



Priručnik

za instaliranje i održavanje
elektroenergetske opreme u
vetroelektranama

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

Izdanje

Beograd, 2025.

ISBN-978-86-82886-14-3

Sadržaj

1. UVOD	4
1.1. Svrha priručnika	4
1.2. Značaj i primena energije vetra	5
1.3. Struktura priručnika	7
2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	8
2.1 Solarna energija	11
2.2 Vodne snage (hidroenergija)	14
2.3 Energija mora i okeana	16
2.4 Energija morskih struja	17
2.5 Energija talasa	18
2.6 Toplotna energija okeana (OTEC - <i>Ocean Thermal Energy Conversion</i>)	20
2.7 Geotermalna energija	21
2.8 Biomasa	23
2.9 Vetroelektrane	25
3. ZAŠTITA NA RADU I ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE	28
3.1. Moguće opasnosti po zdravlje i sigurnost radnika pri radu na vetroelektranama	28
3.2. Primena mera bezbednosti i zaštite na radu prilikom izvođenja radova na vetroelektranama	33
3.3. Sprovođenje mera bezbednosti i mera lične zaštite pri radu na visini u vetroelektranama	35
3.4. Primena mera za smanjenje negativnog uticaja vetroelektrana na životnu sredinu	39
4. ENERGIJA VETRA	43
4.1. Osnovne primene energije vetra	45
4.2. Karakteristike vetroelektrana	48
5. MONTIRANJE I DEMONTIRANJE ELEKTROENERGETSKE OPREME U VETROELEKTRANAMA	73
5.1. Priprema terena za montažu elektroenergetske opreme u vetroelektranama	73
5.2. Montiranje i demontiranje montažne konstrukcije opreme u vetroelektranama	76
5.3. Montiranje/demontiranje i povezivanje elektroenergetske opreme u vetroelektranama	81
5.4. Odabir zaštitnih sredstava i opreme za radove na montiranju i demontiranju elemenata vetroelektrane	86
6. IZVOĐENJE ELEKTRIČNIH INSTALACIJA VETROELEKTRANA	90
6.1. Vrste i osnovni elementi električnih instalacija vetroelektrana	90
6.2. Montiranje kablovskih konstrukcija i polaganje kablova električnih instalacija vetroelektrana	91
6.3. Montiranje razvodnih i komandnih tabli, ormara i pultova električnih instalacija vetroelektrana	97
6.4. Povezivanje elektroinstalacijskih elemenata u razvodnim i komandnim tablama, ormarima i pultovima	103
6.5. Izvođenje instalacije uzemljenja i gromobranske zaštite vetroelektrana	104
6.6. Merenje i kontrola performansi komponenti vetroturbina	107
7. ODRŽAVANJE OPREME I MONITORING U VETROELEKTRANAMA	108
7.1. Vrste održavanja i aktivnosti pri održavanju vetroelektrana	108
7.2. Radovi preventivnog održavanja elemenata vetroelektrana	110
7.3. Radovi korektivnog održavanja elemenata vetroelektrana	112
7.4. Radovi održavanja električnih instalacija vetroelektrana	114
7.5. Prikupljanje, obrada i čuvanje podataka u vetroelektranama	116
8. ZAKLJUČAK I PREPORUKE	119
Literatura i korišćeni izvori	120
Organizacije i standardizacijski izvori:	121
Sajtovi sa kojih su preuzete slike:	121
Linkovi za predloženi video materijal	122

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 nemačkog 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 vetroelektranama. Kroz jasno objašnjene teorijske osnove, korisnici će razumeti ključne principe rada vetroturbina, njihove komponente i način funkcionisanja, što predstavlja osnovu za praktičnu primenu.

Priručnik je prvenstveno namenjen učenicima srednjih škola i polaznicima programa za obrazovanje odraslih te nastavnika u oblasti obnovljivih izvora električne energije. Priručnik se može koristiti i od strane nadležnih ministarstava i obrazovnih agencija, kompanija uključenih u praktično obrazovanje, trening centara, privatnih institucija koje rade u oblasti obnovljive energije, instruktora praktičnog obrazovanja, ali i ostalih zainteresovanih strana.

Materijal je usaglašen među ekspertima iz oblasti obnovljivih izvora električne energije i obrazovanja iz šest ekonomija: Albanije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Kosova^{*1}, Severne 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 cenjene, otvarajući nove mogućnosti za profesionalni razvoj i zapošljavanje. Industrija vetroenergije beleži stalni rast, a potražnja za stručnjacima u ovoj oblasti raste iz godine u godinu. Prema podacima iz 2025. godine, globalna industrija vetroenergije zapošljava više od 1,4 miliona ljudi, s projekcijama da će taj broj značajno rasti u narednim decenijama. Prema budućim procenama, sektor vetroenergije 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 vetroelektranama. Kroz jasno strukturisane teorijske osnove i detaljne praktične smernice, učenici/polaznici će biti u mogućnosti da:

- Instaliraju i povezuju električne komponente vetroturbina uz poštovanje tehničkih i bezbednosnih standarda, čime osiguravaju pouzdan i siguran rad sistema.
- Održavaju elektroenergetsku infrastrukturu vetroelektrana, čime se produžava vek trajanja sistema i povećava efikasnost.
- Prepoznaju i rešavaju 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 da prepoznaju mogućnosti, predlažu rešenja i unapređuju primenu vetroenergije u različitim kontekstima. Time se dodatno osnažuju za aktivno učešće u razvoju industrije obnovljivih izvora energije.

¹ Ovaj naziv je bez prejudiciranja statusa i u skladu je sa Rezolucijom Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija 1244/1999 i Mišljenjem Međunarodnog suda pravde o Deklaraciji o nezavisnosti Kosova.

Pored sticanja teorijskih osnova i praktičnih znanja, učenicima/polaznicima se pruža uvid u najnovija dostignuća i primere iz prakse, uključujući realizacije koje demonstriraju visok nivo uspeha u primeni vetroenergije. Kroz ove primere, korisnici će razviti dublje razumevanje potencijala vetroelektrana.

Cilj priručnika je inspirisati učenike/polaznike da doprinesu razvoju i širenju vetroenergetskih rešenja te njihovoj primeni u najrazličitijim sektorima društva.

Na kraju, priručnik predstavlja osnovu za sticanje kvalifikacija koje su visoko cenjene na tržištu rada. S obzirom na stalni rast sektora obnovljivih izvora energije, veštine instalacije i održavanja elektroenergetske opreme u vetroelektranama 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.

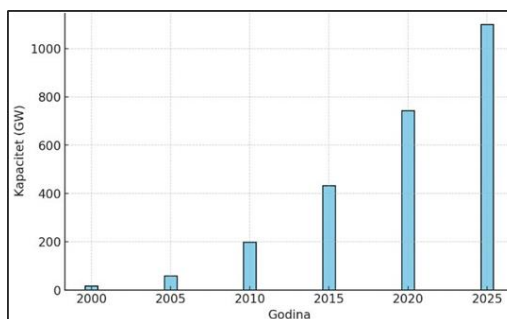
1.2. Značaj i primena energije vetra

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

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

Ključne prednosti energije vetra su:

- **Dugoročni neiscrpní potencijal:** Energija vetra je prirodan i obnovljiv izvor energije, dostupan širom sveta, posebno u priobalnim i brdskim područjima, gde su vetrovi najintenzivniji i najkonstantniji.
- **Ekološka održivost:** Vetroelektrane proizvode energiju bez emisije štetnih gasova i drugih zagađujućih materija, čime direktno doprinose smanjenju ugljeničnog otiska i borbi protiv



Grafikon: Rast kapaciteta vetroelektrana

klimatskih promena. Njihov rad ne zahteva sagorevanje fosilnih goriva, što ih čini ključnim faktorom u zaštiti životne sredine i održivom razvoju.

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

Energija vetra ima široku primenu u proizvodnji električne energije. Najčešće se koristi putem vetroturbina koje kinetičku energiju vetra pretvaraju u električnu energiju pomoću generatora. Vetroelektrane se mogu podeliti na kopnene (*onshore*) i priobalne (*offshore*) sisteme. Kopnene vetroelektrane su već dugo u upotrebi širom sveta, dok priobalne vetroelektrane, zahvaljujući stabilnijim i jačim vetrovima na moru, predstavljaju sve značajniji izvor električne energije, naročito u razvijenim elektroenergetskim mrežama.



Prikaz vetroparka

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

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

Sa svojim ekološkim prednostima, ekonomskom održivošću i konstantnim razvojem tehnologije, energija vetra predstavlja ključni element globalnog prelaska na održivu energetiku. Njena sve šira primena doprinosi smanjenju zavisnosti od fosilnih goriva, povećanju energetske efikasnosti i ublažavanju negativnih posledica klimatskih promena. U budućnosti, vetroelektrane će igrati još značajniju ulogu u globalnom energetskom miks, omogućavajući održiv i pouzdan izvor električne energije za naredne generacije.

1.3. Struktura priručnika

Priručnik za instaliranje i održavanje elektroenergetske opreme u vetroelektranama je osmišljen kao sveobuhvatan vodič koji pokriva sve ključne aspekte instalacije odnosno montiranja i demontiranja opreme, kao i održavanja. Prezantovani 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 primenu stečenih znanja u praksi.

Priručnik se sastoji od Uvoda i sedam Poglavlja posvećenih razradi problematike koja je predmet Priručnika. 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 energije vetra i njene primene.

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

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

Poglavlje 4, Energija vetra, sa teorijskog aspekta objašnjava vrste vetroagregata i vetroelektrana, njihov princip rada i elemente.

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

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

Poglavlje 7, Održavanje opreme i monitoring u vetroelektranama, opisuje procedure preventivnog i korektivnog održavanja, postupke za njihovo sprovođenje i monitoring u vetroelektranama.

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

Na kraju Priručnika dat je pregled Literature i korisnih izvora sa spiskom korišćenih izvora i dodatnih materijala koji mogu biti korisni za dublje razumevanje tematskih oblasti vetroelektrana.

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 svetlosti, 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 (hemijska u toplotnu, toplotna u mehaničku...).

U današnje vreme 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 tela na drugo.

U prirodi, energija se pojavljuje u različitim oblicima:

- **Potencijalna energija** – energija uskladištena zbog položaja tela u odnosu na druge objekte (npr. voda u akumulaciji, opruga pod naponom).
- **Kinetička energija** – energija kretanja tela. Sve što se kreće poseduje kinetičku energiju (npr. vetar, automobil pokretu).
- **Hemijska energija** – energija uskladištena u hemijskim vezama između atoma (npr. energija iz hrane, goriva, baterija).
- **Električna energija** – energija koja nastaje usled kretanja ili rasporeda električnih naelektrisanja.
- **Toplotna energija** – energija koju telo poseduje zbog svoje temperature, odnosno nasumičnog kretanja i sudaranja njegovih čestica (npr. ugrejani metal, ključala voda, vazduh zagrejan Sunčevim zračenjem).
- **Nuklearna energija** – energija oslobođena promenama u atomskim jezgrima, bilo cepanjem (fisijom) teških jezgara ili spajanjem (fuzijom) lakih jezgara (npr. energija iz nuklearnih elektrana, reakcija u Suncu).
- **Elektromagnetna energija** – energija zračenja koja obuhvata svetlost, 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 primeni 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, grejanje, pokretanje raznih mašina, napajanje komunikacionih uređaja. Praktično, nema segmenta ljudske delatnosti gde se ne koristi električna energija.

Primena električne energije ima velike prednosti nad ostalim oblicima energije:

- Izvori električne energije mogu biti udaljeni od mesta korišćenja 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, svetlosnu, mehaničku...).

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

PODELA	KRITERIJUM ZA PODELU
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 podeliti na obnovljivu energiju i neobnovljivu energiju.



Pod pojmom neobnovljivih izvora energije podrazumevaju se fosilna goriva: ugalj, 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 čovekove okoline. Sagorevanje fosilnih goriva, naročito onih baziranih na nafti i uglju, predstavlja najverovatniji uzrok globalnog zagrevanja. Promena klimatskih uslova predstavlja jednu od najozbiljnijih opasnosti za Zemljin ekološki sistem.

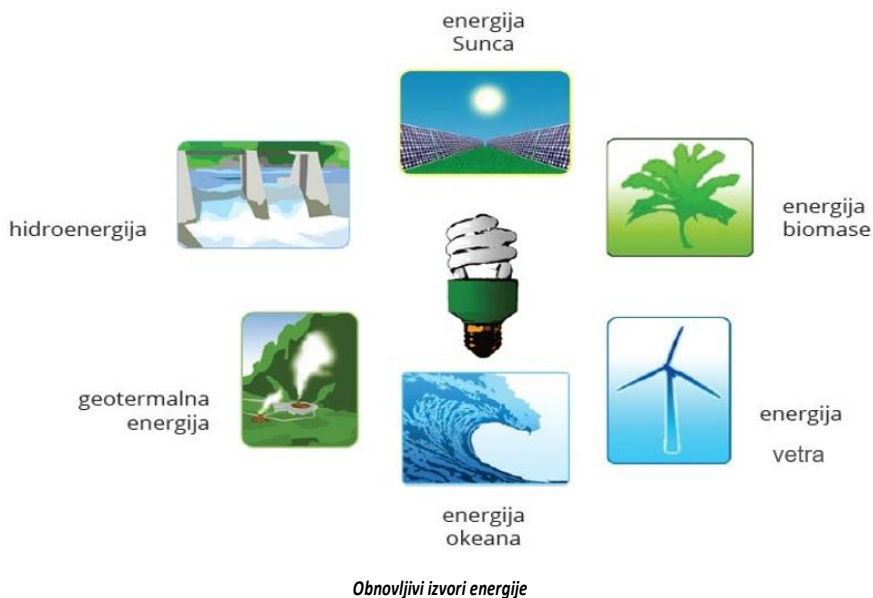
Primena nuklearne energije predstavlja uslovno čistu tehnologiju, ali u slučaju havarija može doći do izuzetno velikih zagađenja sa ogromnim posledicama na čoveka i životnu okolinu. Takođe, veliki problem predstavlja i problem odlaganja radioaktivnog otpada.

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:

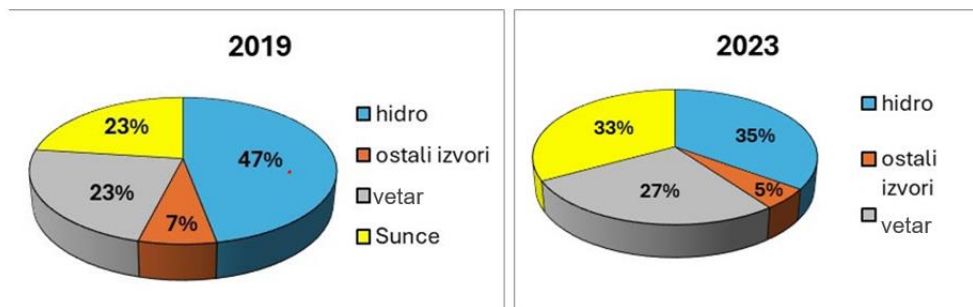
- **Sunčevo zračenje** – primarni izvor energije za gotovo sve procese na Zemlji. Sunčeva energija dolazi u obliku elektromagnetnog zračenja, od kojih deo dospeva do površine planete, dok se ostatak apsorbira ili reflektuje u atmosferi. Intenzitet Sunčevog zračenja zavisi od geografskog položaja, doba godine i atmosferskih uslova.
- **Energija vetra** – nastaje kao rezultat neravnomernog zagrevavanja Zemljine površine i rotacije planete, što stvara razlike u pritisku i dovodi do kretanja vazдушnih masa. Brzina i pravac vetra zavise od geografskih i karakteristika klimatskih uslova.
- **Vodne snage (hidroenergija)** – energija vode koja potiče iz hidrološkog ciklusa, gde Sunčevo zračenje uzrokuje isparavanje, kondenzaciju i padavine, omogućavajući neprekidan tok reka i obnavljanje vodenih resursa. Snaga vodenih tokova zavisi od nadmorske visine, nagiba terena i količine padavina.
- **Biomasa** – organska materija biljnog i životinjskog porekla, 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 Meseca i Sunca, dok morski talasi nastaju delovanjem vetra 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 beleže 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 usmereno 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 vetra – ključnog izvora energije za tehnologiju pretvaranja kinetičke energije vetra u električnu energiju – biti obrađena u narednim poglavljima ovog priručnika.

2.1 Solarna energija

Solarne elektrane pretvaraju Sunčevu energiju u električnu.

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

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

Pri prolasku kroz atmosferu deo energije se troši u složenim procesima, a deo se reflektuje i reemituje u svemir. Taj deo iznosi oko 1/3 energije koja je dospela na ivicu atmosfere, tako da dotok energije do površine Zemlje iznosi prosečno 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 zagrejava. Zagrejana tečnost ide u izmenjivač toplote, predaje toplotu vodi odnosno vodenj pari. Dalji proces je identičan onome u klasičnim termoelektranama.

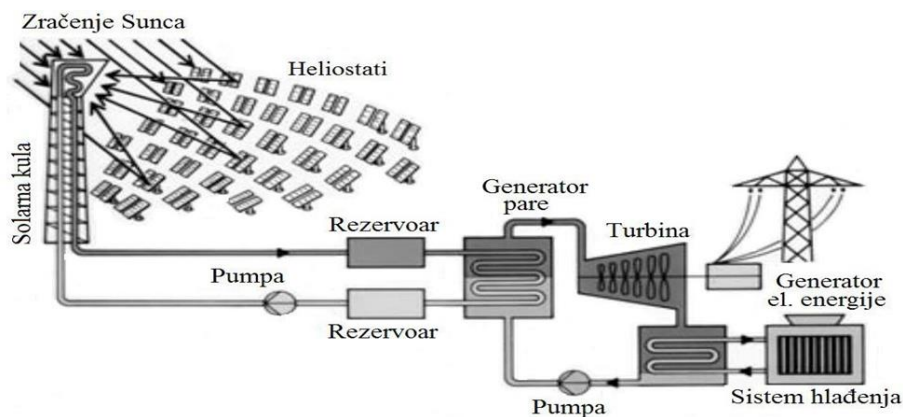


Solarna elektrana PS10 u Španiji

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.

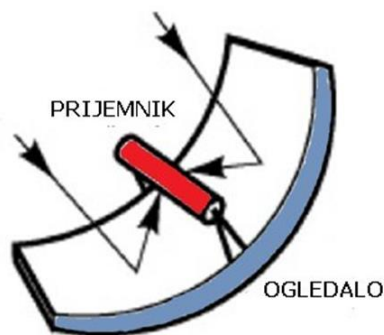
Solarne termoelektrane sa solarnim tornjem koriste polje heliostata.

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



Princip rada solarne termoelektrane sa heliostatima

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



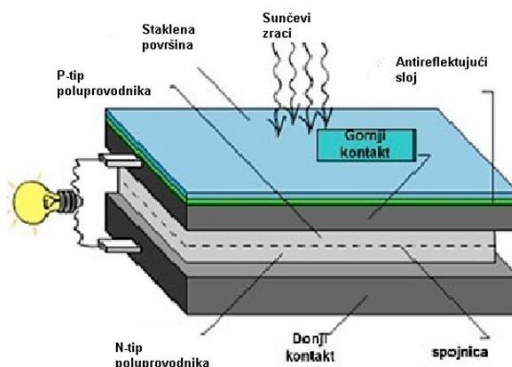
Parabolični kolektori

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. Prednost ovog postrojenja je dug rok trajanja i jednostavno rukovanje, uz minimalne potrebe za održavanjem, jer postrojenje nema pokretnih delova.

Loša strana svih solarnih elektrana je što ne postoji kontinuitet u proizvodnji energije jer noću kada nema Sunca nema ni proizvodnje električne energije.

Kada čestice svetlosti (fotoni) padnu na atom silicijuma dolazi do izbijanja elektrona iz kristalne rešetke. Usled 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 dve 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 spoljnom potrošaču. S donjim kontaktnim slojem zatvara se električni krug.





