

Miljenko Primorac¹

Racionalizacija iskorištavanja električne energije u drvnoindustrijskim pogonima*

Rationalization of electricity use in wood industry plants

Stručni rad • Professional paper

Prispjelo - received: 17. 07. 2003. • Prihvaćeno - accepted: 17. 11. 2003.

UDK 674.093:65.011.4, 674.093:658.26

SAZETAK • Električna se energija iskorištava u pogonima drvne industrije uglavnom za elektromagnetne i svjetlosne učinke, a manje za toplinska i kemijska djelovanja. U radu su razmatrani takvi učinci električne struje koji se najčešće koriste u pogonima. Načini racionaliziranja trošenja energije posebno su razmatrani u električnoj rasvjeti i elektromotornom pogonu kao glavnoj potrošnji. Razmatran je način obračuna električne energije u skladu s vazećim tarifnim sustavom Republike Hrvatske koji se primijenjuje od 1. rujna 2002. godine. Tako je analizirana potrošnja triju pogona u kojima je udio cijene električne energije 3 %, 5 % i 10 % u cijeni gotovih proizvoda. U tri različita drvnoindustrijska pogona obračunom potrošnje energije prema vazećemu tarifnom modelu dobivene cijene za 1 kWh električne energije iznose 0,47, 0,58 i 0,64 kuna. Za gospodarenje i racionalizaciju potrošnje električne energije nužno je poznavati osnovne zakonitosti.

Ključne riječi: električna energija, drvnoindustrijski pogoni, učinci električne struje, tarifni modeli

ABSTRACT • Electricity in wood industry plants is mainly used for electromagnetic and light effects and to a lower extent for thermal and chemical effects. This paper elaborates the electricity effects most frequently used in the plants. The ways of rationalization of electricity consumption are particularly analysed in terms of electrical lighting and electric-motor drive as the main points of consumption. The manner of electricity calculation is analysed in accordance with the applicable tariff system of the Republic of Croatia in effect since 1st September 2002. Thus the analyses has been carried out of three plants with the share of the electricity price of 3 %, 5 % and 10 % in the price of end products. By calculation of energy consumption pursuant to the applicable tariff model in

¹Autor je izvanredni profesor na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

¹Author is associate professor at the Faculty of Forestry of the Zagreb University.

* Dio ovog rada predstavljen je na savjetovanju "Energetika u drvnj industriji", AMBIENTA, Zagrebački velesajam, 17. listopada 2002.

three different wood industry plants, the prices of HRK 0.47, HRK 0.58 and HRK 0.64 have been obtained for 1 kWh of electricity. In order to provide good management and rationalization of electricity consumption it is necessary to observe and understand some basic regularities.

Keywords: electricity, wood industry plants, electricity effects, tariff models

1 UVOD 1 INTRODUCTION

Električna je energija osnovna pogonska energija u drvnoj industriji (DI). Ona ima svoju cijenu bez obzira na način obračunavanja, tj. tarifni sustav. Jedan je od osnovnih ciljeva drvnoindustrijskih tvrtki osigurati kvalitetnu električnu energiju za rad pogona tako da broj utrošenih kilovatsati (kWh) bude što manji, a to znači i nižu cijenu gotovih proizvoda. Udio cijene električne energije u cijeni gotovih proizvoda kreće se od oko 3 do 10 %. Racionalnim trošenjem električne energije taj je udio moguće svesti na minimum i povećati konkurentnost proizvoda koja se teže postiže nekim drugim načinima.

Da bi se električna energija optimalno iskoristila, potrebno je određeno znanje i poznavanje toga područja. Zbog toga ovdje iznosimo drvnoj industriji prilagođene spoznaje koje mogu biti korisne onima koji se bave racionalizacijom potrošnje energije u proizvodnji. Učinci su električne struje (statički elektricitet nije razmatran) kemijski, toplinski, svjetlosni i elektromagnetni, te su poglavlja ovoga rada tako i poredana, nakon čega su navedene i osnove obračuna električne energije i tarifnih sustava.

2 KEMIJSKO DJELOVANJE ELEKTRIČNE STRUJE 2 CHEMICAL EFFECTS OF ELECTRICITY

Utrošak električne energije za proizvodnju kemijskog učinka u pogonima drvene industrije relativno je zanemariv i najčešće se odnosi na punjenje akumulatorskih baterija za villičare. Tako je za jedno punjenje akumulatorske baterije 40 V/175 Ah potrebno korisnih 7 kWh, odnosno za energetski stupanj korisnosti nazivnog punjenja 0,75 utroši se 9,3 kWh.

