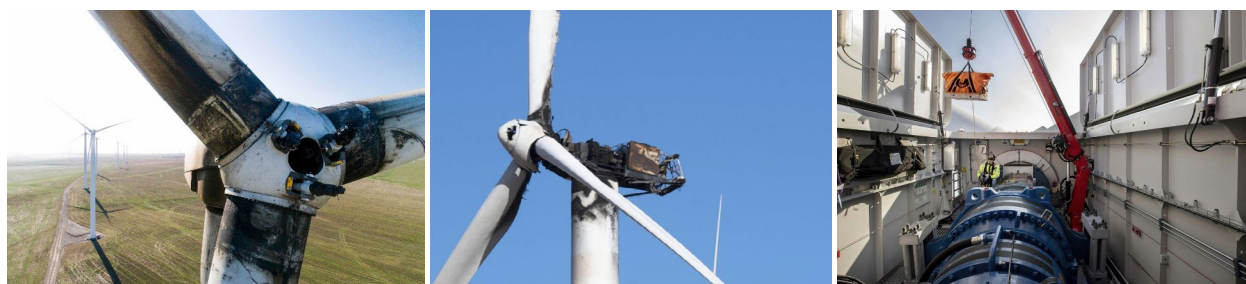
1. Postaviti uređaje za mjerenje na odgovarajuće tačke.
2. Izmjeriti napon, struju, frekvenciju i snagu.
3. Izmjeriti temperaturu ključnih komponenti.
4. Upisati rezultate u mjerni protokol i analizirati vrijednosti.

Ove praktične vježbe je moguće izvesti u saradnji sa lokalnom kompanijom koja održava vjetroelektranu

7.3. Radovi korektivnog održavanja elemenata vjetroelektrana

Korektivno održavanje se sprovodi kada dođe do otkaza sistema, a cilj mu je brzo otklanjanje kvara i vraćanje vjetroelektrane u ispravno radno stanje. Najčešći uzroci otkaza uključuju mehanička oštećenja lopatica uslijed ekstremnih vremenskih uslova, oštećenja kablova koja mogu dovesti do prekida u napajanju, kvarove sistema automatskog upravljanja koji utiču na pravilno funkcionisanje vjetroatregata i prorade zaštita koje mogu isključiti sistem zbog nestabilnosti u mreži.

Otklanjanje kvarova zahtijeva odgovarajuće materijalne resurse, uključujući zamjenske dijelove, električne provodnike, osigurače, senzore, maziva i specijalizovane alate za popravku. Dijagnostika kvarova uključuje analizu podataka sa sistema daljinskog nadzora, upotrebu dijagnostičkih uređaja za električne i mehaničke parametre te fizički



Primjeri kvarova za korektivno održavanje

pregled sistema kako bi se utvrdio uzrok problema. Kada se kvar identifikuje, pristupa se njegovom otklanjanju, što može uključivati popravku oštećenih komponenti, zamjenu neispravnih elemenata i ponovno usklađivanje sistema automatskog upravljanja.

Nakon otklanjanja kvara, neophodno je sprovesti funkcionalno ispitivanje i provjeriti rad svih ključnih elemenata. Električne i mehaničke komponente se testiraju pomoću odgovarajućih mjernih uređaja, dok se sigurnosni sistemi provjeravaju u kontrolisanim uslovima kako bi se osiguralo da ispravno reaguju u slučaju budućih problema. Kada svi testovi potvrde ispravnost rada, vjetroatregat se ponovo pušta u rad, uz kontinuirano praćenje njegovih parametara kako bi se osiguralo da nema dodatnih nepravilnosti.

Kombinacijom preventivnog i korektivnog održavanja obezbjeđuje se pouzdan rad vjetroelektrana, smanjuju se neplanirani zastoji i produžava vijek trajanja ključnih komponenti sistema.



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak: Dijagnostika kvara

Identifikuj kvar na sistemu pomoću dijagnostičkih uređaja.