Polje fotonaponskih ćelija

2.2 Vodne snage (hidroenergija)

Vrste iskoristivog hidroenergetskog potencijala su akumulacije, vodotokovi reka 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 merenje hidroenergetskih parametara su merač protoka za protok, altimetri ili laserski merači visine za visinu 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 vladaju na vodotoku), kao i
- specifičnim zahtevima (plovnost reke, navodnjavanje, biološki zahtevi za vodotok...).

S obzirom na način korišćenja vode postoje sledeće vrste hidroelektrana:

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

Posebne vrste hidroelektrana su:

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

Prilikom projektovanja HE ne treba imati u vidu samo energetske korišćenje vode, nego i zahteve poljoprivrede (navodnjavanje, odvodnjavanje), snabdevanje 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 reke ili jezera dolazi pomoću sistema kanala ili cevi do vodenih turbina;
- 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 rekama, potocima, raznim kanalima, pa čak i sistemima za navodnjavanje. U njima se energija ovih vodotoka pretvara u korisnu energiju, čime se obezbeđuje relativno čista i pouzdana proizvodnja električne energije.

Male hidroelektrane su pretežno protočne elektrane, pa stoga i ne zahtevaju značajne zemljane i građevinske radove i investicije koje obično zahteva izgradnja velikih brana i akumulacija. Osnovna razlika između velikih i malih hidroelektrana je u instaliranoj snazi, pri čemu je granična snaga koja deli 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 poslednje vreme najčešće se kao standard prihvata vrednost ukupnog instaliranog kapaciteta do 10 MW (prihvaćen u EU – ESHA).

Mala hidroelektrana nije jednostavno samo smanjena verzija velike hidroelektrane. Da bi se zadovoljili osnovni zahtevi koji se pred nju postavljaju, za njenu izgradnju potrebni su specifična oprema i uređaji, pre svega u pogledu jednostavnosti, visine investicija i troškova rada i održavanja, načina rada, maksimalne pouzdanosti i sigurnosti, kao i jednostavnom korišćenju i održavanju od strane lica koja nisu specijalizovana za te poslove. Principijelna šema male hidroelektrane prikazana je na slici.



Najčešći raspored osnovnih elemenata male hidroelektrane

2.3 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 doprineti energetske stabilnosti jer koriste prirodne procese koji su stalni i predvidivi, smanjujući zavisnost od fosilnih goriva. Međutim, njihova široka primena 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.

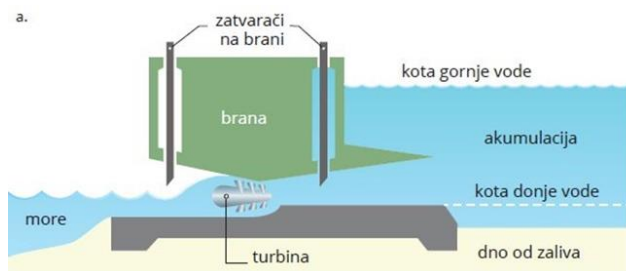
Elektrane koje koriste energiju plime i oseke (obnovljivi izvor energije) za pogon turbina, predstavljaju posebnu vrstu akumulacionih hidroelektrana. Plima i oseka (morske mene) nastaju pod dejstvom Sunca i Meseca na vodu u morima i okeanima. Morske mene su periodično dizanje (plima) i spuštanje (oseka) morske i okeanske površine, praćeno premeštanjem velikih vodenih masa, a prouzrokovano gravitacionom silom kojom Mesec i Sunce deluju na vodene mase, u kombinaciji sa rotacijom Zemlje..

Zbog toga što promene 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 nesu 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.

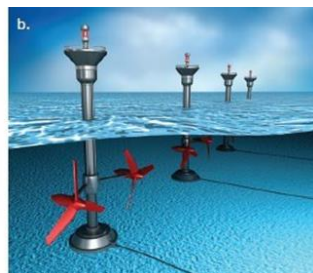
Tehnologija koja se koristi za konverziju veoma je slična tehnologiji koja se koristi u konvencionalnim hidroelektranama. Međutim, elektrane na plimu i oseku ne mogu raditi neprekidno, već samo u periodima kada se javljaju plima i oseka.

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

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



a) Plimna brana



b) Plimni tokovi

Kod plimnih brana, brana služi za sprečavanje ulaska vode u bazen/akumulaciju, kao 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 smera toka vode.

Plimni tokovi su velike količine vode koje teku okeanima usled promene položaja vode – gibanja plime i oseke. Taj efekat se najčešće primećuje u plitkim delovima gde postoje prirodna suženja na kojima se brzina vode značajno povećava. Sama tehnologija korišćenja ove energije slična je tehnologiji za pretvaranje energije vetra, uz neke bitne razlike. Nažalost, ta tehnologija je još u svojim začetima, dosta je skupa i dostupna je samo u razvijenim zemljama.

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



Primer razlike plime i oseke



Elektrana La Rance

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

2.4 Energija morskih struja

Elektrana električnu energiju stvara pomoću morskih strujanja – funkcioniše kao neka vrsta podvodne vetrenjače. Pred jugozapadnom obalom Engleske je već postavljeno takvo probno postrojenje. Da bi se mogla iskoristiti strujanja u oba smera, krila rotora se mogu rotirati za 180°.

Elektrana se sastoji od tri glavne komponente: 50 metara visokog tornja koji služi kao stub na kojem je postrojenje montirano, „pogonske prostorije“ 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

2.5 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 delovanje vetra (posledica dejstva Sunca) na površinu mora i okeana. Pošto se snaga talasa razlikuje od dnevnih mena 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 smer kretanja talasa. Ona može iznositi i 10kW/m^2 , ali biti i oko nule. Na primer, za područje severnog Atlantika, na otvorenom moru između Škotske i Islanda, u 50 posto vremena, snaga talasa je 3.9kW/m^2 ili veća.

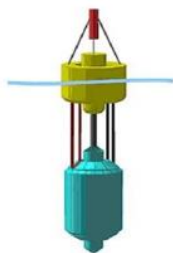
Energija talasa se može iskoristiti putem površinskih i podvodnih uređaja, kao i pomoću rezervoara.

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

Plutajući
plovak

Povezne šipke

Potopljeni
cilindar



Prenosnik
snage



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. Primer: *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

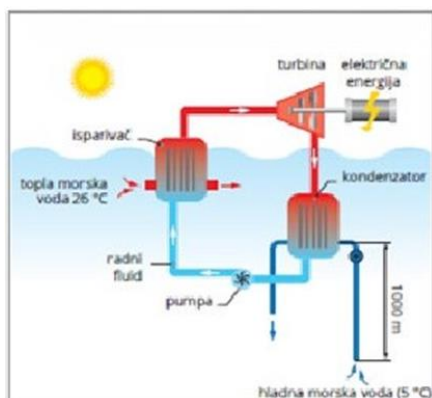
Podvodni uređaji – se kreću od balonskih predmeta pričvršćenih za dno okeana do dugih cevi koje se protežu velikom dužinom. Kada talasi prouzrokuju njihovu oscilaciju oni pokreću turbinu i stvaraju električnu energiju.



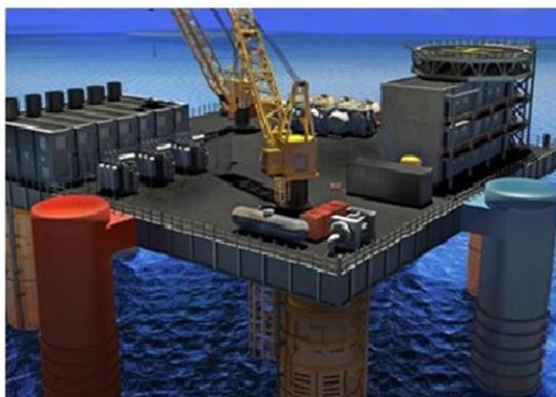
Podvodni uređaji

2.6 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 °C, što ovaj izvor energije čini značajnim potencijalom. OTEC elektrane mogu raditi 24 sata dnevno tokom cele 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 izmenjivač 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, gde deo 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 istovremeno deo vode u otvorenom ciklusu direktno isparava pod niskim pritiskom.

2.7 Geotermalna energija

Geotermalna energija je obnovljivi izvor energije koji potiče iz unutrašnjosti Zemlje i nastaje kao posledica 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 stena dostiže 600°C do 1200°C. Ova toplota konstantno struji prema površini i može se iskoristiti za proizvodnju električne energije, grejanje objekata i industrijske procese.

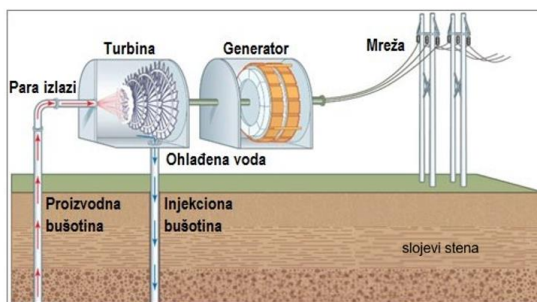
Geotermalna energija ima široku primenu, od direktnog grejanja prostora i industrijskih postrojenja do proizvodnje električne energije u geotermalnim elektranama.

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:

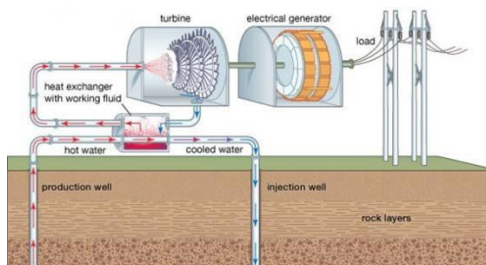
Elektrane na suvu paru – koriste najstariji način pretvaranja geotermalne energije u električnu. Para iz unutrašnjosti Zemlje direktno se dovodi do turbine, koja pokreće generator. Ovaj tip elektrane prvi put je primenjen 1904. godine u Toskani, Italija. Danas se retko koriste zbog specifičnih geoloških 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 gde 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 zagrejala 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 zagrevavanje druge tečnosti do tačke ključanja kada se ona pretvara u paru i pokreće turbinu. Ove elektrane su posebno pogodne za područja sa umerenim 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 primena geotermalne energije

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

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

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

Prednosti geotermalne energije

- Geotermalna energija je obnovljivi izvor energije ukoliko se rezervoarom 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 zahtevaju manje površine nego što je to slučaj sa termoelektranama, solarnim elektranama ili vetroelektranama.

2.8 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 primeri materijala koji sačinjavaju biomasu su – otpadna građa, šumski ostaci, određeni usevi, đubrivo i neke vrste otpada.

Uz konstantno snabdevanje 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 uvek 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.

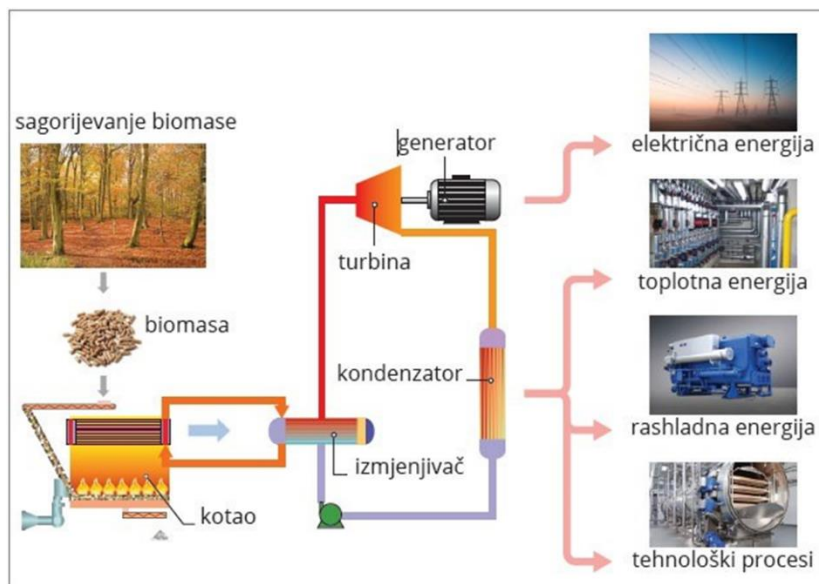
Kada se sagoreva, energija biomase se oslobađa u vidu toplote. Ako imate kamin, već učestvujete u upotrebi biomase, jer je drvo koje gori zapravo biomasa.

U elektranama na biomasu otpadno drvo ili drugi otpad sagoreva kako bi se proizvela para koja pokreće turbinu za proizvodnju električne energije ili koja obezbeđuje 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.

Preusmeravanje otpada na postrojenja za proizvodnju energije na biomasu umesto 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 iskorišćava toplotu nastalu sagorevanjem biomase za proizvodnju pare ili zagrevanje 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, deo toplote može se iskoristiti za grejanje vode i različite tehnološke procese, što obezbeđuje efikasnije iskorišćavanje raspoložive energije.
- Kogeneracijska postrojenja na biomasu istovremeno proizvode električnu i toplotnu energiju. Toplota koja bi se u klasičnim elektranama gubila kroz kondenzatore, ovde se koristi za grejanje prostora, pripremu tople vode ili industrijske procese. Na taj način, uz minimalne gubitke, znatno se povećava efikasnost postrojenja i optimizuje iskorišćavanje 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 vodenoparnim postrojenjima, ORC postiže bolju iskorišćenost energije iz biomase, posebno kada se radi o nižim temperaturama sagorevanja ili ograničenim količinama toplote.



Šematski prikaz ORC sistema na biomasi

Osim početnih troškova za pokretanje postrojenja, postoje dodatni troškovi povezani sa vađenjem, transportom i skladištenjem biomase pre 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 mesta poput plime, Sunce, vetra.

Ukupni troškovi u velikoj meri 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 zahteva bušenje u zemlji, što nosi veliko smanjenje novčanih troškova i povećanje čistoće ekstrakcije.

2.9 Vetroelektrane

Vetroelektrane su sistemi koji se sastoje od više vetroagregata povezanih u jedinstvenu celinu. Mogu biti manje, sa nekoliko agregata za lokalnu potrošnju, ili velike, sa desetinama, pa i stotinama vetroagregata smeštenih na odgovarajućim lokacijama. Prema položaju, dele se na:

- Kopnene (onshore) vetroelektrane – postavljaju se na kopnu, na ravničarskim ili brdskim područjima s povoljnim vetrovima. Karakteriše ih lakša izgradnja i održavanje, ali i niži prosečni intenzitet vetra u odnosu na morske vetroelektrane.
- Morske (offshore) vetroelektrane – grade se na morima i okeanima, najčešće na plitkim priobalnim područjima, gde su vetrovi jači i stabilniji. Iako omogućavaju veću proizvodnju energije, njihova gradnja i održavanje su tehnički zahtevniji i skuplji.
- Vetroelektrane na planinskim prevojima – postavljaju se na povišenim terenima, gde se vetar usled orografskih efekata ubrzava, što omogućava efikasnije iskorišćenje energije.
- Vetroelektrane u pustinjama – koriste stabilne, suve klimatske uslove s konstantnim vetrovima, iako je problem peščana erozija i specifična zaštita oprema.



Primeri različitih vrsta vetroelektrana

Hibridne vetroelektrane

Hibridne vetroelektrane kombinuju energiju vetra 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, gde je neophodna stabilnost napajanja bez oslanjanja na centralizovanu mrežu. Hibridni sistemi se često koriste i na modernim jedrenjacima sa integrisanim pogonskim rešenjima, čime se povećava energetska efikasnost i smanjuje potrošnja goriva.

Razvoj vetroenergetskih sistema značajno je unapredio iskorišćenje energije vetra u različitim sektorima. Vetroagregati, vetroelektrane i vetroturbine za specijalne namene omogućavaju sve širu primenu ovog obnovljivog izvora energije, čime se doprinosi energetskej stabilnosti i smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu.



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

Iako se danas novi izvori energije koriste za proizvodnju samo malog dela ukupne svetu potrebne energije, zbog mnogobrojnih prednosti njihovog korišćenja ovaj udeo 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 udela obnovljivih izvora energije povećava energetskej održivost sistema jedne zemlje, kao i njenu ekonomsku i državnu nezavisnost. U isto vreme pomaže u poboljšanju sigurnosti dostave energije i tako smanjuje zavisnost od uvoza energetskih sirovina, goriva kao i električne energije.
- U dogledno vreme 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 svest stanovništva, kao i politička volja za investiranje u postrojenja za proizvodnju tzv. čiste ili zelene energije.



VEŽBA

Istraživački rad – Analiza energetskih 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 vetroelektranama

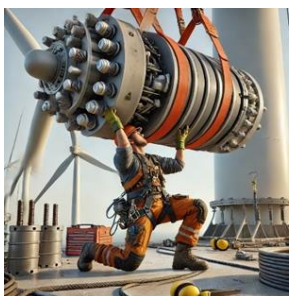
Rad u okruženju vetroelektrana podrazumeva izlaganje različitim faktorima radne sredine koji mogu negativno uticati na zdravlje i sigurnost radnika.

Faktori radne sredine: ekstremne temperature (visoke i niske), relativna vlažnost, vetar, Sunčeva svetlost, buka, vibracije, loša podloga, rad na visini, teški tereti, dugotrajan nepravilan položaj tela, 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 izloženošću Sunčevoj svetlosti, mogu dovesti do toplotnog udara, dehidracije i opekotina, dok niske temperature povećavaju rizik od smrztina i hipotermije. Relativna vlažnost vazduha dodatno utiče na osećaj temperature i može otežati termoregulaciju organizma. Snažan vetar, koji je karakterističan za područja u kojima se nalaze vetroelektrane, ne samo da otežava izvođenje radova već može izazvati gubitak ravnoteže, naročito pri radu na visini.



Vremenske neprimike



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 vetroelektrana. Radnici često moraju obavljati zadatke na stubovima i gondolama vetroturbina, gde 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-koštano sistema i može dovesti do povreda kičme i zglobova.

Dugotrajan nepravilan položaj tela 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 delova pod naponom, približavanje delovima uređaja pod visokim naponom, previsoki napon dodira i koraka, električni luk, indukovani napon, zaostali napon, statički elektricitet, uticaj električnog i magnetnog polja, atmosferski prenaponi i dr.

Direktni dodir sa delovima 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 vrednost napona dodira koja je opasna po život i zdravlje čoveka i ona iznosi 50 V za naizmeničnu (za 50 Hz) odnosno 120 V za jednosmernu struju. Veće vrednosti napona dodira povećavaju rizik od elektrošoka, fibrilacije srca i toplotnih oštećenja tkiva, zavisno od trajanja izloženosti i električne otpornosti tela. 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 uvek je predmet istraživanja, ali se smatra da dugotrajna izloženost može izazvati zdravstvene tegobe. Prisustvo atmosferskih prenapona, naročito tokom olujnog nevremena, dodatno povećava rizik od udara groma i oštećenja električne opreme.