3 TOPLINSKO DJELOVANJE ELEKTRIČNE STRUJE 3 THERMAL EFFECTS OF ELECTRICITY

Pretpostavka je da se toplina potrebna za grijanje, sušenje u komorama i parenje u parnim jamama ne dobiva iz električne

energije jer su za to potrebne velike količine topline. Ekvivalent toplini dobivenoj od 1 m³ zemnog plina ili 1 kg loživog ulja je oko 10 kWh električne energije ili 4 kg slabije prosušenih drvnih ostataka ogrjevnosti 13,4 MJ/kg, uz korisnost ložišta 70 %. Gubitak ložišta izračunava se tako da se od temperature dimnih plinova na izlazu oduzme temperatura okoline i taj iznos podijeli temperaturom ložišta umanjenom za temperaturu okoline. Cijena jednake količine topline dobivene od plina manja je 3 do 5 puta nego od električne energije prema sadašnjem odnosu cijena. Za proizvodnju topline potrebne za tehnološke procese i grijanje redovito služe pogonski drveni ostaci.

Međutim, za određene toplinske procese električna je energija ipak nezamjenjiva. Takvi su procesi **visokofrekventnog** zagrijavanja i sušenja ljepljiva pri prešanju otpresaka ili sušenja proizvoda posebne namjene kao što su kalupi.

Visokofrekventno električno polje zbog dielektričnih gubitaka (jer se polarizacija neprestano mijenja) istodobno razvija u dielektriku toplinu po cijelom presjeku. Radno iskorištenje električne energije određeno je omjerom učinka u obratku i učinka na ulasku u generator, i ono je bolje što je manje vanjsko rasipanje električnog polja. Općenito se može očekivati iskorištenje između 40 i 65 % (Wetzel, 1980).

Zagrijavanje omskim otporom R i strujom jakosti I proizvodi se učinak $P=I^2R$ i postiže gotovo potpuna korisnost. Tijekom zagrijavanja pri furniranju savitljivim **metalnim trakama** (obično čeličnim ili aluminijским) dio energije troši se na toplinske gubitke koji ovise o kvaliteti izolacije trake, a dio odlazi na toplinske gubitke u vodovima i u transformatoru pomoću kojega se jakost struje prilagođava odgovarajućem intenzitetu grijanja plohe izražene u kW/m².

Zagrijavanje prostora električnom energijom korištenjem omskoga otpora grijača preskupo je u odnosu prema drugim načinima zagrijavanja. Ako se za zagrijavanje prostora ipak rabi električna energija, može se koristiti **toplinska pumpa** za zagrijavanje. Toplinska pumpa radi na načelu ljevokretnoga Carnotova kružnog procesa. Ona uzima toplinu iz (hladnije) okoline i privodi je u topli prostor. Za usporedbu zamislimo hladnjak sa zamije-

njenom armaturom tako da ono što je redovito vani (kompresor, kondenzator) instaliramo u unutrašnjost, a ono što je unutar hladnjaka (isparivač) stavimo izvana. Tada će hladnjak iz okoline uzimati toplinu i zagrijavati unutrašnjost u kojoj se može postići visoka temperatura (npr. 60 °C i zagrijavati voda!), ovisno o vanjskoj temperaturi. Za utrošak jednog kWh električne energije može se dobiti više od jednog kWh (3,6 MJ) topline. Koliko će se dobiti topline, ovisi o vanjskoj temperaturi (npr. za vanjsku temperaturu veću od 10 °C dobit će se oko tri puta više topline, a granica učinkovitosti je oko -5 °C!). Takva izvedba može biti povezana s klimatizacijskim uređajima.

4 SVJETLOŠNO DJELOVANJE ELEKTRIČNE STRUJE

4 LIGHT EFFECTS OF ELECTRICITY

Svjetlosno djelovanje električne struje očituje se u luminescentnom zračenju kao jednome od načina proizvodnje vidljivog zračenja. Drugi je način toplinsko zračenje. Svjetlosni efekt električne struje očituje se u svjetlosnim cijevima, koje se u pogonima rabe za rasvjetu. U prostorima strojne obrade drva potrebna je srednja rasvijetljenost (osvjetljaj) od 250 lx (luksa) (Plavec i Jurjević, 1980). Za tu razinu opće rasvjete u proizvodnim halama drvne industrije služe **fluorescentne cijevi (FC)**. Uglavnom se primjenjuju FC bijele boje (BB) s temperaturom boje od 4300 K ili FC bijele boje deluxe (BBX), temperature boje 4000 K. U pogonu za proizvodnju namještaja koriste se još FC danjeg svjetla (DS), temperature boje 6500 K i danje svjetlo deluxe (DSX) od 6000 K.