Materijal i alat:

- Osnovna dokumentacija o sistemu
- Multimeter i osciloskop
- Zaštitna oprema

Postupak:

1. Prikupiti podatke o kvaru i pregledati greške u sistemu.
2. Koristiti multimeter za provjeru električnih parametara.
3. Izvršiti analizu rezultata i identifikovati uzrok problema

Ove praktične vježbe je moguće izvesti u saradnji sa lokalnom kompanijom koja održava vjetroelektranu

7.4. Radovi održavanja električnih instalacija vjetroelektrana

Održavanje električnih instalacija vjetroelektrana obuhvata niz aktivnosti usmjerenih na osiguranje pouzdanog i bezbjednog rada elektroenergetskih sistema. Preventivno održavanje električnih instalacija uključuje pregled svih kablova, spojeva i priključaka kako bi se otkrila eventualna oštećenja ili preopterećenja. Redovno čišćenje i zamjena istrošenih komponenti smanjuju rizik od kvarova i osiguravaju stabilnost napajanja.

Posebna pažnja posvećuje se održavanju sistema uzemljenja i gromobranske zaštite. Provjerava se ispravnost uzemljenja, otpornost na koroziju i kvalitet priključaka, a svi identifikovani problemi se odmah otklanjaju kako bi se obezbijedila sigurnost sistema u slučaju udara groma.

Preventivno održavanje razvodnog ormara i table mrežnog priključka podrazumijeva pregled svih električnih spojeva, zamjenu istrošenih osigurača i testiranje funkcionalnosti zaštitnih uređaja. Svaka neispravnost može izazvati prekide u radu sistema, stoga je neophodno redovno testiranje i održavanje.

Mjerenje otpora izolacije i uzemljenja ključni su koraci u procjeni stanja električnih instalacija. Ova ispitivanja se vrše pomoću specijalizovanih uređaja kao što su megaohmmetar i uređaji za ispitivanje otpora uzemljenja, čime se osigurava ispravan rad i minimiziraju sigurnosni rizici.

Otklanjanje kvarova na električnim instalacijama podrazumijeva preciznu dijagnostiku, zamjenu neispravnih komponenti i testiranje funkcionalnosti sistema prije njegovog ponovnog puštanja u rad. Svaka intervencija mora biti sprovedena u skladu sa sigurnosnim standardima kako bi se obezbijedila pouzdanost i bezbjednost rada.

Ove praktične vježbe je moguće izvesti u saradnji sa lokalnom kompanijom koja održava vjetroelektranu



PRAKTIČNA VJEŽBA

Zadatak 1: Pregledati razvodne ormare i kablove radi utvrđivanja mogućih kvarova.

Materijal i alat:

- Dokumentacija o instalacijama
- Inspekcijska lampa
- Zaštitna oprema

Postupak:

1. Pregledati stanje spojeva, priključaka i zaštitnih uređaja.
2. Identifikovati znakove pregrijavanja ili mehaničkih oštećenja.
3. Dokumentovati nalaze i predložiti potrebne korektivne mjere.



KVIZ

Kviz 7: Održavanje opreme u vjetroelektranama

<https://forms.office.com/e/NHFUEUZkiU>

7.5. Prikupljanje, obrada i čuvanje podataka u vjetroelektranama

Monitoring i praćenje parametara sistema u vjetroelektranama postaju sve značajniji segmenti u industriji obnovljive energije. Razvoj tehnologije omogućio je preciznije i pouzdanije prikupljanje podataka, čime se poboljšava rad i efikasnost vjetroturbina, a ujedno i optimizuje njihovo održavanje. Sve veća upotreba pametnih senzora, analitičkih softvera i cloud rješenja doprinosi boljoj kontroli rada postrojenja i smanjenju rizika od kvarova.