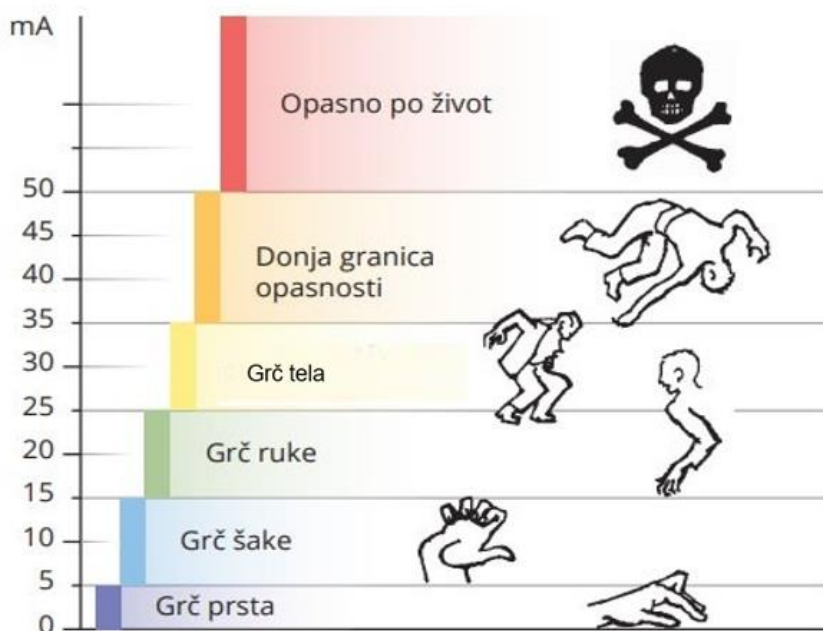
VIDEO

Napon koraka i dodira:

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

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

Na slici je prikazano delovanje električne struje na čovečje telo, gde su dati i efekti koji se pri tome javljaju i koji zavise od jačine struje.



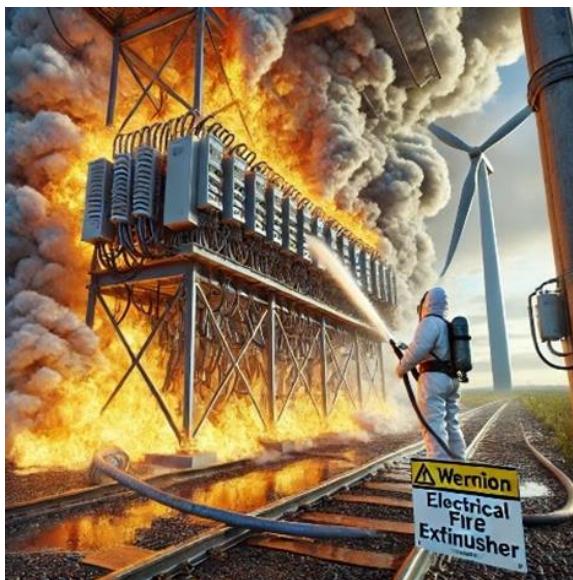
Delovanje električne struje na čovečije telo

Pored električnih opasnosti, prisustvo opasnih materija i hemikalija u radnom okruženju može uzrokovati trovanja, iritacije kože i oči, kao i respiratorne probleme. U pojedinim segmentima rada koriste se različiti hemijski preparati koji, ukoliko nisu pravilno skladišteni i rukovani, mogu izazvati teške posledice 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 pretnju po sigurnost radnika, jer se u elektroenergetskim postrojenjima često javljaju usled 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 delovima 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 posledica 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. Posledice 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 reč o niskom ili visokom naponu. Prvi korak je isključenje napona u delu 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 klešta prilagođenih tom naponu. Spasilac mora stajati na suvoj podlozi i izbegavati dodir sa zidovima ili drugim osobama. Ni u kom slučaju unesrećeni ne sme biti dodirnut direktno.

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



Oslobađanje nesrećenog usled strujnog udara

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

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

O svakoj nesreći odmah obavestiti zdravstvenu ustanovu.

Sigurnost radnika u vetroelektranama zavisi od pravilne primene propisanih mera zaštite na radu, korišćenja odgovarajuće zaštitne opreme i kontinuirane obuke. Svest o potencijalnim opasnostima i poštovanje preventivnih mera ključni su faktori u sprečavanju nesreća i osiguravanju bezbednog radnog okruženja.

3.2. Primena mera bezbednosti i zaštite na radu prilikom izvođenja radova na vetroelektranama

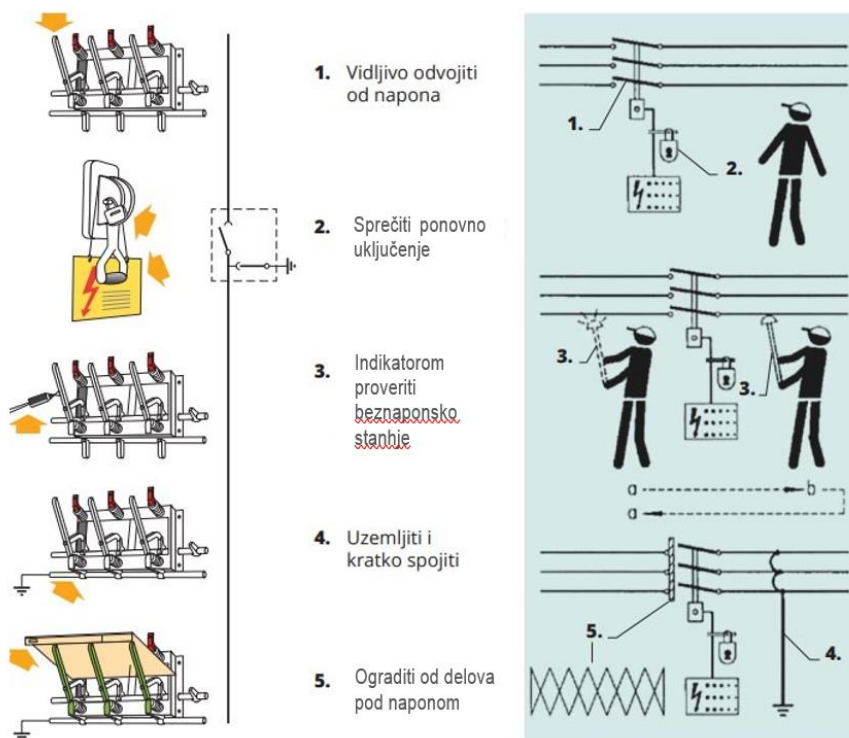
Prilikom izvođenja radova na vetroelektranama, ključna je primena mera bezbednosti i zaštite na radu kako bi se smanjili rizici od povreda i nesreća. Načini rada u odnosu na prisustvo napona dele se na radove u beznaponskom stanju, radove u blizini napona i radove pod naponom. Radovi u beznaponskom stanju podrazumevaju potpuno isključenje napajanja uz sprovođenje propisanih mera zaštite kako bi se sprečilo nenamerno ponovno uključenje. Radovi u blizini napona zahtevaju dodatne mere opreza, uključujući upotrebu zaštitnih barijera i sigurnosnih odstojanja. Radovi pod naponom izvode se uz posebne tehničke i organizacione mere, kao i upotrebu specijalizovane opreme i izolacionih alata.

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

Mere bezbednosti pri radu temelje se na primeni “pet zlatnih pravila” sigurnosti, koja uključuju isključenje napona, osiguranje od ponovnog uključanja, proveru 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 sprečio nenamerni kontakt sa delovima pod naponom. Postavljanje ograda, traka i oznaka upozorenja dodatno doprinosi bezbednosti radnog prostora.

Mere bezbednosti:

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



Pet zlatnih pravila

Pre početka radova neophodno je proveriti 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 obeležavanje i obezbeđivanje radnog prostora, uključujući zaštitne ograde, trake za obeležavanje 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 odeća, zaštitna obuća, sigurnosni pojasevi i oprema za rad na visini.



3.3. Sprovođenje mera bezbednosti i mera lične zaštite pri radu na visini u vetroelektranama

Pri izvođenju radova na visini u vetroelektranama, radna mesta obuhvataju različite lokacije, kao što su stubovi vetroturbina, pristupne platforme, gondole te specijalno uređeni pristupni sistemi. Ove lokacije zahtevaju posebnu pažnju zbog specifičnih opasnosti, budući da radnici deluju 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

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

Prilikom izvođenja radova na visini, neophodno je temeljno evidentirati faktore radne sredine. Na primer, prilikom inspekcije jedne vetroturbine, radnici trebaju obratiti pažnju na vremenske uslove – brzinu i smer vetra, temperaturu i mogućnost padavina – kao i na stanje radne površine, uključujući stabilnost pristupnih platformi i eventualne prepreke koje mogu uticati na sigurnost. Detaljno evidentiranje ovih faktora omogućava da se na vreme prepoznaju potencijalni rizici i preduzmu adekvatne mere zaštite.

Sprovođenje mera bezbednosti za sigurno obavljanje radova na visini podrazumeva implementaciju svih propisanih sigurnosnih procedura. To uključuje postavljanje zaštitnih ograda i barijera na radnim mestima, upotrebu sistema za zaštitu od pada, osiguranje radnih mesta korišćenjem sigurnosnih pojaseva, anker tačaka 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: Primena mera bezbednosti i zaštite na radu prilikom izvođenja radova na vetroelektranama:

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



VIDEO

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

Upotreba zaštitne opreme:

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



PRAKTIČNA VEŽBA

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.
 - Proveriti da su svi pojasevi dobro podešeni i osigurani pre početka simulacije.
 - Pričvrstiti sigurnosni pojas za anker tačku koristeći odgovarajuću karabinersku kopču.
 - Osigurati da je anker tačka stabilna i da može podneti opterećenje.
2. Planiranje evakuacije
 - Komunicirati s članovima tima i uspostaviti plan evakuacije.
 - Odrediti uloge: jedna osoba zadužena za komunikaciju s bazom, druga za proveru opreme.
3. Simulacija hitne situacije
 - Po instrukciji instruktora, simulirati hitnu situaciju (pad ili potrebu za evakuacijom).
 - Koordinisano slediti evakuacioni plan:
 - Obavestiti tim.
 - Osigurati mesto evakuacije.
 - Sprovesti postupak spuštanja ili izvlačenja radnika.
4. Analiza simulacije
 - Nakon završetka vežbe, analizirati postupak evakuacije.
 - Identifikovati moguće greške ili oblasti za poboljšanje.
 - Diskutovati s instruktorom i timom kako bi se poboljšala brzina i efikasnost reakcije.



PRAKTIČNA VEŽBA

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.
 - Proveriti stanje mreže i pričvrstnih 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, primeniti odgovarajuću tehniku evakuacije unesrećenog radnika.
 - Pravilno pričvrstiti sigurnosne pojaseve spašenog radnika i osigurati ga, dok ga tim ne spusti na sigurno mesto.
4. Analiza postupka spašavanja
 - Diskutovati o svim izazovima tokom simulacije.
 - Evaluirati efikasnost reakcije i sigurnost svih uključenih članova tima.

3.4. Primena mera za smanjenje negativnog uticaja vetroelektrana na životnu sredinu

Očuvanje životne sredine predstavlja jedan od ključnih aspekata pri izgradnji i eksploataciji vetroelektrana. 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.

Vetroelektrane mogu imati višestruke negativne uticaje na životnu sredinu. Pre svega, izgradnja vetroparkova može dovesti do degradacije staništa i promena u pejzažu, što može uticati na biljni i životinjski svet. Takođe, rotirajuće lopatice vetroturbina predstavljaju rizik za ptice i slepe miševe, naročito u migracionim koridorima. Buka koju proizvode turbine može negativno uticati na životinjske vrste i lokalne zajednice. Pored toga, elektromagnetne interferencije koje nastaju kao posledica rada elektrana mogu uticati na komunikacione sisteme i radarske uređaje. Danska kompanija *Vestas* razvila je lopatice sa nazubljenim ivicama inspirisanim perem 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 vetroelektrana na životnu sredinu, neophodno je sprovesti niz mera. Pravilno planiranje lokacija vetroelektrana 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 meru.

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



Zaustavljanje vetroturbine u toku migracije ptica

Reciklaža vetroagregata i druge opreme vetroelektrana nakon isteka njihovog životnog veka 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.

Procenjuje se da će do 2050. godine 43 miliona tona lopatica vetroturbina završiti svoj životni vek, 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 vek trajanja vetroagregata je 20–30 godina, a globalni kapaciteti vetroelektrana brzo rastu. Da bi se postigla energetska neutralnost do 2050. godine, potrebno je značajno povećati instalaciju novih kapaciteta, što podrazumeva i upotrebu miliona lopatica.



Reciklaža lopatica vetroturbine

Više od 90% komponenti vetroagregata 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 vetroparkovi su često u udaljenim oblastima.

Inovacije su ključne za rešavanje 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-obrađa cementa podrazumeva sagorevanje lopatica u pećima. Kompanija *GE Renewable Energy* je već implementirala ovu praksu. Nemačka firma *Enercon* koristi kružne sisteme reciklaže u kojima se metalne komponente turbina mogu ponovo koristiti u novim vetroagregatima, 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 rešenja koja će osigurati održivu budućnost energije vetra i smanjiti ekološki otisak industrije.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Upravljanje otpadom kod vetroelektrana

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 vetroelektrane 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 provera:

- Proveriti 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 VEŽBA

Zadatak 2: Primena zaštitne opreme pri sprovođenju mera zaštite životne sredine

Materijal i alat:

- Lična zaštitna oprema (rukavice, maske, zaštitna odeli, 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.
 - Proveriti ispravnost i funkcionalnost opreme pre 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 sprečilo curenje ili kontaminacija.
3. Pakovanje i transport opasnog otpada
 - Ispravno zapakovati i označiti opasni otpad prema propisanim standardima.
 - Koristiti odgovarajuće kontejnere i nalepnice za opasne materijale.
 - Transportovati otpad u skladu sa sigurnosnim procedurama i ekološkim standardima.

Završna provera:

- Pregledati pravilnu primenu 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 mera zaštite životne sredine u vetroelektrani.

4. ENERGIJA VETRA

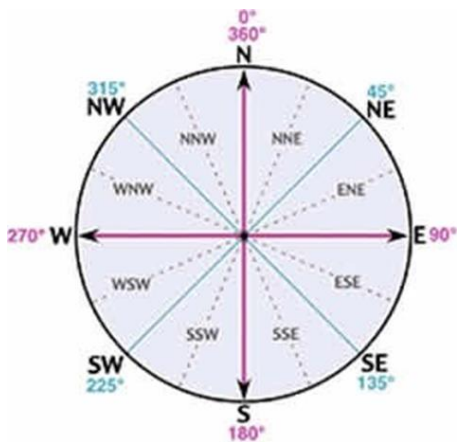
Vetar se najjednostavnije može opisati kao strujanje vazdušnih masa koje nastaje usled razlike temperatura odnosno pritiska na površini Zemlje. I vetar je, kao i značajan broj ostalih raspoloživih energetskih izvora, posledica dejstva Sunca na Zemlju, i spada u obnovljive izvore energije.

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

Vetar se najčešće opisuje dvema jednostavnim komponentama: smerom i jačinom. Za određivanje smera koristi se vetrokaz, a označavamo ga stranom sveta sa koje dolazi.

Na vetrove koji se nalaze na visinama od 1000 m iznad Zemljine površine ne utiče Zemljino tlo. S druge strane površinski vetrovi do 100 m visine zavise od tla.

Upravo su površinski vetrovi ti koji su bitni za analizu energetske efikasnosti vetra kakva je potrebna za vetroelektrane.



Smerovi vetra

Lokalne vetrove pokreću razlike u temperaturi kopna i mora kao i dolina i visoravni. Iako su globalni vetrovi važni za određivanje prevladavajućih vetrova u određenom području, lokalni klimatski uslovi mogu savladati uticaj uobičajenih smerova vetra. Lokalni vetrovi se uvek dodaju sistemima vetrova veće skale, tj. na smer vetra utiče suma globalnih i lokalnih efekata. Kada je vetar više skale slab, lokalni vetar može dominirati uzorkom.

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

- P - snaga vetra u W
- ρ - gustina vazduha u kg/m³
- v - brzina strujanja vetra u m/s
- A - površina turbine u m²

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

Snaga vetra ne može se izračunati bez merenja brzine vetra na određenom području kroz period od godine i više dana. Brzina vetra menja se unutar delova sata.

Jačina vetra tradicionalno se izražava Beufortovom skalom.

Tabela: Beaufortova skala

Beaufortova oznaka, Bf	Opis vetra	Delovanje	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	Čovek ne oseća, ali dim se više ne diže jednoliko, vetrokaz se ne pokreće	0,4 - 1,8	0,4 - 6,5	0,9 - 3,5
2	Povetarac	Oseća se na licu, lišće počinje treperiti i vetrokaz se pokreće	1,8 - 3,6	6,5 - 13	3,5 - 7
3	Slab vetar	Lišće se neprestano njiše i šušti, lagana zastava se njiše	3,6 - 5,8	13 - 20,9	7 - 11
4	Umereni vetar	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	Umereno jaki vetar	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 vetar	Zuji na predmetima, žice zvižde, njišu se velike grane, teško je nositi kišobran	11 - 14	39,6 - 50,4	22 - 28
7	Žestoki vetar	Neprestano se njiše drveće, talasi se pene, otežano je hodanje	14 - 17	50,4 - 61,2	28 - 34
8	Olujni vetar	Njišu se debela drveća, lome se velike grane, onemogućeno je hodanje	17 - 21	61,2 - 75,6	34 - 41
9	Jaki olujni vetar	Pomiču se manji predmeti, pomiču se crepovi, nastaju štete na kućama	21 - 25	75,6 - 90	41 - 48
10	Orkanski vetar	Obara se i čupa drveće sa korenjem, nastaju veće štete na zgradama	25 - 29	90 - 104,4	48 - 56
11	Jaki orkanski vetar	Velike štete na većem području, razorno delovanje	29 - 34	104,4 - 122,4	56-65
12	Orkan	Teško pustošenje celog područja	43	154,8	65

1 m/s = 3,6 km/h = 1,944 čv (čvor)

4.1. Osnovne primene energije vetra

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

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

Ljudi koriste energiju vetra barem 5500 godina. Neki od primera je da se čamac sa jedrima koristi barem 5000 godina, a arhitekte su koristile upravljan vetar za prirodne ventilacije još u antičko doba. Sa usponima i padovima, vezanim uglavnom za rast i pad cena nafte, razvoj se naročito ubrzava posle 2000. sa neprekidnim rastom cena nafte.

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

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

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

Vetroelektrane takođe štede gorivo potrebno za proizvodnju električne energije iz elektrana na fosilna goriva. Ako se proizvede KWh iz vetroelektrane, 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 vetroelektrana moguće je zaustavljanje vetroelektrana, međutim zaustavljanje vetroelektrane pod tim uslovima može se razvući i na nekoliko sati što pokazuje da zaustavljanje vetroelektrana nije toliko dramatičan slučaj kao ispad neke veće elektrane (npr. termoelektrane 300 MW) iz EES-a, u mnogo kraćem vremenu.

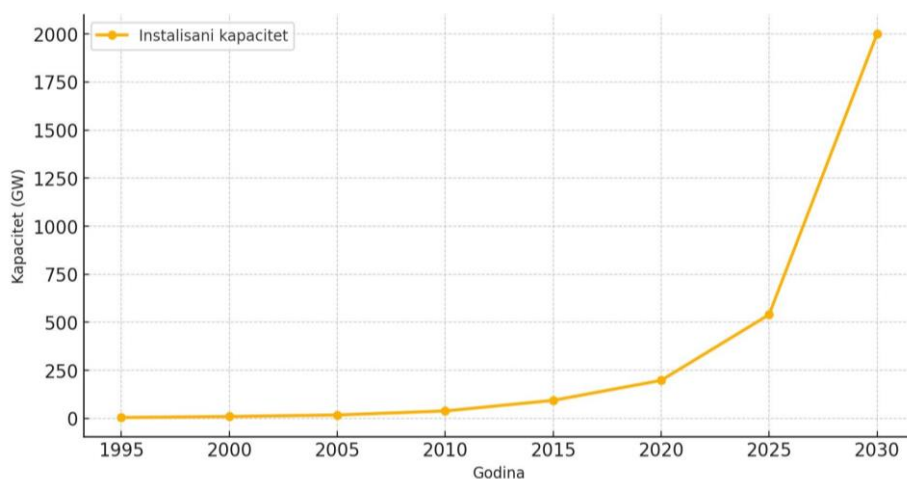
Jedna od najstarijih vetrenjača je *De 1100 Roe* (slika) napravljena je 1674. godine i njena prva uloga je bila da tlo koje je niže od mora održi suvim. Pomerena je 1965. godine zbog toga što više nije bila toliko bitna i potrebna. Danas se ponekad koristi da bi pumpala vodu u susedni sportski park.