Fluorescentne cijevi promjera 38 milimetara više se i ne proizvode jer su ih zamijenile **cijevi promjera 26 milimetara** koje za isti svjetlosni tok imaju za oko 10 % manju snagu, dulji vijek trajanja (8000 sati), manju težinu cijevi za 30 % i volumen skladištenja manji za 40 %. Svjetlosno iskorištenje kreće se od 50 do 90 lm/W (lumena po vatu), ovisno o snazi i boji.

Za paljenje svjetiljki (sigurno do -20 °C) potrebni su prigušnici (prilagođena naponu mreže i tipu cijevi) i starter (umjesto prigušnice rabi se i elektronska predspojna naprava). Za kompenzaciju faktora snage služi kondenzator. Pri osvjetljenju pogona FC cijevima na rotirajućim dijelovima može nastati stroboskopski efekt, koji se smanjuje duo spojem cijevi (jedan induktivni spoj kada je cijev samo u seriji s prigušnicom i jedan kapacitivni spoj kada je u seriji s prigušnicom još jedan kondenzator) ili priključivanjem na tri faze, tj. na svakoj fazi jedna cijev. Zbog strobosko-

pskog se efekta (npr. rotirajuća kružna pila čini se kao da miruje) događaju nezgode.

Ukupna potrošnja električne energije ostvaruje se u FC cijevi i prigušnici. Tako je za snagu cijevi od 36 W snaga s prigušnicom 46 W, a za 58 W iznosi 71 W. Trajnost cijevi ovisi o mrežnom naponu i broju uključivanja na dan. Viši napon i veći broj uključivanja na dan smanjuju trajnost cijevi. S vremenom se smanjuje svjetlosni tok za jednaki utrošak električne energije. Granicu trajnosti FC cijev dosegne kada se svjetlosni tok smanji ispod 80 % nazivnoga i tada cijev treba mijenjati. Inače ona i dalje daje neki, sve manji tok i tako može trajati i trošiti energiju i tri puta dulje od nazivne trajnosti. Kada se dokraja istroše i počnu "žmigati", FC cijevi i tada troše jednaku energiju kao kada normalno svijetle. Često se u pogonskim halama može uočiti dosta takvih primjera. Na primjer, za 100 cijevi snage 71 W za 8 sati potroši se 56,8 kWh. FC cijevi daju nazivni svjetlosni tok pri temperaturi okoline od 20 °C. Za više, a pogotovo za niže temperature svjetlosni je tok manji. Tako pri 0 °C ili 60 °C cijev daje oko 60 % nazivnoga svjetlosnog toka. Pri -15 °C FC cijev daje samo 20 % nazivnoga svjetlosnog toka.

Starteri (propaljivači) za FC cijevi omogućuju paljenje, a time i svijetljenje cijevi. Od njih se zahtijeva sigurnost paljenja u određenom rasponu okolnih temperatura, npr. od -20 °C do + 80 °C. Dobra je mogućnost startera automatsko isključivanje neispravnih cijevi iz rasvjetnog sustava, a time i štednja električne energije i do 20 % u rasvjetnom sustavu s fluorescentnim cijevima (Begović, 1981; Jermić, 1970; Kuhta, 1981). Proizvođači FC cijevi preporučuju da se s istrošenim cijevima zamijene i pripadajući starteri (Prospekt o izvorima svjetlosti - TEŽ, OSRAM, Philips).

U sve više zemalja propisano je da se pri nabavi novih cijevi zbog ekoloških razloga proizvođaču dostave istrošene cijevi. Zbog ekoloških razloga proizvode se **ekološke cijevi** s manjom količinom žive (npr. TEŽ proizvodi cijevi EKOWATT).

U unutrašnjoj rasvjeti, za osvjetljenje industrijskih hala, skladišta i sličnih prostora, te za vanjsku rasvjetu npr. stovarišta koriste se visokotlačne živine žarulje s elipsoidnim staklenim balonom na kojega je s unutarnje strane nanesen fluorescentni prah. Imaju trajnost 20 000 sati i svjetlosno iskorištenje ovisno o snazi, od 46 do 60 lm/W. Nakon gašenja trebaju im 3 do 5 minuta za ponovno paljenje, a za ugradnju trebaju prigušnicu i kondenzator (Jermić, B., 1970; Prospekt o izvorima svjetlosti, TEŽ, Zagreb). Danas se one zamjenjuju visokotlačnim natrijevim žaruljama u kojih se jednako snagom postiže 80 do 110 % veći svjetlosni tok. Izvode se u eliptičnom i