Očekuje se da će u budućnosti potražnja za tehničarima specijalizovanim za monitoring i analizu podataka značajno porasti. Uloga ovih stručnjaka biće ključna u nadgledanju performansi vjetroelektrana, implementaciji novih tehnologija i unapređenju operativne efikasnosti. Upravo zbog toga, ovaj priručnik kratko se osvrće na monitoring sistema i prateće tehnologije kako bi učenici/polaznici stekli osnovna znanja o ovoj rastućoj oblasti.

Ključni elementi sistema za praćenje parametara i njihova uloga u radu postrojenja:

Data Manager (Upravljački modul za podatke)

- Opis: Centralni uređaj ili softverska platforma koja omogućava prikupljanje, obradu i analizu podataka iz vjetroelektrane.
- Funkcija: Integracija i upravljanje podacima sa senzora, meteoroloških stanica, invertera i drugih komponenti sistema. Takođe omogućava daljinsko praćenje performansi i otkrivanje kvarova.
- Primjena: Koristi se za optimizaciju rada vjetroturbina, prediktivno održavanje i poboljšanje efikasnosti proizvodnje električne energije.

Komunikacijski kabl

- Opis: Kabl za prenos podataka između različitih komponenti vjetroelektrane.
- Funkcija: Omogućava povezivanje senzora, Data Managera, servera i drugih sistema za nadzor i kontrolu. Može biti optički ili bakarni, u zavisnosti od zahtjeva sistema.
- Primjena: Koristi se za siguran i pouzdan prenos podataka između vjetroturbina, meteoroloških stanica, kontrolnih sistema i udaljenih centara za upravljanje.

Server

- Opis: Centralizovani računar ili cloud platforma za čuvanje i analizu podataka iz sistema vjetroelektrane.
- Funkcija: Arhiviranje podataka, obrada informacija i omogućavanje daljinskog pristupa korisnicima i operaterima. Može biti lokalni server u postrojenju ili udaljeni server u oblaku.
- Primjena: Koristi se za dugoročno čuvanje operativnih podataka, analitiku, generisanje izvještaja i predviđanje performansi sistema.

Softver za upravljanje vjetroelektranama

- Opis: Sveobuhvatna softverska rješenja za upravljanje i optimizaciju rada vjetroelektrana.
- Funkcija: Vizualizacija podataka, analitika performansi i podrška pri donošenju odluka za operatore.
- Primjena: Koristi se za praćenje u realnom vremenu, planiranje održavanja i maksimizaciju proizvodnje energije.

Sistemi za ekološki monitoring

- Opis: Sistemi za praćenje ekološkog uticaja i uslova u okolini vjetroelektrane.
- Funkcija: Nadzor nivoa buke, aktivnosti divljih životinja i promjena u staništu.
- Primjena: Osigurava usklađenost s ekološkim propisima i minimizuje ekološki otisak vjetroelektrane.

U sistemima vjetroelektrana za prikupljanje, obradu i čuvanje podataka koristi se niz specijalizovane opreme koja omogućava efikasno upravljanje sistemom, analizu performansi i optimizaciju rada. Pored Data Managera, komunikacijskog kabla i servera, koristi se i sledeća oprema:

Senzori i mjerni uređaji

- Anemometar – Mjeri brzinu vjetra, što je ključno za optimizaciju rada vjetroturbina.
- Vjetrokaz (Wind vane) – Pokazuje pravac vjetra i pomaže u automatskom usmjeravanju gondole (yaw sistema).
- Temperaturni senzori – Prate temperaturu okoline, generatora, ležajeva i drugih komponenti.
- Senzori vibracija – Nadgledaju stanje ležajeva, rotora i drugih mehaničkih djelova radi detekcije mogućih kvarova.
- Senzori vlage i pritiska – Koriste se za nadzor vremenskih uslova i zaštitu opreme od korozije.