Vetrenjača De 1100 Roe

Instalirani kapaciteti vetroelektrana u svetu i predviđanje rasta tržišta

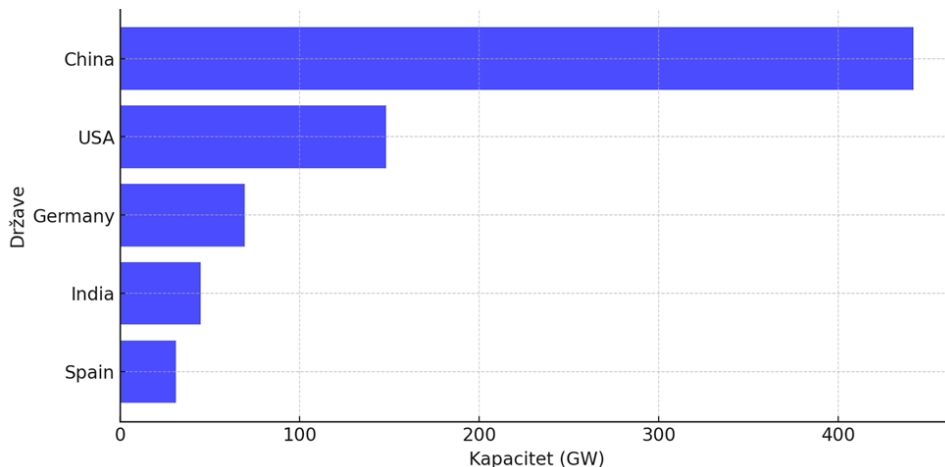
Ukupni instalirani kapacitet vetroelektrana u svetu neprestano raste, predvođen tehnološkim napretkom, smanjenjem troškova proizvodnje i sve većim ulaganjima u obnovljive izvore energije. Globalno tržište vetroelektrana karakteriše brzi rast kapaciteta, pri čemu su prednjačile regije poput Evrope, Severne Amerike i Azije, a posebno Kina, koja danas ima najveći udeo u ukupnoj instaliranoj snazi.



Grafikon: Rast instaliranih kapaciteta vetroelektrana

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

Predviđa se da će u narednim decenijama vetroelektrane postati dominantan izvor električne energije u mnogim zemljama. Globalna energetska tranzicija i postavljeni klimatski ciljevi podstiču povećanje investicija, a predviđanja sugerišu da će do sredine 21. veka instalirani kapacitet vetroelektrana premašiti proizvodnju iz fosilnih goriva u mnogim delovima sveta.



Grafikon: Instalirani kapaciteti vetroelektrana u 2023. godini

Napredak u skladištenju energije, razvoj pametnih mreža i digitalizacija elektroenergetskog sistema dodatno će povećati efikasnost i pouzdanost vetroelektrana, smanjujući zavisnost od fosilnih goriva i obezbeđujući stabilnu isporuku električne energije.



VEŽBA

Istražiti instalirane kapacitete u svom regionu i uporediti ih sa svetskim tržištem u oblasti vetroelektrana.

4.2. Karakteristike vetroelektrana

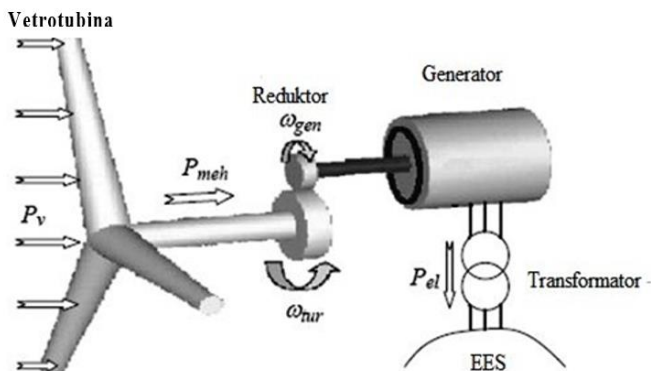
4.2.1. Definicije vetroagregata i vetroelektrane

Današnji sistemi za iskorišćavanje energije vetra su vetroturbine. Vetroturbina je još poznata pod nazivima vetroagragat i vetrogenerator. Vetroelektrana je uređaj koji pretvara kinetičku energiju vetra u električnu energiju. Sastoji se od jednog ili više vetroagregata koji, pomoću rotirajućih lopatica, pokreću generator koji proizvodi struju.

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

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

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



Principijelna šema konverzije energije vetra u električnu energiju.



VIDEO

Princip rada vetroturbine:

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

4.2.2. Vrste vetroagregata i njihove karakteristike

Vetroagregati se prema vrsti mogu podeliti u nekoliko kategorija

- prema položaju osovine,
- prema vrsti vetrogeneratora,
- prema brzini obrtanja (sa stalnom brzinom obrtanja, sa promenljivom brzinom obrtanja).

4.2.2.1. Vetroagregati prema položaju osovine

Prema položaju osovine vetroagregate možemo podeliti na one sa horizontalnom osovinom i sa vertikalnom osovinom.

Vetroturbine s horizontalnom osom okretanja ili VSHO

Turbine sa horizontalnom osom okretanja su one čija je osa paralelna sa smerom struje vetra i tlom. Većina komercijalnih turbina je ovog tipa. Najčešće su vetroturbine sa 3 lopatice, a ponekad se mogu videti modeli sa 2 lopatice. One imaju rotor, vratilo i električni generator smeštene u kabini na vrhu visokog stuba pa moraju biti okrenute direktno prema vetru, za šta koriste senzor uparen sa servo motorom. VSHO turbine se mogu podeliti na one koje gledaju prema vetru i na one koje gledaju od vetra. Velika većina gleda prema vetru, jer se na taj način izbegava uticaj turbulencija koje nastaju iza turbine. Osnovna prednost VSHO turbina koje gledaju od vetra 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 vetroturbina ima 3 lopatice i elektronski sistem koji ih usmerava prema vetru. One imaju veliku obodnu brzinu (nekoliko puta veću od brzine vetra), 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 vetroturbina sa horizontalnom osom jer na višoj nadmorskoj visini vetar struji brže. Ilustracije radi, sa dvostrukim povećanjem nadmorske visine, brzina vetra 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 vetroturbina sa horizontalnom osom:

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

Nedostaci vetroturbina sa horizontalnom osom

- Većina ovakvih vetroturbina zahteva sistem za zakretanje turbine, što je dodatno poskupljuje.
- Problematičan rad u vetrovima 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 zahtevaju vrlo visoke i skupe kranove.
- Konstrukcije koje su okrenute niz vetar imaju smanjenu trajnost i pouzdanost zbog turbulencija kojima su izložene.



Vetroturbine sa horizontalnom osom



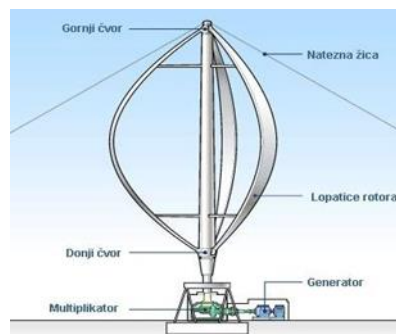
Vetroturbine s vertikalnom osom okretanja ili VSVO

Njihova glavna karakteristika je ta da je osa okretanja postavljena vertikalno. Glavna prednost ovakve konfiguracije je da turbina ne treba biti uperena direktno u vetar da bi bila efikasna. To je prednost na lokacijama gde je smer vetra dosta promenljiv. Dakle VSVO turbina može iskoristiti energiju iz različitih smerova vetra. Vetroturbine 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 vetra na manjim nadmorskim visinama dosta manje, što za sobom povlači činjenicu da je manje energije raspoloživo za transformaciju. Uz to, strujanje vazduha blizu tla i drugih objekata je često turbulentno što znači češće vibracije, te brže trošenje ležajeva i kraći životni vek kao njihovu posledicu. Međutim, ako se vetroturbina postavi na krov zgrade, ona preusmerava strujanje vetra što značajno povećava (ponekad i udvostručuje) brzinu strujanja.

VSVO turbine se mogu grubo podeliti 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, zahtevaju eksterni izvor struje, koji im pomaže pri pokretanju zbog slabog početnog okretnog momenta. Radi slabije stabilnosti moraju ih pridržavati metalni kablovi, što nije uvek praktično. Kod novijih konstrukcija to nije uvek slučaj jer imaju eksternu substrukтуру pričvršćenu na gornji ležaj.



Dariusova turbina

Spiralna Gorlov turbina

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



Spiralna turbina

Giromil turbina

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



Giromil turbine

H tip turbine

Jedan od poznatih konstrukcija je H-tip kod kojeg su lopatice postavljene paralelno s obzirom na osu okretanja. U odnosu na uobičajenu Dariusovu turbinu ovo je jednostavnija konstrukcija, ali problem je u tome što je masa lopaticama pomaknuta u odnosu na simetralu tornja. Iz tog razloga lopatice moraju biti čvršće.



H tip turbine

Cikloturbine

Ova konstrukcija vetroturbine slična 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 uvek zahvataju neki ugao napada vetra. Glavna karakteristika ovog tipa turbine sa tri ili četiri lopatice je ta što je obrtni moment približno konstantan. Zbog sistema zakretanja dobija se skoro maksimalni mogući obrtni moment što pridonosi povećanju korisnosti ovakve vetroturbine, 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 zahteva neku vrstu senzora za određivanje smera vetra.

Osim vertikalnih konstrukcija postoje i horizontalne konstrukcije Dariusove vetroturbine što uveliko olakšava i proširuje njihov spektar primene. Prednost je u tome što su ležajevi bolje smešteni na konstrukciji i time su manje aksijalno opterećeni. Ovakvom konstrukcijom turbina se postavlja na određenu visinu na kojoj zahvata ravnomerno raspoređenu brzinu vetra pa je time izbegnut problem malih brzina na delu turbine koji se nalazi pri tlu. Negativan aspekt ove konstrukcije jeste nemogućnost hvatanja vetra iz svih smerova (kao i kod VSHO) pa se spektar njihove primene smanjuje.



Horizontalne izvedbe Dariousvih vetroturbina

Savoniusova vetroturbina

Ova vetroturbina zamisao je finskog inženjera Sigurda J. Savoniusa. Ovo je prva konstrukcija vertikalne vetroturbine, a nastala je 1922. godine. Ponekad može imati i tri lopatice. Ovakav tip vetroturbine radi na principu potisne sile. Gledajući presek, turbina ima oblik slova S. Zbog zaobljenja, lopatica ostvaruje manji potisak kada se kreće protiv vetra ispuščenom stranom nego kada se kreće u pravcu vetra udubljenom stranom. Na taj način potisak je uvek jači u jednom smeru i dolazi do rotacije. Zbog ovakvog principa rada ove vetroturbine daju puno manje energije nego uzgonske turbine iste veličine.



Spiralna Savoniusova vetroturbina

Ovakve vetroturbine imaju veoma jednostavnu konstrukciju pa se koriste u slučajevima kada su cena i pouzdanost bitniji od efikasnosti, npr. kod anemometara. Još jedna upotreba ovog principa pojavljuje se na vrlo poznatom Fletner (*Fletchner*) ventilatoru. On se koristi na krovovima kuća ili autobusa i služi za ventilaciju prostora, a pokreće ga snaga vetra. Takođe se ponekad mogu uočiti reklamne oznake u obliku ove vetroturbine, cilj im je rotacija reklamnog znaka kojom se privlači pažnja.

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

Prednosti turbina sa vertikalnom osom okretanja

- Lakše za održavanje, jer su načelno svi rotacioni delovi smešteni bliže tlu.
- Nije im potreban mehanizam za zakretanje.
- Dobre za korišćenje na mestima gde je brzina vetra visoka blizu tla (npr. razni prolazi i kanjoni).
- Ne treba im visoki toranj, što bitno pojeftinjuje troškove izgradnje.
- Ne moraju se okretati prema smeru vetra, što ih čini jako dobrima u uslovima turbulentnog vetra.
- Teoretski, mogu biti mnogo veće od VSHO turbina, npr. plutajuće turbine sa vertikalnom osom visine od više stotina metara, kod kojih se cela struktura rotira, mogle bi eliminisati potrebu za velikim i skupim ležajevima.

Nedostaci turbina sa vertikalnom osom okretanja

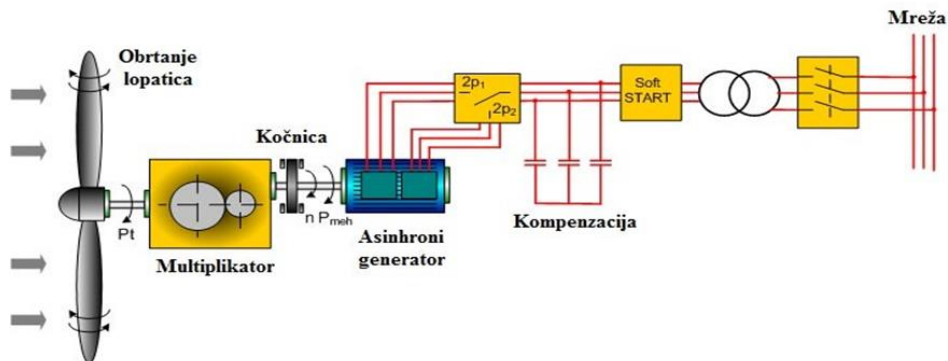
- Većina ima iskoristivost u rangu 50% iskoristivosti turbina sa horizontalnom osom okretanja. To je većinom zbog dodatnog otpora koji nastupa zbog toga što lopatice rotiraju u vetar.
- Većina mora biti postavljena na relativno ravan deo tla, tako da su mnoge lokacije koje mogu iskoristiti VSHO turbine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

4.1.1.1. *Vetroagregati prema vrsti vetrogeneratora*

Prema vrsti vetrogeneratora možemo ih podeliti na vetroagregate sa indukcionim kaveznim vetrogeneratorom, sa sinhronom mašinom i turbinom sa promenljivom brzinom obrtanja, sa dvostrano napajanom indukcionom mašinom i sa višepolnom sinhronom mašinom sa direktnim pogonom

Vetroagregat sa indukcionim kaveznim vetrogeneratorom

Principijelna šema ovog vetroagregata je data na slici



VA sa indukcionim kaveznim vetrogeneratorom

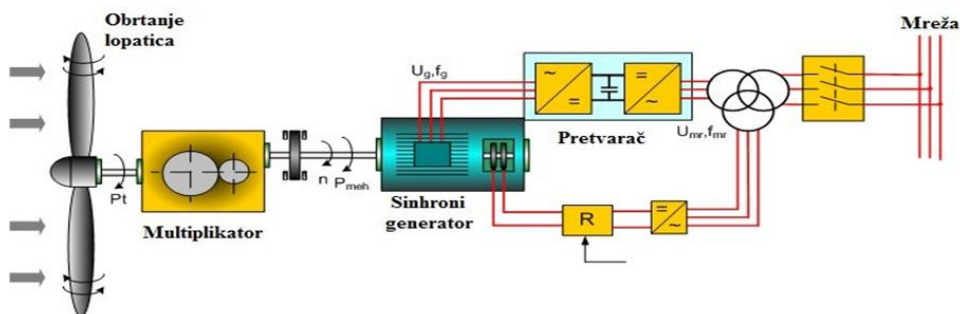
Kod ovih vetroagregata nije moguće menjati brzinu obrtanja vetroturbine. Zbog krutosti karakteristike moment-brzina asinhronne mašine, vetroagregat radi pri brzinama koje se neznatno razlikuju od sinhronne brzine koju diktira mreža na koju je priključen.. Ovakav rad se delimično ublažava izradom dvostrukog statorskog namotaja (kao kod motora za već 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 vetroagregata. 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 upotrebiti 4-polni ili 6-polni trofazni asinhroni kavezni generator. Takav generator je vrlo jednostavan, priključuje se direktno na mrežu 50 ili 60 Hz uz primenu uređaja kojim se smanjuju veličine struje kratkog spoja. Opterećenje generatora je ograničeno aerodinamičnom konstrukcijom lopatica turbine tzv. *stall principle*, a brzina celog pogonskog niza turbina + multiplikator + generator se vrlo malo menja 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 vetroagregata vrši kompenzacija reaktivne energije pomoću baterija kondenzatora. Ovakav vetroagregat nije povoljan za lokacije sa udarnim vetrovima, jer zbog krutosti mehaničke karakteristike obrtni moment vetroturbine se oštro prenosi na vratilo te može doći do oštećenja zupčanika u reduktoru. U slučaju kvara na električnoj mreži, vetrogenerator lako gubi stabilnost, a zbog velikih varijacija snage koje uzrokuju pojavu kolebanja napona ovakav tip vetroagregata nije preporučljiv za priključak na slabiju distributivnu mrežu. Prednost ovog vetroagregata je u ceni, jer se koristi robusna indukciona mašina koja se direktno vezuje za mrežu. U primeni je česta varijanta kaveznog asinhronog motora s promenljivim brojem polova, obično za dve brzine obrtanja prema slici.

Vetroagregat sa sinhronom mašinom i turbinom sa promenljivom brzinom obrtanja

Klasični sinhroni generatori izvedeni za konstantnu sinhronu brzinu obrtanja, koju diktira pogonska mašina, imaju na rotoru jednosmernu 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 vreme pogona regulisati brzinu obrtanja turbine i sinhronog generatora, a taj generator priključiti u energetske sistem fiksne frekvencije, to se može uraditi upotrebom frekventnog pretvarača smeštenog 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.

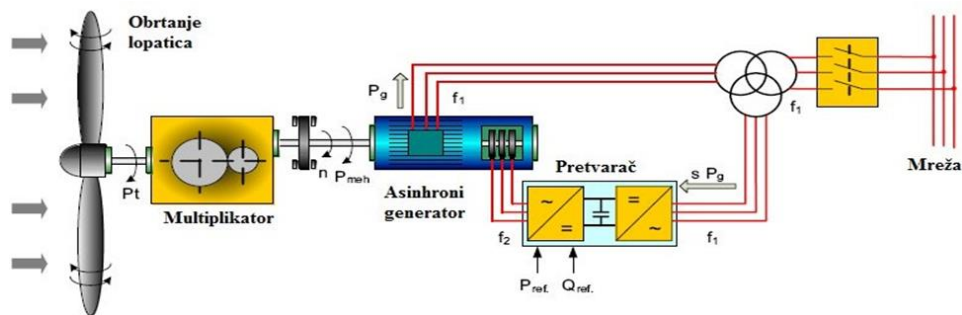


VA sa vetrogeneratorom-dvostrano napajanom indukcionom mašinom

Vetroagregat sa vetrogeneratorom - dvostrano napajanom indukcionom mašinom

Karakteristika za ovaj vetrogenerator je da se koristi kod vetroagregata velike snage. Omogućava promenu brzine u širokom dijapazonu oko sinhronne brzine, pa samim tim obezbeđuje visok stepen iskorišćenja vetroturbine za širok opseg brzine vetra. Promena brzine obrtanja vetroturbine je od 10 do 25 obr/min, pa je za prilagođavanje brzine potreban mehanički reduktor. Principijelna šema ovog vetroagregata 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. Promena aktivne i reaktivne snage generatora se vrši promenom 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.