cijevastom obliku. Stoga te žarulje od 50 W i 70 W mogu bez problema zamijeniti žarulje sa žarnom niti u raznim uvjetima rasvjete. Visokotlačne natrijeve žarulje s povećanim svjetlosnim tokom od 50 do 400 W imaju svjetlosnu iskoristivost od 80 do 140 lm/W, trajnost 28 000 sati i temperaturu boje 2 200 K, dok visokotlačne živine žarulje imaju temperaturu boje oko 4 000 K. Visokotlačne natrijeve žarulje moraju u spoju imati odgovarajuću prigušnicu i starter te za kompezaciju kondenzator. Starter mora dati impuls vršnog napona od 3 do 4,5 kV pa u vanjskim instalacijama mora biti mehanička zaštita od kapajuće vode IP54 (Hrustek, 1984; Prospekt o izvorima svjetlosti - TEŽ, Zagreb).

Visokotlačne žarulje miješane svjetlosti mogu izravno zamijeniti standardne žarulje, a imaju 35 do 65 % bolju svjetlosnu iskoristivost i trajnost 10 000 sati, dok je trajnost žarulja oko 1 000 sati.

Niskotlačne natrijeve žarulje (NTNa) izvori su svjetlosti s najvećom svjetlosnom iskoristivosti u usporedbi sa svim ostalim svjetlosnim izvorima, a ona iznosi od 100 do 183 lm/W za snagu od 18 do 180 W. Trajnost im je 5 000 sati. Zrače žutu svjetlost valne duljine 568 - 589 nm, što odgovara dijelu vidljivog spektra u kojemu je osjetljivost ljudskog oka maksimalna (Podlipnik, 1978). Primjenjuju se za javnu rasvjetu prometnica, velikih prostora, u nekim industrijama, za rasvjetu fasada itd. Temperatura okoline od -30 °C do +40 °C ne utječe na rad i svjetlosni tok NTNa.

Općenito, instalacije električne rasvjete izvode se odvojeno od instalacija za elektromotorni pogon, a za veće industrijske pogone odvojen je transformator za električnu rasvjetu. Osim na kvalitetu rasvjete, to također utječe na racionalno iskorištavanje električne energije za rasvjetu.

5 ELEKTROMAGNETNO DJELOVANJE ELEKTRIČNE STRUJE

5 ELEKTROMAGNETIC EFFECTS OF ELECTRICITY

Na ovom učinku električne struje u drvnoindustrijskim pogonima rade električni transformatori i električni strojevi.

5.1 Transformatori

5.1 Transformers

Pogoni obično primaju električnu energiju na srednjem naponu (od 1 kV do 110 kV) i opskrbljuju pogon pomoću transformatora, kojih može biti više, spojenih paralelno. U njima se pojavljuju gubitci u transformatorskim limovima zbog vrtložnih struja i premagnetiziranja, koji su neovisni o opterećenju, dok gubitci u bakru ovise o opterećenju.

Električna su brojila često na viskonaponskoj strani te se gubitci transformatora također uračunavaju u potrošnju električne energije, zbog čega je i cijena energije različita od one kada se brojilo nalazi na niskonaponskoj strani. Gubitci zbog opterećenja mijenjaju se s kvadratom opterećenja, tj. kvadratom jakosti struje, i s temperaturom namota (el. otpor raste s temperaturom) pa se deklariraju pri referentnim temperaturama. Tako trofazni uljni transformatori u spoju Dy5 za viši napon 20 000/ 10 000 V i niži 400/231 V, nazivne snage 250 kVA, u praznom hodu imaju gubitke 650 W, a zbog tereta 3 250 W i napon kratkog spoja 6 %, dok isti transformator snage 1 600 kVA ima gubitke u praznom hodu 2 550 W a zbog tereta 19 800 W (Plavec i Jurjević, 1980).

Granično zagrijavanje transformatora najveći je dopušteni porast temperature dijelova transformatora prema rashladnom sredstvu. Mjeri se metodom promjene otpora ili termometrom. Granično zagrijavanje ovisno je o toplinskoj klasi izolacije (A za 60 °C, E za 75 °C, B za 80 °C, F za 100 °C, H za 125 °C u suhim transformatora pri temperaturi okolnog zraka 40 °C, mjereno metodom promjene otpora). Preopterećenje uljnih transformatora može biti svakodnevno ciklično ili pri pogonu u nuždi. Pri cikličnom preopterećenju ne bi smjelo doći do ubrzanog starenja transformatora. Tijekom pogona u nuždi treba ocijeniti koja je veća šteta, ubrzano starenje transformatora ili prekid pogona.