Komunikaciona i mrežna oprema

- Industrial Ethernet Switch – Omogućava povezivanje različitih komponenti u mreži vjetroelektrane, kao što su Data Manager, SCADA sistemi i serverska infrastruktura.
- 4G/5G ili satelitski modemi – Omogućavaju daljinsku komunikaciju između vjetroelektrane i operativnog centra.
- Optički ili bakarni komunikacijski kablovi – Koriste se za siguran i brz prenos podataka između turbina, kontrolnih sistema i servera.
- Bežični komunikacioni moduli – Omogućavaju prenos podataka putem Wi-Fi, Zigbee ili drugih bežičnih protokola u okviru vjetroparka.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistem

- Opis: Softver i hardver koji omogućava daljinsko nadgledanje i upravljanje vjetroelektranom.
- Funkcije: o Prikupljanje podataka sa turbina i senzora u realnom vremenu. o Detekcija kvarova i analiza performansi. o Automatska optimizacija rada sistema.
- Primjena: Omogućava centralizovanu kontrolu rada vjetroelektrane iz komandnog centra.

Sistemi za čuvanje podataka i analizu

- Data Logger – Uređaj koji bilježi podatke iz senzora i mjernih uređaja za kasniju analizu.
- Lokalni serveri – Obezbjeđuju brzu obradu podataka i skladištenje operativnih informacija na lokaciji.
- Cloud-based platforme – Koriste se za dugoročno čuvanje podataka, omogućavanje analitike i prediktivne obrade putem AI algoritama.

UPS (Uninterruptible Power Supply) sistemi

- Opis: Baterijski ili generatorski sistemi koji obezbjeđuju neprekidno napajanje ključne komunikacione i upravljačke opreme u slučaju nestanka struje.
- Funkcija:
 - Štiti podatke i sisteme od gubitka podataka uslijed nestanka napajanja.
 - Održava kontinuitet rada serverskih i SCADA sistema.

Cybersecurity oprema i softver

- Firewall uređaji – Obezbjeđuju zaštitu mreže vjetroelektrane od cyber napada.
- VPN (Virtual Private Network) sistemi – Omogućavaju siguran daljinski pristup podacima i sistemima vjetroelektrane.
- Antivirus i IDS/IPS (Intrusion Detection/Prevention Systems) – Sprečavaju neovlašćene pristupe i sigurnosne incidente.

Kamere i sigurnosni sistemi

- Termalne kamere – Koriste se za detekciju pregrijavanja ili drugih anomalija u opremi.
- IP nadzorne kamere – Omogućavaju praćenje rada vjetroturbina i zaštitu objekata vjetroelektrane.
- Dronovi sa kamerama i senzorima – Koriste se za inspekciju lopatica, nosača i drugih teško dostupnih dijelova turbina.

8. ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Instalacija i održavanje elektroenergetske opreme u vjetroelektranama predstavlja ključni segment u razvoju i primjeni obnovljivih izvora energije. Ovaj priručnik omogućava sticanje neophodnih znanja i praktičnih vještina koje su od suštinskog značaja za kvalitetno i sigurno izvođenje radova u ovoj oblasti.

Kroz razmatranje teorijskih osnova, tehničkih karakteristika vjetroelektrana, specifičnosti montaže i demontaže elektroenergetske opreme, kao i kroz detaljan prikaz mjera bezbjednosti i zaštite na radu, korisnici su osposobljeni za siguran i efikasan rad u sektoru vjetroenergije. Takođe, posebna pažnja posvećena je preventivnom i korektivnom održavanju, čime se produžava vijek trajanja sistema i osigurava pouzdanost njegovog rada.

Budućnost elektroenergetskih sistema zasniva se na sve većem korišćenju obnovljivih izvora energije, a vjetroelektrane imaju centralnu ulogu u tom procesu. Razvoj novih tehnologija, povećanje efikasnosti sistema i unapređenje sigurnosnih procedura otvaraju široke mogućnosti za napredak i profesionalno usavršavanje u ovoj oblasti. Stoga, kontinuirana edukacija, praćenje inovacija i usvajanje savremenih tehnika rada predstavljaju imperativ za sve koji žele biti dio ovog perspektivnog sektora.