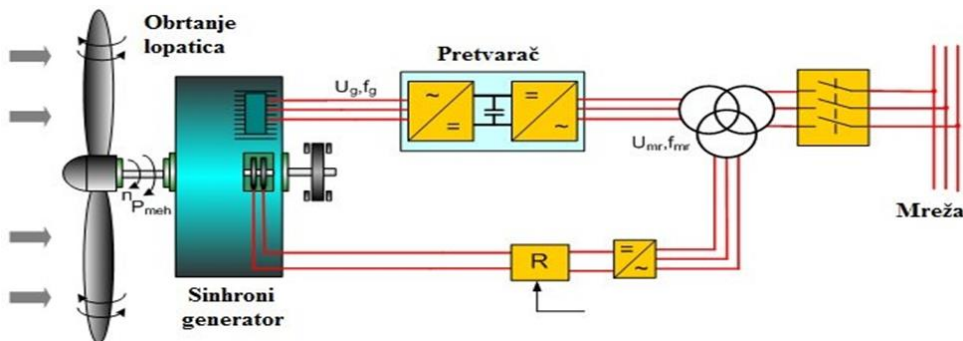


VA sa vetrogeneratorom-dvostrano napajanom indukcijom mašinom

Dvostrano napajana indukciona mašina može generisati i reaktivnu energiju, ali je obično vetrogenerator projektovan da radi sa faktorom snage $\cos\phi=1$, jer generisanje reaktivne energije dodatno strujno opterećuje konvertor u rotorskom kolu. Ipak, ukoliko je potrebno stabilisati napone u distributivnoj mreži, vetrogenerator može na račun smanjenja aktivne snage generisati reaktivnu snagu. Dvostrano napajana indukciona mašina se ugrađuje u vetroagregate najvećih snaga, u one koji su projektovani za rad na kopnu u (*onshore*), tako i u modele za priobalne morske pojase (*offshore*). Ovakvi vetroagregati 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 cena zbog energetske elektronike, osetljiviji su na atmosferske prenapone, povećani gubici u generatoru, generišu više harmonike. Ograničavajući faktor kod vetroagregata najvećih snaga je reduktor koji trpi velika naprezanja.

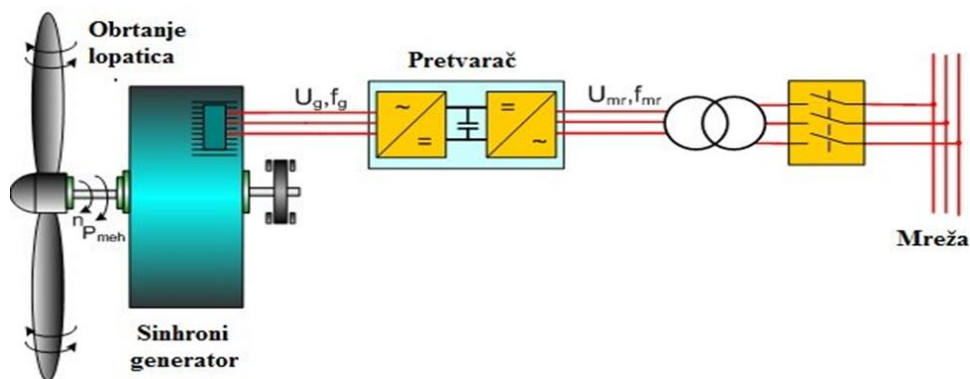
Vetroagregat sa vetrogeneratorom - višepolnom sinhronom mašinom sa direktnim pogonom

Osnovni nedostatak do sada prikazanih vetroagregata je korišćenje reduktora između turbine i generatora. Ova mana je izbjegnuta kod koncepta sa sporoobrnim višepolnim sinhronim generatorom koji se direktno povezuje sa vetroturbinom. Principijelna šema ovog vetroagregata prikazana je na slici. Za razliku od asinhronog generatora moguće je koristiti sinhroni generator za vrlo male brzine obrtanja turbine (5-30 obr/min). Sinhroni generator sa velikim brojem polova (60 ili više) u konstrukciji 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 obrtanja generator mora razvijati veliki moment obrtanja, njegove su dimenzije i masa relativno velike, presudno utiču na konstrukciju i dimenzije elektrane.



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

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



VA sa vetrogeneratorom-višepolnom sinhronom mašinom sa permanentnim magnetima

Vetroagregati sa sporoobrnim sinhronim vetrogeneratorima koriste se i za agregate malih snaga (300 kW), ali i za vetroagregate najvećih snaga. Nemački proizvođač vetroturbina *Enercon* proizvodi vetroagregate sa sporoobrnim sinhronim vetrogeneratorima. Ovaj proizvođač nudi vetroagregat nominalne snage 4.5 MW, sa vetroturbinom prečnika 114 m i nosećim stubom visine 124 m. Radni opseg brzina vetra za ovu turbinu je 2.5 do 34 m/s. Brzina obrtanja rotora vetroturbine je 8 do 13 obr/min, pri čemu periferna brzina vrha lopatice dostiže brzinu od 270 km/h. Vetroagregat sa sporoobrnim sinhronim vetrogeneratorom ima slične karakteristike kao vetroagregat sa vetrogeneratorom - dvostrano napajanom indukcionom mašinom. Mana mu je visoka cena, zbog korišćenja nestandardne mašine i konvertora velike snage. Zbog velikog broja polova, generator ima veliku masu i prečnik. Prednost u odnosu na prethodna rešenja je direktno sprezanje vetrogeneratora sa vetroturbinom, odnosno nema reduktora.

4.2.2.3. Vetroagregati prema autonomiji režima rada

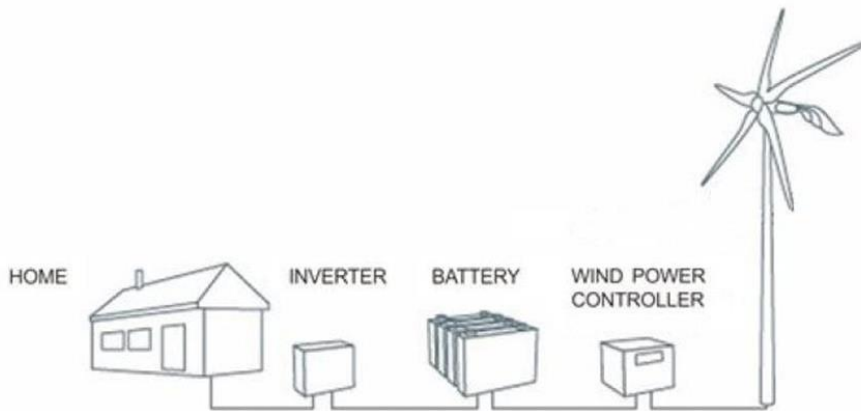
Prema autonomiji režima rada vetroelektrane se dele na *on-grid* vetroelektrane (vetroelektrane priključene na elektroenergetsku mrežu), *off-grid* (samostalne vetroelektrane ili vetroelektrane koje nisu priključene na elektroenergetsku mrežu) i hibridne vetroelektrane (vetro-solarne, vetro-dizel, vetroelektrane sa sistemom za skladištenje energije).

On-grid vetroelektrane

On-grid vetroelektrane su vetroelektrane koje su direktno povezane na nacionalnu ili regionalnu elektroenergetsku mrežu. Ove vetroelektrane 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 vetroelektrane 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* vetroelektrane 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 vetroelektrane

Off-grid vetroelektrane nisu povezane na elektroenergetsku mrežu i koriste se za snabdevanje energijom u područjima koja nemaju pristup mreži ili gde priključivanje na mrežu nije ekonomski isplativo. Ove vetroelektrane proizvode energiju koja se koristi lokalno, često za snabdevanje 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 vetar 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 promenjivim vetrom. Off-grid sistemi ne zavise od spoljnih izvora energije i mogu funkcionisati u područjima bez elektroenergetske infrastrukture. Mogu se koristiti u udaljenim područjima, na farmama, na brodovima ili u istraživačkim stanicama.



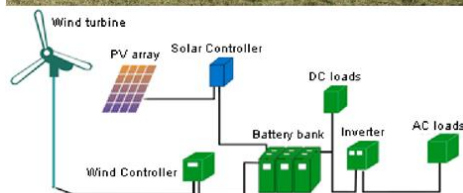
Prikaz off-grid elektrane

Hibridne vetroelektrane

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

Vetro-solarne hibridne vetroelektrane

Ove vetroelektrane kombinuju vetroturbine i solarne panele u jedan sistem. Korišćenje obe tehnologije omogućava veću fleksibilnost i stabilnost u proizvodnji energije jer vetar i Sunce često imaju različite obrasce proizvodnje. Solarni paneli proizvode energiju kada nema vetra (u sunčanim danima), dok vetroturbine rade bolje kada je oblačno ili vetrovito, Sunce ne sija noću, dok vetar može biti prisutan i slično.



Prikaz vetro-solarne hibridne elektrane

Vetro-dizel hibridne vetroelektrane

Ove elektrane koriste vetroturbine u kombinaciji s dizel generatorima. Vetroturbine proizvode energiju kad su uslovi povoljni, dok dizel generatori preuzimaju proizvodnju kad vetar nije dostupan. Korišćenje vetroturbina smanjuje potrebu za dizel gorivom, čime se smanjuju operativni troškovi i emisije CO₂.

Vetroelektrane sa sistemima za skladištenje energije

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

4.2.2.4. Vetroagregati prema lokaciji

Vetroturbine su iskoristive na lokacijama gde je prosečna brzina vetra veća od 4.5 m/s. Idealna lokacija bi trebala imati konstantno strujanje vetra bez turbulencija i sa minimalnom verovatnoćom naglih olujnih udara vetra. Lokacije se prvo selektuju na osnovu karte vetra, pa se onda vrše praktična merenja. Prosečna brzina vetra jedan je od glavnih faktora za odabir lokacije vetroturbina. Vrste vetroelektrana prema lokaciji: na kopnu (*onshore* vetroelektrane), na moru (*offshore* vetroelektrane - plutajuće i priobalne) i visinske vetroelektrane.

Lokacije na kopnu (*onshore* vetroelektrane)

Kopnene instalacije vetroturbina najčešće se nalaze na brdovitim područjima barem 3 kilometra udaljene od obale. One se najčešće smeštaju na vrh brda ili padine, jer na taj način iskorišćavaju takozvanu topografsku akceleraciju koju vetar dobije prelazeći preko uzvisine. Ta dodatna brzina vetra 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 vetroturbine imaju veliku prirodnu lepotu ili su ekološki značajne. Instalacija *onshore* vetroelektrana obično je jeftinija nego *offshore*, jer ne zahteva tehnologiju za rad u moru, specijalizovane platforme ili slične infrastrukturne zahteve. S obzirom na niže početne troškove, *onshore* vetroelektrane često imaju bržu povratnost ulaganja. Lako je pristupiti kopnenim vetroelektranama, 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 smeštene daleko od glavnih potrošačkih centara, što može zahtevati dodatna ulaganja u prenosnu infrastrukturu. Takođe, mogu postojati konflikti s drugim sektorima, poput poljoprivrede ili turizma.

Lokacije na moru (*offshore* vetroelektrane)

To su one lokacije koje su udaljene više od 10 km od kopna i na njima su vetroinstalacije manje napadne izgledom i bukom. Činjenica da voda (posebno duboka) ima manju površinsku „hrapavost“ od kopna, jako utiče na brzine vetra, koje su mnogo veće na moru. Faktori snage su mnogo veći kod takvih instalacija. Kod lokacija sa produženim plićacima vetroelektrane je lako instalirati što nije slučaj kod lokacija koje nemaju takve karakteristike. Uopšteno, morske instalacije vetroagregata su generalno skuplje od kopnenih jer su im tornjevi viši kada se uračuna deo 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 instalirane snage. Vetroelektrane smeštene na moru mogu imati i više od 100 vetroagregata.

Ove vetroelektrane mogu biti u plitkim ili dubokim morskim područjima, a podeljene su u dve glavne vrste: priobalne i plutajuće.



VIDEO

Kako rade offshore vetroturbine?

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

Priobalne (*bottom-fixed*) *offshore* vetroelektrane

Priobalne lokacije nalaze se unutar radijusa od 3 km od mora ili na moru unutar 10 km od kopna. Ove vetroelektrane 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.

Vetroelektrane na moru često iskorišćavaju stabilniji i snažniji vetar 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 zahteva 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* vetroelektrane (FOW – *floating offshore wind*)

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

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

Visinske vetroelektrane

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

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

4.2.2.5. Vetroagregati prema snazi

Vetroelektrane se mogu klasifikovati prema snazi, pri čemu se snaga često odnosi na kapacitet pojedine vetroturbine ili celog vetroparka. Glavne kategorije su male vetroelektrane i velike vetroelektrane (vetroparkovi).

Male vetroelektrane

Male vetroelektrane obično uključuju pojedinačne vetroturbine ili male vetroparkove s ukupnim instaliranim kapacitetom do 10 MW. Ove elektrane obično služe za lokalnu ili industrijsku potrošnju energije, a retko se koriste za komercijalnu proizvodnju na velikim skalama.

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

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

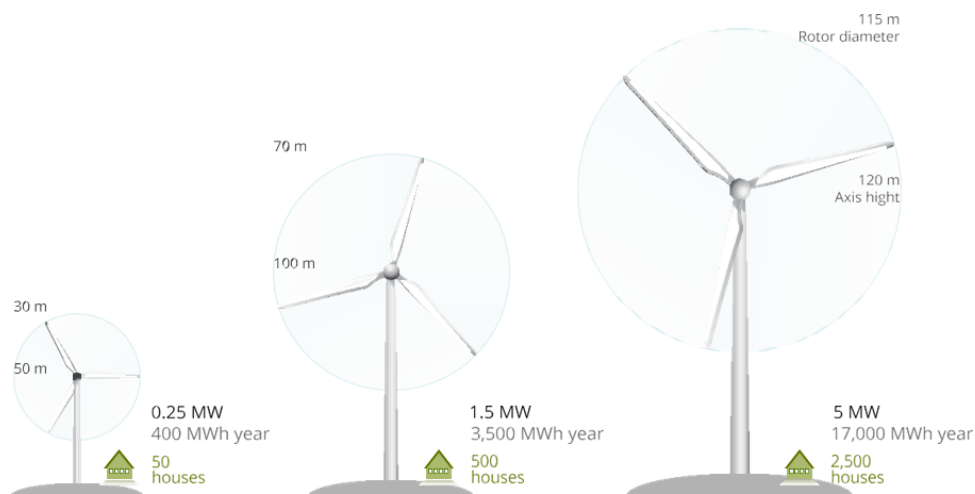
Neke male vetroelektrane postavljaju se na krovove stambenih ili poslovnih objekata za smanjenje troškova energije. Ove elektrane obično imaju manji kapacitet (do 100 kW), ali mogu značajno doprineti uštedi.

Velike vetroelektrane

Velike vetroelektrane, ili vetroparkovi, obuhvataju projekte s ukupnim kapacitetom većim od 10 MW, a obično uključuju veliki broj vetroturbina. Ovi vetroparkovi mogu imati kapacitete i do nekoliko stotina megavata (MW) i koriste se za proizvodnju energije za nacionalnu ili regionalnu mrežu. U velikim vetroelektranama najčešće se koriste vetroturbine s kapacitetom od 2 MW do 6 MW (ili više). S obzirom na broj turbina i njihovu snagu, ovi vetroparkovi mogu proizvoditi značajne količine energije. Na primer, vetroparkovi 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. Zahtevaju razvijenu infrastrukturu, uključujući dalekovode i prenosne mreže, kako bi se proizvedena energija mogla transportovati do potrošača. Mnogi vetroparkovi su smešteni na velikim udaljenostima od velikih urbanih centara.

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



Rast parametara vetroturbinе u zavisnosti od snage



VEŽBA

Proučiti konstrukcije vetroelektrana u vašoj regiji.

4.2.3. Struktura vetroelektrane

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

Sistem vetroagregata

Vetroagregat je osnovna komponenta vetroelektrane koja pretvara kinetičku energiju vetra u električnu energiju. Svaki vetroagregat sastoji se od nekoliko ključnih delova kao što su rotor sa lopaticama, generatorska osovina koja prenosi mehaničku energiju na generator, generator koji je obično asinhroni ili sinhroni, menjača odnosno menjačke kutije, upravljačkog sistema za kontrolisanje rada vetroagregata i nosive strukture. Svaki od ovih delova će biti kasnije detaljnije opisan.

Sistem mrežnog priključka vetroelektrane

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

Mrežni priključak vetroagregata

- Pretvarači (inverteri): Pretvaraju električnu energiju koju proizvodi generator u električnu energiju, koja je kompatibilna s mrežnim sistemom. U slučaju da se koristi DC (jednosmerna) 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 vetroelektrane

- Kablovski sistem: Koristi se za prenos energije od svakog vetroagregata prema razvodnom postrojenju. Ovi kablovi povezani su sa svim vetroturbinama u vetroelektrani 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 vetroelektrane. Ovaj sistem nadgleda stanje svih turbina i sistema unutar vetroelektrane (brzina rotacije, proizvodnja energije, uslovi vetra, temperatura, stanje opreme i drugo) i automatski prilagođava rad vetroturbina, optimizirajući performanse zavisno od uslova vetra i zahteva mreže.

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

Sistem za skladištenje energije

Zavisno od vrste vetroelektrane 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 vetar jak, a kasnije osloboditi energiju tokom razdoblja slabijih vetrova. U nekim većim sistemima, korišćenje vodenih sistema za skladištenje energije (*Pumped Hydro Energy Storage*) može biti način za skladištenje energije u visokim rezervoarima kad je proizvodnja energije iz vetra velika, a kasnije za oslobađanje energije u vreme potreba.

Kondenzatorsko-filtersko postrojenje

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

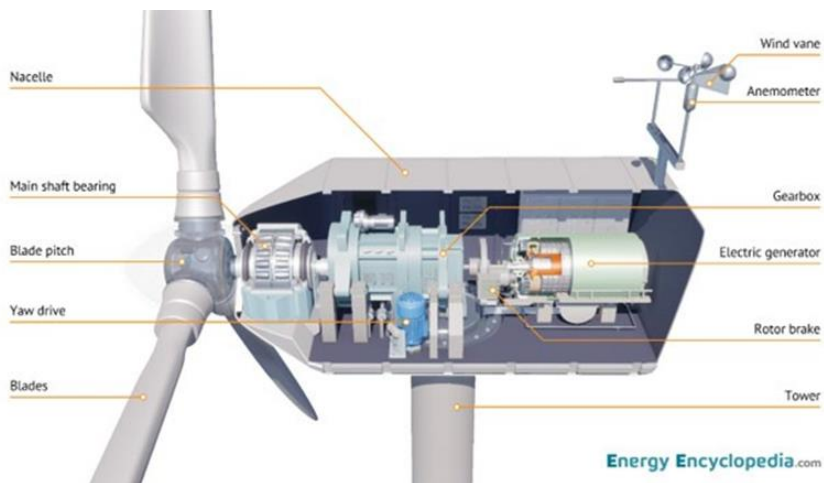
Sve ove komponente omogućuju da vetroelektrane doprinesu energetskej mreži i pomognu u smanjenju emisija CO₂.

4.2.4. Elementi vetroagregata

Elementi vetroagregata: rotor (lopatice, glava, osovina), sistem za zakretanje lopatica (senzori, pogonski mehanizam, upravljanje), kočioni sistem (mehanička, električna, hidraulična kočnica), prenosnik snage (multiplikator), generator (asinhroni- indukcioni, sinhroni, jednosmerni), anemometer, vetrokaz, sistem za nadzor i upravljanje (manipulacije, merenje, 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 bezbedno funkcionisanje čitavog sistema vetroturbina-generator, generator, kao i ostali delovi vetroagregata moraju ispunjavati određene zahteve.

Sistem vetroturbina-vetrogenerator je dat na slici



Delovi vetroagregata

Opis ključnih elemenata vetroagregata:**Rotor**

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

Sistem za zakretanje lopatica

Glavna komponenta ovog sistema su senzori. Služe za merenje brzine i smera vetra, pomažući sistemu da optimizuje ugao lopatica za maksimalnu efikasnost. Pogonski mehanizam upravlja zakretanjem lopatica prema smeru vetra (*yaw sistem*) i obično koristi elektromotore ili hidraulične sisteme. Upravljanje pomaže u regulaciji ugla lopatica kako bi se optimizovala proizvodnja energije, sprečilo 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 vetroagregat. Električna kočnica koči rotaciju rotora korišćenjem 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 menjačem, multiplikator povećava brzinu rotacije rotora pre 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 vetroagregatima VE. Asinhroni-indukcioni generator je najčešće korišćeni generator u vetroelektranama i može raditi u različitim uslovima vetra. Sinhroni generator je ređe korišćen u vetroturbinama, jer zahteva sinhronizaciju s mrežnom frekvencijom. U specifičnim slučajevima se koristi i jednosmerni generator, kada je potrebna proizvodnja jednosmernog napona, poput *off-grid* sistema.

Anemometar

Anemometar je uređaj koji meri brzinu vetra i šalje podatke upravljačkom sistemu koji zatim prilagođava rad vetroagregata.

Pokazivač smera - vetrokaz

Ovaj mali uređaj meri smer vetra, pomažući sistemu za zakretanje gondole i lopatica kako bi vetroturbina bila usmerena prema najpovoljnijem smeru vetra.

Sistem za nadzor i upravljanje

Ovo je složeniji sistem kojim se izvode operacije manipulacije odnosno upravljanje mehaničkim delovima, poput zakretanja lopatica i gondole, zatim merenje i praćenje parametara kao što su brzina vetra, temperatura, naponske i strujne vrednosti i regulacija i optimizacija rada vetroagregata kako bi se postigla maksimalna efikasnost. Ovaj sistem osigurava zaštitu od preopterećenja, prekomerne brzine vetra i drugih opasnosti praćenjem stanja svih komponenti vetroagregata u stvarnom vremenu i povezivanjem VE sa spoljnim sistemima za daljinsko praćenje i upravljanje.

Sistem zakretanja gondole

Sistem za zakretanje gondole osigurava da gondola (središnji deo vetroagregata koji sadrži generator) bude okrenuta prema smeru vetra, obično pomoću elektromotora ili hidrauličnih sistema.

Uređaji energetske elektronike

Generator vetroagregata obično proizvodi naizmjeničnu struju (AC) koja nije uvek u skladu s mrežnim zahtevima, pa se koristi inverter (ako je potrebna promena iz DC u AC) ili konvertor za transformaciju struje u odgovarajući oblik za mrežu. Inverter osigurava da proizvodnja električne energije iz vetroturbine 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 deo vetroagregata koji sadrži generator, prenosne sisteme, kočnice i sistem za zakretanje. Smeštena je na vrhu tornja. Gondola je vrlo teška, obično teži između 70 i 120 tona, zavisno od veličine vetroturbine. 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 vetrom i njegova visina može biti i do 150 metara. Obično je izrađen od čelika ili betona. Veći tornjevi omogućavaju bolje iskorišćavanje vetra.

Priključak na mrežu

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

Transformator

Transformator je ključna komponenta koja omogućava promenu napona koji generiše vetroturbina kako bi se uskladio s naponskim nivoima mreže. Energija koju generiše generator vetroagregata 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 vetroagregat 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 sprečava 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 sprečava nakupljanje zapaljivih gasova. U slučaju požara ili drugog kritičnog problema, sistem automatski isključuje vetroagregat kako bi se sprečila šteta.

Temelj

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

Uzemljenje

Uzemljenje vetroagregata predstavlja ključnu komponentu sistema sigurnosti u vetroelektranama. Uzimajući u obzir veličinu i snagu vetroturbina, pravilno uzemljenje je nužno za zaštitu ljudi, opreme i električnih delova od potencijalnih električnih udara, kratkih spojeva i drugih opasnosti koje nastaju usled električnih kvarova. Uzemljenje omogućava da električni kvarovi, poput kratkog spoja ili udara munje, budu usmereni prema zemlji umesto da prolaze kroz osetljive komponente vetroagregata ili električnu mrežu, čime se sprečava opasnost od električnog udara za ljude ili životinje.



VIDEO

Simulacija rada vetroagregata:

<https://www.youtube.com/watch?v=TXHAK6I0rE>.



KVIZ

Kviz 3: Elementi vetroagregata:

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

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

Za kvalitetnu i sigurnu izgradnju, montažu i održavanje vetroelektrana, 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, razdelnici, izolacione trake i drugi izolacioni materijal, PV cevi 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 obeležavanje i signalizaciju, građevinski materijal i dr.

Primeri energetskih kablova



PP00



PP40

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



PP 45-A

Upotreba: Za razvod energije u gradskim mrežama, industrijskim postrojenjima i na mestima 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, vetro i solarnim elektranama, saobraćaju i sl. Polazu se u kablovske kanale, u zatvorene prostorije i u zemlju uz primenu dodatne zaštite.

Kablovski pribor za instalacione kablove



Termoskupljajuća kablovska kapa



Kablovske spojnice i račve



Razne vrste kablovskih papučica



Kablovske glave



Razne vrste spojnih čaura



Primeri cevi



Instalacione PVC cevi



Instalacione metalne cevi i spojnice

Alat: izolaciona klešta, kompresiona klešta, sekači 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 sečenje izolacionog materijala, makaze za sečenje lima, testere, alat za spajanje lemljenjem, alat za savijanje lima, alat za savijanje profila, alat za probijanje, alat za prosecanje, alat za odsecanje, alat za izradu navoja, merni i kontrolni alat, alat i pribor za zavarivanje, libela i dr.



Alati za krimpovanje, skidanje izolacije, merni 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 vetroelektrana. Ovi uređaji omogućuju tehničarima da sigurno provere 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 vetroelektrana često se koriste specijalizovane mašine i vozila prilagođeni radu u teškim uslovima. To uključuje teleskopske dizalice velikog kapaciteta za podizanje i montažu vetroturbina, 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 vetroelektranama.



Specijalizovana vozila

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



Specijalizovani avion za transport lopatica vetroturbine



VIDEO

Specijalizovani avion za transport opreme vetroelektrane:

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



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Korišćenje ručnih i električnih alata

Materijal i alat:

- Osnovni ručni alati (klešta, odvijači, skalpeli, noževi za skidanje izolacije),
- Električni alati (bušilica, brusilica, lemilica, pištolj za vrući vazduh),
- Testeri i merni instrumenti (multimetar, ispitivač napona, ampermetar),
- Sigurnosna oprema (zaštitne rukavice, zaštitne naočare, radna odeća).

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 pre upotrebe.
2. Praktična primena alata
 - Koristi klešta i odvijače za obradu provodnika i spajanje električnih elemenata.
 - Isprobaj električne alate za bušenje, rezanje i oblikovanje materijala.
 - Primeni tester za proveru ispravnosti električnih instalacija.
3. Analiza efikasnosti i bezbednosti rada
 - Proveri ispravnost alata pre i posle upotrebe.
 - Uporedi brzinu i preciznost ručnih i električnih alata u različitim zadacima.
 - Diskutuj o sigurnosnim pravilima pri radu s električnim alatima.

Završna provera:

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



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 2: Prepoznavanje i analiza materijala

Materijal i alat:

- Uzorci različitih vrsta materijala (bakarni i aluminijumski provodnici, izolacioni materijali, plastične i metalne cevi, zaštitni omotači),
- Tehnička dokumentacija i katalozi proizvođača,
- Merne alatke (mikrometar, klešta 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
 - Izmeri debljinu provodnika i izolacije.
 - Uporedi mehaničku čvrstoću različitih materijala.
 - Analiziraj prednosti i mane upotrebe bakra u odnosu na aluminijum u elektroinstalacijama.
3. Diskusija o primeni materijala
 - Identifikuj koji materijali se koriste za različite tipove instalacija.
 - Proceni koji materijal je najpogodniji za specifične uslove rada (vlaga, visoka temperatura, mehanički stres).
4. Grupni zadaci
 - Podeli se u grupe i analiziraj tehničke specifikacije određenog materijala.
 - Prikaži zaključke o izboru materijala za konkretne aplikacije.

Završna provera:

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

5. MONTIRANJE I DEMONTIRANJE ELEKTROENERGETSKE OPREME U VETROELEKTRANAMA

5.1. Priprema terena za montažu elektroenergetske opreme u vetroelektranama

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

Važnost i postupak ispitivanja lokacije – merenje brzine vetra

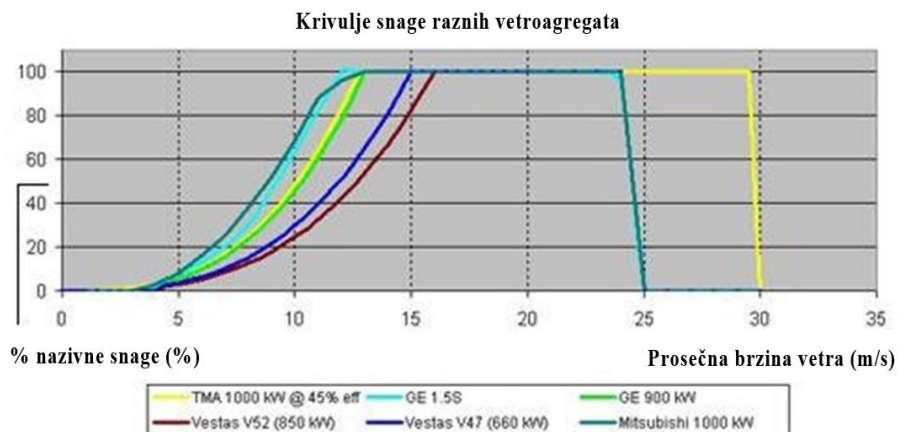
Pre početka izgradnje vetroelektrane neophodno je sprovesti višegodišnja merenja brzine i pravca vetra kako bi se procenila isplativost projekta i optimizovala raspodela vetroturbina.

Precizna procena 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 vetra za početak rada i zaustavljanje vetrogeneratora zavise od dizajna i tipa turbine, ali se generalno kreću u sledećim okvirima:

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

Ove vrednosti mogu varirati zavisno o proizvođaču i tipu vetroturbine (kopnene ili *offshore*). Svaki proizvođač vetrogeneratora ima napravljen dijagram iskoristivosti u zavisnosti od brzine vetra. Krivulje snage raznih vetroagregata.



Krivulje snage raznih vetroagregata

Postupak merenja brzine vetra:

- Instalacija meteorološke merne stanice – Postavlja se na visini planirane gondole vetroturbine (80-140 m) i opremljena je anemometrima, vetrokazima i senzorima za temperaturu i vlagu.
- Upotreba LIDAR i SODAR tehnologije – LIDAR (Light Detection and Ranging) i SODAR (Sonic Detection and Ranging) omogućavaju merenje profila vetra do visine od nekoliko stotina metara bez potrebe za fizičkim stubovima.
- Dugotrajno prikupljanje podataka (12-24 meseca) – Kontinuirano beleženje brzine i pravca vetra za pouzdanu analizu.
- Analiza i optimizacija – Koriste se softverski alati za simulaciju i modeliranje vetroenergetskog potencijala. Identifikuju se ekstremni vetrovi, promene u turbulentnosti i sezonske fluktuacije. Vršiti se optimizacija razmeštaja turbina u vetroparku 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 vetroturbine mogu biti betonski, čelični i plutajući, u zavisnosti od lokacije i podloge na kojoj se elektrana gradi. Betonski temelji najčešće se koriste u kopnenim vetroelektranama zbog visoke stabilnosti i otpornosti na vremenske uticaje. Oni se izrađuju u obliku velikih armiranih ploča ili stubova koji preuzimaju opterećenje vetroturbine i prenose ga na tlo. Čelični temelji se koriste u *offshore* elektranama, gde je potrebno osigurati otpornost na koroziju i jake morske struje. Plutajući temelji se primenjuju kod vetroelektrana na dubokim vodama, gde 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 cevi, postavljanje uzemljenja i osiguravanje spojeva za razvodne ormare i transformatore.



Primeri temelja vetroturbina

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 vetroelektrane, rovovi se kopaju u skladu s geološkim karakteristikama terena i zahtevima 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 peska ili drugog materijala kako bi se sprečilo 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 obeležavanje trase kablova radi lakšeg budućeg održavanja i inspekcije.

Kod *offshore* vetroelektrana, 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 proveru kontinuiteta i izolacije kablova, kao i otpornosti spojeva na mehaničke i električne uticaje. Ove provere 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 proverava 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 vetroelektrane na mrežu.

5.2. Montiranje i demontiranje montažne konstrukcije opreme u vetroelektranama

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

Toranj i gondola vetroagregata – karakteristike važne za montažu i demontažu

Montaža i demontaža tornja i gondole vetroagregata predstavljaju ključne faze u postavljanju i održavanju vetroelektrana. Ovi procesi zahtevaju preciznost, specijalizovanu opremu, sigurne radne uslove i stroge tehničke smernice zbog visine, težine i kompleksnosti ovih elemenata.

Kao što smo naveli, toranj je glavni vertikalni element vetroelektrane koji podržava gondolu, rotor (lopaticu) i sve povezane komponente. Toranj mora biti čvrst i stabilan kako bi podneo sile koje nastaju usled vetra i rotacije vetroturbine. 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 delova). Toranj mora biti dovoljno čvrst da izdrži različite vremenske uslove (vetrove, sneg, kišu) i vibracije koje uzrokuje rad turbine. Osim toga, mora omogućiti montažu gondole, rotora i drugih važnih sistema.

Gondola je ključna komponenta vetroagregata 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 vetra, elektronski 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 vetroagregata zahtevaju 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 mere 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 podneti težinu cele turbine. Nakon toga se sprovodi geodetska i tehnička inspekcija temelja kako bi se obezbedila pravilna visina i pravac tornja.

Nakon toga se izvodi montaža delova 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. Delimična 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. Pre montaže gondole, potrebno je osigurati potrebnu opremu za podizanje, poput dizalice velike nosivosti (obično mobilne dizalice s kranom). Pre podizanja, sve komponente unutar gondole, generator, prenosni sistem i sistem za okretanje, moraju biti pažljivo proverene i osigurane. Gondola se podiže uz pomoć dizalice prema vrhu tornja pomoću dizalice. To je kritična faza koja zahteva veliku preciznost jer gondola mora biti pravilno postavljena na vrh tornja. Dizalica se koristi 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 proveravaju. Nakon montaže gondole, rotor (lopatice) se montiraju na glavnu osovinu generatora. Zavisno od veličine vetroturbine, 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 provera. Testiraju se sve električne veze, kontrolni sistemi, prenosni mehanizam i sistem za okretanje gondole.

Postupak demontaže tornja i gondole vetroagregata

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

Postupak demontiranja tornja započinje zaustavljanjem vetroagregata. Prvo se isključe sve električne i mehaničke komponente. Zavisno od vrste vetroelektrane, potrebno je ukloniti sve kablove i električne instalacije koje povezuju vetroagregat s mrežom. Zatim se proverava sigurnost. Pre početka demontiranja sprovodi se procena sigurnosnih uslova, uključujući inspekciju terena i korišćenje zaštitne opreme. Kada su svi uslovi provereni, pristupa se demontiranju delova tornja. Komponente tornja se postepeno uklanjaju. Segmenti se spuštaju pomoću dizalica, počevši od gornjih delova. Nakon spuštanja, uklonjeni delovi 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 delovi 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 vetroelektranama vrlo je važan deo izgradnje i održavanja infrastrukture.

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

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, ekserima ili drugim pričvrstnim materijalima, a kod čeličnih nosača neophodna je kontrola kvaliteta 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 spoljašnje uslove, postolja su konstruisana tako da pružaju maksimalnu stabilnost i otpornost na vetrovite 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 energetske izvorima i sistemima za skladištenje energije pa povezuju sa središnjim sistemom vetroelektrane. Kada su svi elementi montirani,

sprovođi se kontrola stabilnosti. To uključuje proveru pričvrštnih mehanizama i učvršćenja, kao i testiranje svakog postavljenog uređaja kako bi se osigurao ispravan rad.

Postupak demontaže postolja i nosača

Pre 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 provera kako bi se osiguralo da su uslovi za rad sigurni, pri čemu se koristi zaštitna oprema poput kaciga, rukavica i sigurnosnih odeli.

Demontaža započinje uklanjanjem elektroenergetske opreme. Svi uređaji, uključujući sklopke, kablove, sigurnosne kamere i meteorološke senzore, pažljivo se uklanjaju kako bi se izbegla njihova oštećenja. Nakon toga sledi demontaža nosača i postolja, pri čemu se uklanjaju svi pričvrštni vijci i nosivi delovi. 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 premeštaju kako bi se oslobodio prostor. Zavisno od veličine i težine, može biti potrebno korišćenje specijalizovane opreme, poput dizalica ili hidrauličnih alata. Nakon završetka demontaže, svi uklonjeni delovi, uključujući postolja, nosače i električnu opremu, transportuju se na odgovarajuće odlagalište, reciklažu ili servisiranje. Svi materijali moraju biti pravilno odvojeni radi dalje obrade ili ponovne upotrebe.

Montaža i demontaža postolja i nosača za električne instalacije i sigurnosnu opremu u vetroelektranama zahtevaju 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 delovima kako bi se izbegla oštećenja i osigurala sigurna i efikasna reciklaža ili ponovna upotreba materijala.



VIDEO

Postupak montaže vetroelektrane:

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

<https://www.youtube.com/watch?v=vigdJ8OSmRA>

<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 merenje temperature i vlažnosti. Ovi uređaji prate uslove vetra i okoline te omogućavaju optimizaciju rada vetroelektrane. S druge strane, konstrukcije za sigurnosne kamere koriste se za nadzor vetroelektrane i zaštitu opreme.

Ove konstrukcije mogu biti izrađene od laganog čelika ili aluminija, ali moraju biti dovoljno čvrste kako bi podnele spoljašnje uslove, uključujući jak vetar, kišu i sneg. Kada je reč o visini i smeštaju, konstrukcije za meteorološke instrumente obično uključuju stubove ili jarbole koji omogućavaju postavljanje opreme na odgovarajućoj visini, čime se osiguravaju tačna merenja. 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 vetroelektrana važan su deo procesa izgradnje, održavanja i optimizacije vetroelektrana.

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 smeštaj 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 vetroelektrane ili između više energetske 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 spoljašnje sile poput vetra, vibracija i elektromagnetnih 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 zahtevima sigurnosti. Oprema poput srednjenaponskih i niskonaponskih razvodnih ormara, transformatora, sistema za neprekidno napajanje (UPS), sklopni aparata i zaštitno-upravljačkih jedinica pažljivo se smešta i povezuje u skladu s odgovarajućim elektrotehničkim standardima. Komponente se instaliraju na metalne nosače, izolovana postolja ili unutar specijalizovanih odeljaka kako bi se osigurala optimalna disipacija toplote i elektromagnetska kompatibilnost (EMC).

Kabliranje unutar kontejnera igra ključnu ulogu u povezivanju elektroenergetske opreme s spoljnim sistemima. Visokonaponski, srednjenaponski i niskonaponski kablovi moraju biti pravilno dimenzionisani, označeni i položeni u kablovske kanale s odgovarajućom mehaničkom zaštitom. Uz to, primenjuju 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 merenje izolacionih otpora, ispitivanje kontinuiteta i funkcionalnosti sklopni aparata, testiranje zaštitnih releja i proveru 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 veka, prilikom modernizacije sistema ili prilikom premeštanja opreme na novu lokaciju. Prvi korak je sigurno isključivanje elektroenergetskih sistema, pri čemu se prekida napajanje i isključuju svi aktivni električni sklopovi. Pre 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 sledu rastavljanja kako bi se izbegla mogućnost kratkih spojeva i nepredviđenih električnih

pražnjenja. Kablovi se odvajaju, označavaju i uklanjaju na siguran način kako bi se sprečila 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 premešta na novu lokaciju, potrebno je osigurati odgovarajuće mehaničke priključke i osigurati transportne uslove kako bi se sprečila 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 korišćenje specijalizovanih transportnih usluga za siguran prevoz visokonaponskih komponenti, akumulatora ili drugih osetljivih električnih uređaja. Reciklaža bakrenih provodnika, izolacijskih materijala i metalnih delova sprovodi se u skladu s ekološkim standardima kako bi se smanjio negativan uticaj na okolinu i osigurala ponovna upotreba vrednih materijala.