Značaj edukacije u oblasti vjetroenergije ne može se dovoljno naglasiti, s obzirom na to da potražnja za stručnjacima u ovom polju rapidno raste. Globalni trend prelaska na obnovljive izvore energije stvara ogromne potrebe za kvalifikovanom radnom snagom koja može uspješno odgovoriti na tehničke i operativne izazove instalacije, održavanja i upravljanja elektroenergetskom opremom u vjetroelektranama. Radnici sa specijalizovanim znanjima iz ove oblasti ne samo da će biti traženi na domaćem tržištu, već će imati prilike za rad i u međunarodnim projektima širom svijeta.

Stoga, obrazovni programi i stručne obuke postaju ključni faktor u osposobljavanju nove generacije tehničara i inženjera koji će igrati ključnu ulogu u daljoj ekspanziji vjetroelektrana. Pravilna edukacija ne samo da doprinosi profesionalnom razvoju pojedinca, već i povećava sigurnost i efikasnost rada, smanjujući rizike i podižući standarde industrije.

Ovaj priručnik ne samo da pruža osnovna znanja, već i motiviše korisnike da istražuju dalje, razvijaju kritičko razmišljanje i aktivno učestvuju u unapređenju industrije vjetroenergije. Njihova uloga u očuvanju energetske stabilnosti, zaštiti životne sredine i primjeni inovativnih rješenja biće od presudnog značaja u narednim godinama.

Nadamo se da će ovaj materijal poslužiti kao sigurna osnova za uspješnu primjenu stečenih znanja i vještina te doprinositi daljem razvoju obnovljivih izvora energije.

Literatura i korišćeni izvori

- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). Wind Energy Explained: Theory, Design, and Application. John Wiley & Sons.
- Ackermann, T. (2012). Wind Power in Power Systems. John Wiley & Sons.
- Gasch, R., & Tvele, J. (2011). Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation. Springer.
- Hau, E. (2013). Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Springer.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2011). Wind Energy Handbook. John Wiley & Sons.
- Heier, S. (2014). Grid Integration of Wind Energy: Onshore and Offshore Conversion Systems. John Wiley & Sons.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). Wind Energy Explained: Theory, Design and Application. John Wiley & Sons.
- Gipe, P. (2004). Wind Power: Renewable Energy for Home, Farm, and Business. Chelsea Green Publishing.
- Mathew, S. (2006). Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics. Springer.
- Freris, L., & Infield, D. (2008). Renewable Energy in Power Systems. John Wiley & Sons.
- Boyle, G. (2004). Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. Oxford University Press.
- Čalasan, M., Čalasan B. (2013). Električne instalacije i osvetljenja. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Podgorica
- Čalasan, M., Čalasan B. (2015). Električne instalacije i osvetljenja. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Podgorica
- Škuletić, S., Sekulić, Z. (2019). Proizvodnja električne energije, udžbenik. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Podgorica
- Škuletić, S., Braletić, M. (2022). Uvod u energetiku, udžbenik. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Podgorica
- Lekić, M. (2017). Obnovljivi izvori energije. Univerzitet Crne Gore.
- Janković, S. (2019). Elektroenergetski sistemi i obnovljivi izvori. Univerzitet u Beogradu.
- Stevanović, V. (2020). Vjetroeletkrane - projektovanje i implementacija. Akademski knjiga, Novi Sad.
- Ristić, B. (2018). Osnovi elektrotehnike sa primjenom u obnovljivim izvorima energije. Univerzitet u Nišu.
- Milovanović, Z. (2021). Tehnička regulativa u elektroenergetici. Građevinski fakultet, Beograd.
- Rajković, D. (2011). Proizvodnja i pretvorba energije, Zagreb
- Barac, K., Radić, L. (2006). Bezbednost i zdravlje pri radu na elektroenergetskim objektima sa osvrtom na evropske norme, EDB, Beograd