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



VEŽBA

Istraživački zadatak – primeri različitih konstrukcija tornjeva vetroagregata.

Istraži i uporedi različite tipove tornjeva koji se koriste u vetroelektranama (čelični tubularni



KVIZ

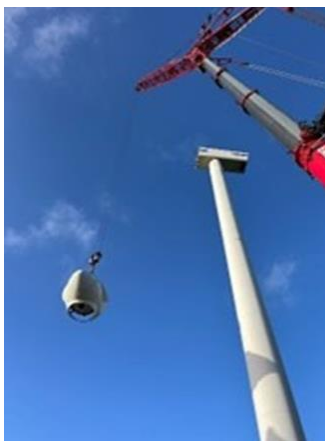
Kviz 4 – Provera znanja o montažnim konstrukcijama u vetroelektranama:

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

5.3. Montiranje/demontiranje i povezivanje elektroenergetske opreme u vetroelektranama

Montaža i povezivanje elektroenergetske opreme u vetroelektranama 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 vetroagregata isporučuje se sa već ugrađenim ključnim komponentama, uključujući generator, glavnu osovinu, prenosni sistem i električne kontrolne module. Montaža gondole vrši se dizalicom velikog kapaciteta, koja podiže i postavlja gondolu na vrh tornja vetroturbine. 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 zahteva precizno povezivanje senzora i upravljačkih jedinica sa centralnim kontrolnim modulom.

Prilikom demontaže, svi priključci se pažljivo isključuju, a osetljivi uređaji se pakuju u zaštitne kontejnere radi transporta i ponovne instalacije.



Primeri montiranja delova opreme na gondoli

Povezivanje električnih komponenti unutar gondole vetroagregata

Povezivanje električnih komponenti unutar gondole vetroagregata zahteva 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 vetroagregata.

Nakon uspešnog povezivanja i testiranja, vetroagregat je spreman za integraciju u mrežu i redovan rad.



Unutrašnjost gondole vetroturbine sa osovinom, menjačem, kvačilom i sistemom hlađenja

Povezivanje generatora sa konvertorskim sistemom

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

Povezivanje generatora uključuje sledeće korake:

- **Provera električnih priključaka** – Pre povezivanja proverava se kompatibilnost priključaka generatora sa električnim sistemom vetroelektrane. 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 promenljive frekvencije u stabilnu i sinhronizovanu frekvenciju pogodnu za distribuciju u mreži. Ožičenje se vrši pomoću visokonaponskih kablova otpornim na temperaturne promene i mehanička naprezanja.
- **Uzemljenje generatora** – Generator se povezuje sa sistemom uzemljenja vetroagregata kako bi se osigurala zaštita od prenapona i elektrostatičkog naelektrisanja.
- **Provera faznog sleda** – Nakon povezivanja vrši se ispitivanje faznog sleda kako bi se osiguralo pravilno usklađivanje izlazne snage sa mrežnim zahtevima.



Povezivanje generatora vetroagregata

Instalacija i povezivanje upravljačkog sistema

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

- Povezivanje senzora – Unutar gondole instaliraju se senzori za merenje 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 prekomernih brzina vetra ili tehničkih problema.



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

Povezivanje sistema zaštite i sigurnosti

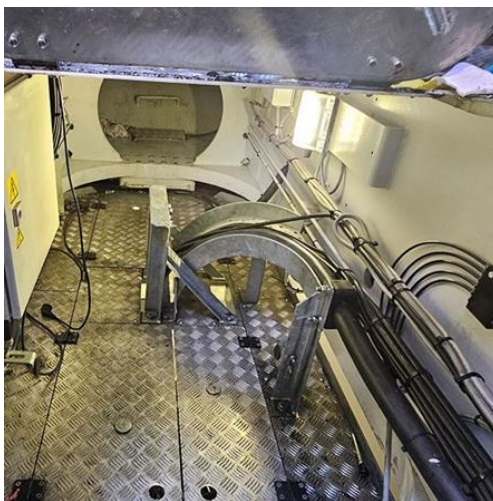
Zaštita elektroenergetskih komponenti od prenapona, kratkih spojeva i preopterećenja je od suštinskog značaja za sigurnost i dugotrajnost sistema.

- **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 vetroagregata.
- **Postavljanje prenaponskih zaštita** – Instaliraju se varistori i gasni odvodnici koji štite električne komponente od udara groma i prenaponskih talasa.
- **Spajanje sigurnosnog sistema uzemljenja** – Uzemljenje se realizuje povezivanjem svih metalnih delova 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 vetroturbine.

- **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 pomeranje tokom rada.
- **Povezivanje sa razvodnim ormarom** – Glavni energetske vodovi se spajaju sa razvodnim ormarom, gde se vrši dalja distribucija energije ka mreži. Povezivanje se obavlja prema jednožilnim šemama, uz proveru izolacije i kontinuiteta spojeva.
- **Testiranje kablova** – Nakon povezivanja vrši se ispitivanje otpora izolacije, proveru kontinuiteta i testiranje pod opterećenjem kako bi se osigurala pouzdanost veze.



Polaganje i povezivanje napojnih kablova unutar gondole vetroturbine

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.
- **Merenje električnih parametara** – Proveravaju se napon, struja i otpor izolacije kako bi se osiguralo da sistem funkcioniše u skladu sa tehničkim specifikacijama.
- **Probni rad vetroagregata** – 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 vetroelektrani i postupak montiranja/ demontiranja istih

U modernim vetroelektranama sve češće se koristi sistem za skladištenje električne energije, najčešće u vidu baterijskih skladišta ili superkondenzatora. Montaža skladišnog sistema podrazumeva 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 zamene.

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.



Primer sistema za skladištenje električne energije u vetroelektrani



VEŽBA

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



KVIZ

Kviz 5 – Provera 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 vetroelektrane

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

Radovi na montiranju i demontiranju elemenata vetroelektrane spadaju u visokorizične zadatke koji zahtevaju primenu 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 vetroelektrane. 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 pričvršćen u 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 odeća i obuća – Radnici moraju nositi antistatičku i vatrootpornu odeću 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 naočare za sprečavanje prodora prašine, metalnih čestica i vetra u oči.
- Respiratorna zaštita – Kada se radi sa hemijskim sredstvima, poput sredstava za zaštitu od korozije ili boja za metalne delove, koriste se maske sa filterima protiv isparavanja.

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



Primer sigurnosnog vezivanja za fiksne tačke za rad na visini

Kolektivna zaštitna oprema

Osim lične zaštite, na gradilištu vetroelektrane postavljaju se i kolektivna zaštitna sredstva koja smanjuju rizike za sve radnike.

- Sigurnosne barijere i zaštitne mreže – Postavljaju se oko kritičnih zona kako bi se sprečili padovi alata i materijala sa visine.
- Sistemi za zaštitu od udara groma – Ugradnja vetroturbina uključuje rad sa metalnim komponentama na otvorenom prostoru, pa se posebna pažnja posvećuje zaštiti od udara groma kroz uzemljene strukture i odvodnike prenapona.
- Signalizacija i označavanje radnih zona – Obeležavanje opasnih područja reflektujućim trakama i sigurnosnim znakovima smanjuje rizik od nesreća i sudara sa teškom opremom.
- Pomoćni sistemi za podizanje i manipulaciju teretima – Uključuju dizalice, vitla, kranove i specijalizovane sisteme za transport teških komponenti, kako bi se smanjio fizički napor radnika i rizik od povreda.



Primer sigurnosne barijere montirane direktno na vrhu gondole

Električna zaštitna oprema

S obzirom da vetroelektrane uključuju rad sa elektroenergetskim komponentama, posebna pažnja se posvećuje zaštiti od električnog udara i ispravnom rukovanju visokim naponima.

- Dielektrične rukavice i obuća – Osiguravaju zaštitu pri radu sa kablovima, razvodnim ormarima i elektroinstalacijama unutar gondole.
- Ispravljači napona i izolacione podloge – Koriste se prilikom testiranja i povezivanja električnih uređaja kako bi se sprečio direktni kontakt sa opasnim naponima.
- Alati sa izolovanim drškama – Svaki alat koji se koristi za spajanje i održavanje električnih instalacija mora biti izolovan i usklađen sa standardima zaštite od strujnog udara.
- Tester napona i zaštitni prekidači – Omogućavaju bezbedno proveravanje napona pre rada na električnim komponentama.



Primer alata sa izolovanim drškama za svaki segment vetroelektrane

Procedura provere i korišćenja zaštitne opreme

Pre početka bilo kakvih radova na montiranju ili demontiranju elemenata vetroelektrane, vrši se inspekcija zaštitne opreme i obavezna obuka radnika. Ključne procedure uključuju:

- Proveru lične zaštitne opreme – Svi radnici moraju proveriti ispravnost svojih kaciga, sigurnosnih pojaseva, rukavica i drugih sredstava pre ulaska u radnu zonu.
- Proveru električne zaštite – Merenje izolacije kablova, ispitivanje uzemljenja i verifikacija sistema za zaštitu od prenapona obavljaju se pre rada na 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 slediti definisane procedure za bezbedno rukovanje opremom, uključujući pravila zaključavanja i označavanja (LOTO – Lockout/Tagout) kako bi se sprečili nenamerni startovi sistema.

Hitne mere i plan evakuacije

Pored standardne zaštitne opreme, svaki tim koji radi na montaži i demontaži vetroelektrane 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 mesta, 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 povređenih.

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



VEŽBA

Lična ili kolektivna zaštitna oprema u vetroelektranama.

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



KVIZ

Kviz 6 – Provera znanja o zaštitnim sredstvima i opremi:

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

6. IZVOĐENJE ELEKTRIČNIH INSTALACIJA VETROELEKTRANA

6.1. Vrste i osnovni elementi električnih instalacija vetroelektrana

Izvođenje električnih instalacija vetroelektrana obuhvata širok spektar sistema i komponenti neophodnih za stabilan i siguran rad postrojenja. Ove instalacije uključuju energetska instalaciju, 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, merni instrumenti, zaštitni uređaji, kontroleri, elementi uzemljenja i gromobranske zaštite, svetlosni 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 primenjuju u vetroelektranama uključuju neizolovane provodnike, energetska 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 papučiće i kablovske vezice.

Osim toga, izvođenje električnih instalacija zahteva upotrebu odgovarajućeg instalacionog materijala, uključujući razvodne kutije, kanalice, zaštitne cevi, 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 cevi, kablovskih mostova, kablovskih držača i kablovskih snopova.

6.2. Montiranje kablovskih konstrukcija i polaganje kablova električnih instalacija vetroelektrana

Postupak montiranja kablovskih konstrukcija

Montiranje kablovskih konstrukcija započinje planiranjem trase i pozicije kablova. Analizira se teren, izbegavaju prepreke i osigurava da kablovi neće biti izloženi opasnostima poput korozije ili fizičkog oštećenja. Na osnovu potreba vetroelektrane 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 podrazumeva 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 spoljašnjih uticaja. 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 uticaja.

Spajanje kablova izvodi se u spojenim 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 slede završni radovi poput postavljanja zaštita na spojevima, označavanja kablova i dokumentovanja instalacije.

Postupak polaganja i obeležavanja kablova

Pre 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 vetroturbina.
- Signalni kablovi služe za prenos podataka između različitih komponenti sistema.

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

Obeležavanje 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 vrednosti 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** – korišćenje boja, traka ili znakova za naznačavanje prisutnosti kablova ispod zemlje.

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

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

Uticaj prelaznog otpora na performanse sistema:

- **Povećana disipacija toplote** – Loše krimpovan spoj stvara lokalizovano zagrevanje, 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 vetroelektrane.
- **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 pregrevavanja i potencijalnog zapaljenja kablova.

Preporuke za pravilno krimpovanje:

- Korišćenje pravilnog alata za krimpovanje u skladu s preporukama proizvođača.
- Primena odgovarajućih priključnih elemenata (kablovske papučice, spojnice) izrađenih od materijala kompatibilnih sa provodnikom.
- Merenje otpora spoja nakon završetka krimpovanja kako bi se osigurala minimalna disipacija energije.
- Primena termičke inspekcije (npr. termalnim kamerama) za otkrivanje mogućih problematičnih spojeva tokom eksploatacije sistema.

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

Primer postupka izrade kablovskih završetaka za energetske kablove po koracima.

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



PRAKTIČNA VEŽBA

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

Materijal i alat:

- Energetski kablovi odgovarajućeg preseka,
- Alat za uklanjanje izolacije (nož za kablove, klešta za skidanje izolacije),
- Kablovske stezaljke i papučice,
- Alat za krimpovanje,
- Toplotno skupljajuće cevi ili izolaciona traka,
- Multimetar ili ispitivač kontinuiteta,
- Zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočare).

Postupak:

1. Priprema radnog mesta
 - Proveriti da je radno mesto čisto i dobro osvetljeno.
 - Pripremiti sav potreban alat i materijal.
2. Skidanje spoljašnje izolacije (plašta)
 - Pomoću alata za skidanje izolacije pažljivo ukloniti spoljašnji 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).
 - Proveriti 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.



PRAKTIČNA VEŽBA

5. Izolacija spojeva

- Prekriti spojeve toplotno skupljajućim cevima ili izolacionom trakom kako bi se osigurala zaštita od vlage i mehaničkih uticaja.
- Proveriti da je izolacija dobro pričvršćena i da ne ostavlja izložene metalne delove.

6. Testiranje spojeva

- Pomoću multimetra ili ispitivača kontinuiteta proveriti 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 mesto

Završna provera:

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

Spajanje energetskih, upravljačkih i signalnih kablova u vetroelektranama mora biti izvedeno vrlo pažljivo kako bi se osigurala pouzdanost i sigurnost celog elektroenergetskog sistema. Ovaj postupak uključuje razne vrste spajanja i korišćenje 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 spoljašnje 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 krimpuju, potrebno ih je stegnuti pomoću odgovarajućeg alata, čime se osigurava čvrst mehanički spoj. U slučaju spojeva sa šrafovim, pričvršćivanje se vrši zatezanjem šrafa, pri čemu je važno izbeći prekomerno stezanje kako ne bi došlo do oštećenja provodnika.

Nakon što su spojevi pričvršćeni, izoluju se odgovarajućim materijalima poput PVC ili silikonskih cevi, koji štite spoj od spoljašnjih 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 proverio kontinuitet i ispravnost spoja, čime se osigurava pouzdanost i sigurnost energetskog sistema.



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 spoljašnje 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 šrafovim, žice se pričvršćuju zavrtanjem, pri čemu je važno osigurati dobar kontakt bez prekomernog zatezanja.



Spajanje signalnih i upravljačkih kablova

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

Spajanje kablova u vetroelektranama zahteva pažljivo i precizno izvođenje kako bi se osigurala dugoročna pouzdanost sistema. Energetski kablovi, upravljački i signalni kablovi imaju različite zahteve, ali svi spojevi moraju biti izvedeni sigurno, zaštićeni od spoljašnjih uticaja i testirani kako bi se osigurala ispravnost.

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

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

Razvodne table i ormari

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

Namena razvodnih tabli je distribucija električne energije. Primaju električnu energiju od vetroturbina (ili drugih izvora) i distribuiraju je prema različitim potrošačima unutar sistema, kao što su električni motori, generatori, grejanje, sistemi kontrole i drugo. U razvodnim tablama se nalaze zaštitni uređaji poput osigurača, prekidača, releja i zaštitnih sklopki koji sprečavaju 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 delova sistema.

Komandne table i ormari

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

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

Za efikasno upravljanje vetroelektranama 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 promene 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 vetroelektranama ili u onim koje su deo većeg energetski povezanog sistema. Ovi pultovi omogućavaju centralizovano upravljanje i praćenje svih sistema vetroelektrane.

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

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



Upravljačka stanica

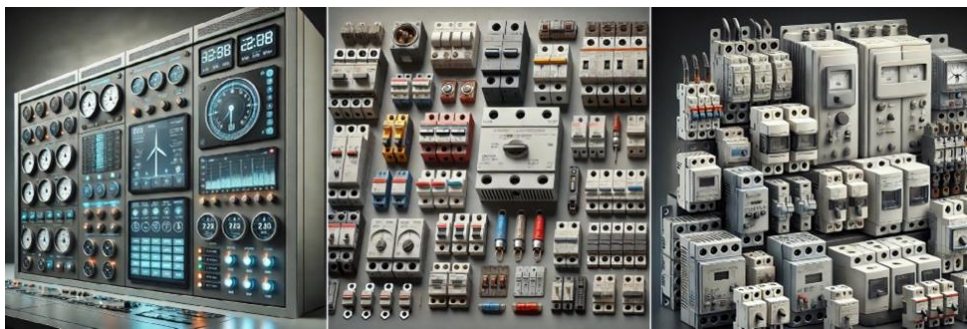
Sigurnost i zaštićenost

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 spoljašnjih uslova: Oprema mora biti zaštićena od vlage, prašine, ekstremnih temperatura i hemikalija, te može imati kućišta s odgovarajućim IP standardima (npr. IP65) za zaštitu od spoljašnjih uticaja.
- Fizička zaštita: Korišćenje zaključavanja i drugih sigurnosnih mera kako bi se sprečio neovlašćeni pristup.

Razvodne i komandne table, ormari i pultovi u vetroelektranama omogućavaju efikasno upravljanje, distribuciju i nadzor električne energije, kao i zaštitu sistema od kvarova i neispravnosti. Ove komponente omogućavaju operaterima da brzo reaguju na promene u sistemu, održavaju sigurnost i pouzdanost te optimizuju rad vetroelektrane, 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, merni 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.

*Merni uređaji**Prekidači, sklopke, osigurači, kontaktori**Odvodnici prenaponsa, zaštitni releji**Signalni uređaji**Upravljački uređaji**Senzori*

Montiranje razvodnih i komandnih tabli, ormara i pultova, te povezivanje elektroinstalacionih elemenata u vetroelektranama je važno sa aspekta osiguranja ispravnog rada, sigurnosti i efikasnosti elektroenergetskih sistema. Ovaj postupak uključuje montažu opreme, spajanje elektroinstalacionih komponenta, te testiranje svih sistema kako bi se osigurao pouzdan rad celog 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 mesta uključuju adekvatnu ventilaciju kako bi se sprečilo pregrevanje opreme, sigurnosne zahteve koji omogućavaju siguran i nesmetan pristup tehničkom osoblju, te zaštitu od spoljašnjih faktora, pri čemu se, zavisno od okruženja, koriste zaštitna kućišta s odgovarajućom IP zaštitom, npr. IP65 za spoljašnju 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 vetroelektrane. Ovi elementi uključuju ekrane, tastere, prekidače i komunikacijske uređaje potrebne za nadzor i upravljanje.

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



PRAKTIČNA VEŽBA

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, merni uređaji, senzori, odvodnici prenapona, zaštitni releji, upravljački uređaji, signalni uređaji),
- Šrafovi, tiplovi i pričvrtni materijal,
- Alat za bušenje i montažu (bušilica, odvijači, ključevi),
- Izolacioni materijal (izolacione cevi, trake),
- Multimetar za proveru ispravnosti spojeva,
- Zaštitna oprema (rukavice, zaštitne naočare)

Postupak izvođenja:

1. Priprema radnog mesta
 - Osigurati da je lokacija montaže suva, prozirna i lako dostupna.
 - Proveriti 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 tiplovima.
3. Ugradnja elektroinstalacionih elemenata
 - Ugraditi zaštitne sklopke, osigurače i prekidače prema zadatoj šemi.
 - Postaviti merne 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.
 - Proveriti ispravnost priključaka i osigurati odgovarajuću izolaciju.



PRAKTIČNA VEŽBA

5. Postavljanje zaštitnih poklopaca i vrata

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

6. Testiranje i verifikacija

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

Završna provera:

- 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, uspostaviti elektroenergetske veze i implementirati sisteme zaštite i kontrole.

Planiranje i priprema elektroinstalacija započinje proverom 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 merama.

Povezivanje zaštitnih uređaja obuhvata pravilnu ugradnju osigurača, prekidača i sklopki kako bi se sprečilo 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 usled naponskih udara.

Povezivanje napajanja i kontrolnih vodova podrazumeva 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 promenu stanja sistema na osnovu operativnih parametara. Senzori su integrisani s nadzornim i kontrolnim uređajima, omogućavajući praćenje ključnih parametara poput temperature, napona, struje i brzine vetra.

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



Unutrašnjost gondole vetroturbine

Nakon završetka povezivanja, testiranje i provera spojeva ključni su koraci u osiguravanju ispravnosti sistema. Električno testiranje uključuje ispitivanje kontinuiteta, izolacije i ispravnosti svih spojeva pomoću multimetra ili specijalizovanih uređaja. Vizuelna provera 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 vetroelektrana

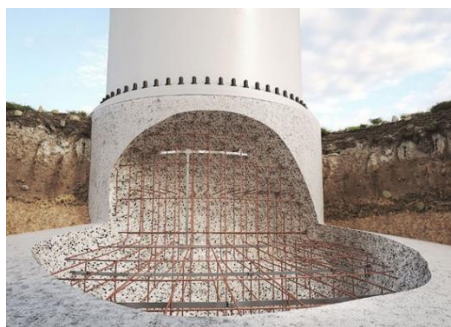
U vetroelektranama, uzemljivački sistemi igraju ključnu ulogu u sigurnosti, stabilnosti i zaštiti elektroenergetskih uređaja i ljudi. Uzemljivački sistem omogućuje sigurno otklanjanje električnih struja u slučaju kvara, smanjuje opasnost od električnog udara i osigurava pravilno funkcioniranje sistema.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

Uzemljivački sistem vetroagregata (vetroturbine)

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

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

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



Uzemljenje vetroturbine

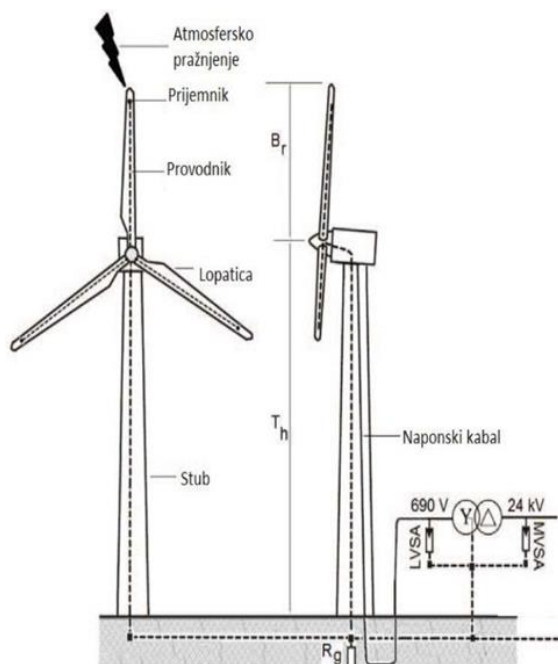
Uzemljivački sistem transformatorskih stanica

Transformatorske stanice u vetroelektranama 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 delovi 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 raspodelila energija u slučaju kratkog spoja i smanjio rizik od preopterećenja. Uzemljivački sistem transformatorskih stanica takođe pomaže u zaštiti opreme od prenapona koji mogu nastati usled munje ili drugih smetnji.

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



Sistem uzemljenja pri direktnom udaru groma

Uzemljivački sistem električne mreže vetroelektrane

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

U vetroelektranama može postojati centralizovani uzemljivački sistem koji povezuje sve komponente sistema (vetroturbine, transformatorske stanice, vodove i uređaje) sa zajedničkim uzemljivačem. Elektroinstalacije i oprema u mreži povezani su s zemljom pomoću zemljanih provodnika. 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 vetroelektrane, ovi uzemljivači mogu biti postavljeni duž celog objekta.

Uzemljivački sistem mreže takođe uključuje zaštitu od strujnih udara (munja) pomoću prenaponskih zaštita, koje omogućavaju sigurno usmeravanje naponskih udaraca 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 korišćeni 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 takođe je vrlo važna u vetroelektranama, 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 usmeravaju višak energije u uzemljivački sistem.

Uzemljivački sistemi u vetroelektranama, uključujući uzemljenje vetroturbina, transformatorskih stanica i električnih mreža, imaju ključnu ulogu u osiguravanju sigurnosti ljudi i zaštiti opreme od kvara i šteta. U zavisnosti od veličine i specifičnosti vetroelektrane, sistemi uzemljenja mogu biti vrlo kompleksni, ali uvek 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. Merenje i kontrola performansi komponenti vetroturbina

Merenje i kontrola performansi komponenti vetroturbina 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.

Merenje tehničkih parametara komponenti vetroturbina

- **Brzina vetra i performanse lopatica** – Anemometri i vetrokazi mere ulazne parametre vetra 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 pregrevavanje kritičnih delova.
- **Napon i struja generatora** – Analizom električnih parametara osigurava se stabilna proizvodnja energije.
- **Efikasnost prenosnog sistema** – Merenje 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** – Proverava se ispravnost spojeva, pričvršćenja i integritet konstrukcije.
- **Električna merenja** – Testira se napon, struja i kontinuitet provodnika.
- **Funkcionalno testiranje** – Aktivira se sistem za nadzor i kontrolu, proveravajući 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 vetroturbina, smanjujući rizik od neplaniranih kvarova i zastoja.

7. ODRŽAVANJE OPREME I MONITORING U VETROELEKTRANAMA

7.1. Vrste održavanja i aktivnosti pri održavanju vetroelektrana

Održavanje vetroelektrana ključno je za osiguranje njihovog nesmetanog i dugotrajnog rada, smanjenje rizika od kvarova te optimizaciju proizvodnje električne energije. Postoje dve osnovne vrste održavanja vetroelektrana: preventivno i korektivno održavanje. Preventivno održavanje obuhvata redovne aktivnosti s ciljem sprečavanja kvarova i produženja radnog veka opreme. U okviru ovog održavanja sprovode se vizuelni pregledi, planirane zamene potrošnih delova 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.



Praćenje rada vetroelektrana podrazumeva merenje 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 smer vetra, 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 vetroagregata. Vizuelni pregledi omogućavaju pravovremeno uočavanje znakova habanja, oštećenja ili nepravilnosti u radu. Preventivni radovi podrazumevaju podmazivanje pokretnih delova, čišćenje sistema i zamenu potrošnih delova pre nego što dođe do otkaza. Pored toga, sprovode se i preventivna ispitivanja stanja elemenata, uključujući testiranje električnih i mehaničkih karakteristika opreme, čime se može predvideti potencijalni kvar.



Vizuelni pregledi

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

Za precizno praćenje rada vetroagregata koriste se različiti merni uređaji. Električne veličine se mere pomoću digitalnih multimetara, osciloskopa, mrežnih analizatora, megaommetara, vatmetara i frekvencometara. Neelektrične veličine se prate pomoću termometara, termovizijskih kamera, anemometara, vetrokaza, 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 vreme pregleda, naziv vetroelektrane i podatke o opremi. Takođe, sadrži opis uočenih problema, izvršenih merenja i vrednosti izmerenih parametara. Na kraju, u protokolu se navode preporuke za buduće aktivnosti održavanja, čime se osigurava dugotrajna pouzdanost i bezbednost rada sistema.

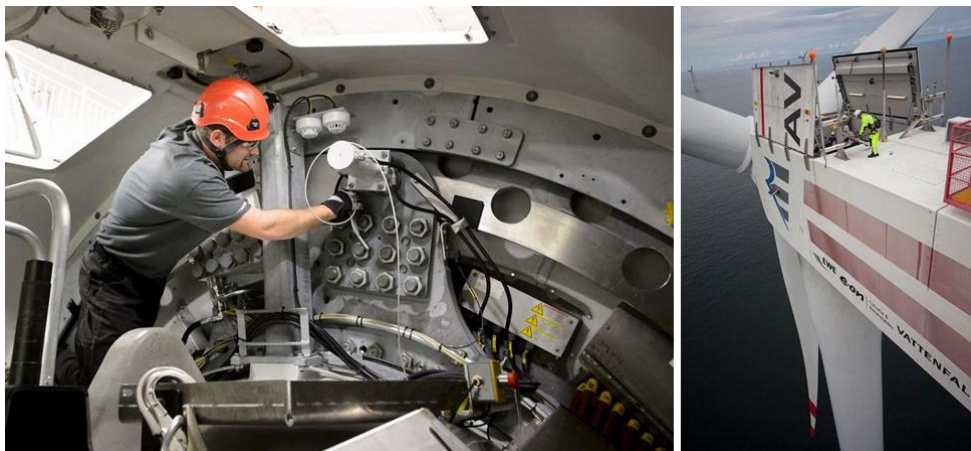
7.2. Radovi preventivnog održavanja elemenata vetroelektrana

Preventivno održavanje vetroelektrana ključno je za osiguranje njihovog dugotrajnog i pouzdanog rada. Ove aktivnosti omogućavaju pravovremeno otkrivanje potencijalnih problema i sprečavanje 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 promene u strukturi koje bi mogle ugroziti stabilnost tornja. Toranj se proverava 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 proverava 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 proveravaju zbog mogućih kvarova, prekida električnih veza i pregrevavanja.

Preventivni radovi obuhvataju podmazivanje ležajeva i mehaničkih delova, zamenu istrošenih ili oštećenih delova, čišćenje elemenata, proveru rada i kalibraciju senzora, mernih uređaja i kontrolnih sistema, pritezanje spojeva i kontakata te obnavljanje antikoroziivnih premaza. Sve ove aktivnosti imaju za cilj održavanje sistema u optimalnom stanju i produženje njegovog radnog veka.

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. Provera aktivnih alarma na sistemu daljinskog upravljanja omogućava brzo reagovanje u slučaju nepravilnosti. Ispitivanje izolacije, stanja ulja i buke transformatora pomaže u proceni njegovog trenutnog stanja i predviđanju mogućih problema.



Preventivno održavanje vetroturbine

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



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak 1: Vizuelni pregled elemenata vetroelektrana

Izvrši vizuelni pregled ključnih elemenata vetroelektrane 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 izveštaj 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 izveštaj s preporukama.

Zadatak 2: Merenje električnih i neelektričnih veličina

Izvrši merenja karakterističnih parametara rada vetroelektrane. Materijal i alat:

- Digitalni multimetar,
- Anemometar,
- Termovizijska kamera,
- Merni protokol.

Postupak:

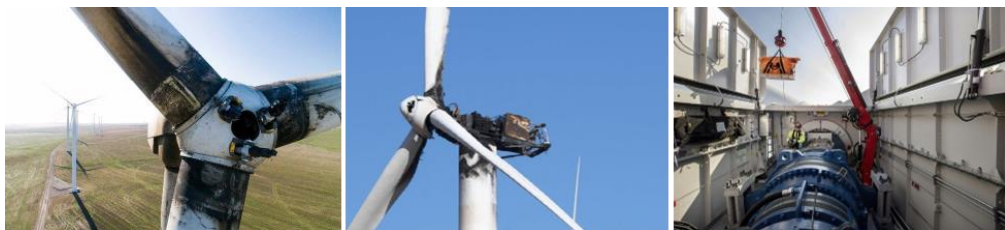
1. Postaviti uređaje za merenje na odgovarajuće tačke.
2. Izmeriti napon, struju, frekvenciju i snagu.
3. Izmeriti temperaturu ključnih komponenti.
4. Upisati rezultate u merni protokol i analizirati vrednosti.

Ove praktične vežbe je moguće izvesti u saradnji sa lokalnom kompanijom koja održava vetroelektranu.

7.3. Radovi korektivnog održavanja elemenata vetroelektrana

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

Otklanjanje kvarova zahteva odgovarajuće materijalne resurse, uključujući zamenske delove, 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 pregled sistema kako bi se utvrdio uzrok problema. Kada se kvar identifikuje, pristupa se njegovom otklanjanju, što može uključivati popravku oštećenih komponenti, zamenu neispravnih elemenata i ponovno usklađivanje sistema automatskog upravljanja.



Primeri kvarova za korektivno održavanje

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

Kombinacijom preventivnog i korektivnog održavanja obezbeđuje se pouzdan rad vetroelektrana, smanjuju se neplanirani zastoji i produžava vek trajanja ključnih komponenti sistema.



PRAKTIČNA VEŽBA

Zadatak: Dijagnostika kvara

Identifikuj kvar na sistemu pomoću dijagnostičkih uređaja. Materijal i alat:

- Osnovna dokumentacija o sistemu,
- Multimetar i osciloskop,
- Zaštitna oprema.

Postupak:

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

Ove praktične vežbe je moguće izvesti u saradnji sa lokalnom kompanijom koja održava vetroelektranu

7.4. Radovi održavanja električnih instalacija vetroelektrana

Održavanje električnih instalacija vetroelektrana obuhvata niz aktivnosti usmerenih na osiguranje pouzdanog i bezbednog 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 zamena istrošenih komponenti smanjuju rizik od kvarova i osiguravaju stabilnost napajanja.

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

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

Merenje otpora izolacije i uzemljenja ključni su koraci u proceni stanja električnih instalacija. Ova ispitivanja se vrše pomoću specijalizovanih uređaja kao što su megaommetar i uređaji za ispitivanje otpora uzemljenja, čime se osigurava ispravan rad i umanjuju sigurnosni rizici.

Otklanjanje kvarova na električnim instalacijama podrazumeva preciznu dijagnostiku, zamenu neispravnih komponenti i testiranje funkcionalnosti sistema pre njegovog ponovnog puštanja u rad. Svaka intervencija mora biti sprovedena u skladu sa sigurnosnim standardima kako bi se obezbedila pouzdanost i bezbednost rada.

Ove praktične vežbe je moguće izvesti u saradnji sa lokalnom kompanijom koja održava vetroelektranu.



PRAKTIČNA VEŽBA

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

Materijal i alat:

- Dokumentacija o instalacijama,
- Inspeksijska lampa,
- Zaštitna oprema.

Postupak:

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



KVIZ

Kviz 7: Održavanje opreme u vetroelektranama:

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

7.5. Prikupljanje, obrada i čuvanje podataka u vetroelektranama

Monitoring i praćenje parametara sistema u vetroelektranama postaju sve značajniji segmenti u industriji obnovljive energije. Razvoj tehnologije omogućio je preciznije i pouzdanije prikupljanje podataka, čime se poboljšava rad i efikasnost vetroturbina, a ujedno i optimizuje njihovo održavanje. Sve veća upotreba pametnih senzora, analitičkih softvera i *cloud* rešenja 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 vetroelektrana, 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 vetroelektrane.
- **Funkcija:** Integracija i upravljanje podacima sa senzora, meteoroloških stanica, invertera i drugih komponenti sistema. Takođe omogućava daljinsko praćenje performansi i otkrivanje kvarova.
- **Primena:** Koristi se za optimizaciju rada vetroturbina, prediktivno održavanje i poboljšanje efikasnosti proizvodnje električne energije.

Komunikacijski kabl

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

Server

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

Softver za upravljanje vetroelektranama

- **Opis:** Sveobuhvatna softverska rešenja za upravljanje i optimizaciju rada vetroelektrana.
- **Funkcija:** Vizualizacija podataka, analitika performansi i podrška pri donošenju odluka za operatore.
- **Primena:** 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 vetroelektrane.
- **Funkcija:** Nadzor nivoa buke, aktivnosti divljih životinja i promena u staništu.
- **Primena:** Osigurava usklađenost s ekološkim propisima i umanjuje ekološki otisak vetroelektrane.

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

Senzori i merni uređaji

- **Anemometar** – Meri brzinu vetra, što je ključno za optimizaciju rada vetroturbina.
- **Vetrokaz (Wind vane)** – Pokazuje pravac vetra i pomaže u automatskom usmeravanju gondole (yaw sistema).
- **Temperaturni senzori** – Prate temperaturu okoline, generatora, ležajeva i drugih komponenti.
- **Senzori vibracija** – Nadgledaju stanje ležajeva, rotora i drugih mehaničkih delova 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 vetroelektrane, kao što su Data Manager, SCADA sistemi i serverska infrastruktura.
- **4G/5G ili satelitski modemi** – Omogućavaju daljinsku komunikaciju između vetroelektrane 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 vetroparka.

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) sistem

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

Sistemi za čuvanje podataka i analizu

- **Data Logger** – Uređaj koji beleži podatke iz senzora i mernih uređaja za kasniju analizu.
- **Lokalni serveri** – Obezbeđuju 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 obezbeđuju neprekidno napajanje ključne komunikacione i upravljačke opreme u slučaju nestanka struje.
- **Funkcija:**
 - Štiti podatke i sisteme od gubitka podataka usled nestanka napajanja.
 - Održava kontinuitet rada serverskih i SCADA sistema.

Cybersecurity oprema i softver

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

Kamere i sigurnosni sistemi

- **Termalne kamere** – Koriste se za detekciju pregrevavanja ili drugih anomalija u opremi.
- **IP nadzorne kamere** – Omogućavaju praćenje rada vetroturbina i zaštitu objekata vetroelektrane.
- **Dronovi sa kamerama i senzorima** – Koriste se za inspekciju lopatica, nosača i drugih teško dostupnih delova turbina.

8. ZAKLJUČAK I PREPORUKE

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

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

Budućnost elektroenergetskih sistema zasniva se na sve većem korišćenju obnovljivih izvora energije, a vetroelektrane 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 deo ovog perspektivnog sektora.

Značaj edukacije u oblasti vetroenergije 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 uspešno odgovoriti na tehničke i operativne izazove instalacije, održavanja i upravljanja elektroenergetskom opremom u vetroelektranama. 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 sveta.

Stoga, obrazovni programi i stručne obuke postaju ključni faktor u osposobljavanju nove generacije tehničara i inženjera koji će igrati ključnu ulogu u daljoj ekspanziji vetroelektrana. 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 vetroenergije. Njihova uloga u očuvanju energetske stabilnosti, zaštiti životne sredine i primeni inovativnih rešenja biće od presudnog značaja u narednim godinama.

Nadamo se da će ovaj materijal poslužiti kao sigurna osnova za uspešnu primenu stečenih znanja i veština te doprinositi daljem razvoju obnovljivih izvora energije.

Literatura i korišćeni izvori

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

Organizacije i standardizacijski izvori:

- European Wind Energy Association (EWEA) – www.ewea.org
- Global Wind Energy Council (GWEC) – www.gwec.net
- IEEE Power & Energy Society – www.ieee-pes.org
- International Electrotechnical Commission (IEC) – www.iec.ch
- International Electrotechnical Commission (IEC). (2019). IEC 61400-1: Wind Turbines - Design Requirements
- International Energy Agency, Paris, France. (2017). World Energy Outlook Special Report
- Međunarodna agencija za obnovljive izvore energije (IRENA) – www.irena.org
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2017). Guidelines for Wind Energy Workers - Safety and Best Practices
- 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:
- VDE - Association for Electrical, Electronic & Information Technologies – www.vde.com
- <https://ieeexplore.ieee.org/document/8467935>
- <https://www.energyencyclopedia.com/>
- <https://www.engie.com/en/activities/renewable-energies/wind-energy/recycling-wind-turbines>
- <https://epa.org.me/wp-content/uploads/2023/09/DOKUMENTACIJA-ZA-ODLUCIVANJE-O-POTREBI-IZRADE-ELABORATA-PROCIJENE-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.windssystemsmag.com/maintaining-a-maintenance-plan/>

Sajtovi sa kojih su preuzete slike:

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