Organizacije i standardizacijski izvori:

- Međunarodna agencija za obnovljive izvore energije (IRENA) – www.irena.org
- Global Wind Energy Council (GWEC) – www.gwec.net
- International Electrotechnical Commission (IEC) – www.iec.ch
- IEEE Power & Energy Society – www.ieee-pes.org
- <https://ieeexplore.ieee.org/document/8467935>
- <https://www.energyencyclopedia.com/>
- VDE - Association for Electrical, Electronic & Information Technologies – www.vde.com
- European Wind Energy Association (EWEA) – www.ewea.org
- <https://www.engie.com/en/activities/renewable-energies/wind-energy/recycling-wind-turbines>
- International Electrotechnical Commission (IEC). (2019). IEC 61400-1: Wind Turbines - Design Requirements
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2017). Guidelines for Wind Energy Workers - Safety and Best Practices
- World Energy Outlook Special Report, International Energy Agency, Paris, France, 2017.

- Rad sa visine; Opšte mere za bezbednost i zdravlje na radu pri radovima na visini Uputstvo za rad na visini i radnim platformama: UBR.11. 01/2015; I-1, R-0:
- <https://epa.org.me/wp-content/uploads/2023/09/DOKUMENTACIJA-ZA-ODLUCIVANJE-O-POTREBI-IZRADE-ELABORATA-PROCJENE-UTICAJA-NA-ZIVOTNU-SREDINU.pdf>
- <https://univdatos.com/news/offshore-wind-market-2>
- https://labvolt.festo.com/solutions/3_fluid_power/89-8075-50_wind_turbine_training_system
- <https://www.extrica.com/article/20178>
- <https://www.windsystemsmag.com/maintaining-a-maintenance-plan/>

Sajtovi sa kojih su preuzete slike:

- Wikimedia Commons – www.commonswikimedia.org
- Pexels – www.pexels.com
- <https://www.innotech-safety.com/en/safety-systems-wiki/renewable-energy-and-fall-protection-systems>
- Unsplash – www.unsplash.com
- <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy/wind-energy>
- Global Wind Atlas – www.globalwindatlas.info
- Evropska mreža za obnovljive izvore energije (EU Renewable Energy Network) – www.eurener.org
- National Renewable Energy Laboratory (NREL) – www.nrel.gov
- <https://read.aviationnewsjournal.com/articles/windrunner-aims-to-transform-wind-turbine-transport>
- WindEurope – www.windeurope.org
- Renewable Energy World – www.renewableenergyworld.com
- <https://en.wind-turbine-models.com/fotos?p=50>
- <https://businessinwind.com/gamesa-versus-vestas-ireland/>
- PTRK – Telescopic crawler cranes <https://www.prangl.com/services/mobile-cranes/telescopic-crawler-cranes>
- <https://elektrovat-enel.rs/shop/page/4/>

Linkovi za predloženi video materijal

- <https://www.youtube.com/watch?v=8sPp8G8a48E>
- <https://www.youtube.com/watch?v=nA9oC--tq50>
- https://www.youtube.com/watch?v=qSWm_nprfqE
- <https://www.youtube.com/watch?v=HqCVgRbPQcg>
- https://www.youtube.com/watch?v=fl6BMVw_B-Y
- <https://www.youtube.com/watch?v=vjqdJ8OSmRA>
- <https://www.energyencyclopedia.com/en/free-downloads/videos/types-of-res-and-the-use-of-renewable-56>
- <https://www.energyencyclopedia.com/en/free-downloads/videos/comparison-of-renewable-energy-source-55>
- <https://www.youtube.com/watch?v=bNBQKIht6rg>
- <https://www.engie.com/en/activities/renewable-energies/wind-energy/recycling-wind-turbines>
- https://labvolt.festo.com/solutions/3_fluid_power/89-8075-50_wind_turbine_training_system
- <https://www.energyencyclopedia.com/>