5.2 Sinkroni generatori

5.2 Synchronized generators

Većina pogona drvne industrije posjeduje dizelski elektroagregat sastavljen od dizelskog motora i sinkronoga samouzbuđenoga generatora. Postane li kvaliteta energije loša ili dođe do prekida u napajanju električnom energijom motor-generator automatski će startati i nakon postignutih nazivnih veličina napona i frekvencije uključiti će se kritični potrošači. Do nakon polovice 20. stoljeća u pilanama su korišteni nepokretni lokomobili za proizvodnju mehaničke energije koja se sa zamašnjaka pomoću užadi transmisijom prenosila do radnih strojeva, a druga je transmisija usmjerena na generator električne energije potrebne za opskrbu pogona (uglavnom za rasvjetu).

Danas se za proizvodnju električne energije mogu koristiti kondenzacijski parni strojevi s ventilnim razvodom pare (parni motor). Parni su motori usavršeni tako da izrađena para nije zamašćena te se može dalje rabiti kao tehnološka para. Takvi strojevi prikladni su za manje snage (npr. do 1,5 MW), dok se za veće snage upotrebljavaju parne turbine. Proizvodnjom

električne energije parnim procesom, a zatim daljnjim iskorištenjem izrađene pare za grijanje ili za tehnološke procese, toplina može biti iskorištena i više od 70 %, a takva se kombinacija naziva kogeneracija (Kamenski, 2001).

Drvnoindustrijski pogoni kao glavno gorivo u kotlovnici rabe drvene ostatke. U takvim se uvjetima mogu koristiti samouzbudni generatori od 0,5 do 2,5 MVA. Oni se obično u tim uvjetima povezuju u paralelni spoj s izmjeničnom mrežom te je moguće davati energiju u mrežu, ali i povlačenje energije iz mreže kada vlastita proizvodnja energije nije dovoljna za potrebe pogona. Pri tome je 1 kWh električne energije iz mreže višestruko skuplji od 1 kWh koji se predaje mreži.

Nazivna snaga generatora, kao i elektromotora, smanjuje se ako je temperatura rashladnog sredstva viša od 40 °C ili je nadmorska visina iznad 1 000 m (rjeđi zrak). Kada je temperatura rashladnog sredstva (okoline) viša od 40 °C, tada se za tu razliku temperature smanjuje dopušteni porast temperature namota. Za svakih se 100 m iznad nadmorske visine od 1 000 do 4 000 m dopuštena temperatura namota smanjuje za po 1 °C, a to znači i smanjenje nazivne snage za približni udio smanjenoga dopuštenog prirasta temperature (ovisnoga o klasi izolacije: A, E, B, F, H). Tako unutar sušionica drva temperatura okoline doseže 80 °C te je tada za klasu izolacije B dopušten prirast temperature za 40 °C, a nova je nazivna snaga manja od 50 % deklarirane nazivne snage. Djelatna snaga stroja pada sa smanjenjem induktivnog faktora snage ($\cos \varphi$).

5.3 Elektromotorni pogon

5.3 Electric-motor drive

Glavna potrošnja električne energije u pogonima drvene industrije vezana je za elektromotore koji su pogonski strojevi radnih strojeva. Najčešće u drvenoj industriji rade trofazni asinkroni elektromotori (Niskonaponski asinhroni motori "Sever", Subotica; Katalozi elektromotora "Končar", Zagreb; Katalozi elektromotora "Sever", Subotica), pretežito s kaveznim rotorom, koji se napajaju izravno iz mreže, ali i preko poluvodičkih naponskih i frekventnih pretvarača. Trofazni asinkroni kolutni motori pokreću se uključivanjem vanjskog otpornika u rotorski krug, što omogućuje postizanje velikog momenta pokretanja koji je veći od 200 % nazivnoga, i relativno malu struju pokretanja koja je oko 2,5 puta veća od nazivne struje. Ako postoji podizač četkica, tada se nakon zaleta klizni koluti spoje i podignu četkice pa motor radi kao kavezni asinkroni motor.

Kolutni motori upotrebljavaju se ondje gdje mreža ne podnosi velike struje uklapanja kaveznih motora direktno napa-

janih iz mreže kada treba pokretati velike zamašne mase i kada treba prilagođavati broj okretaja. U pogonima za obradu drva koriste se npr. za pogon ventilatora za odsisavanje čestica pri mehaničkoj obradi drva. Snaga motora proporcionalna je transportiranoj količini zraka u m^3/s , a time i potrošnja električne energije koja u nekim pogonima iznosi i do 50 % ukupne potrošnje električne energije.

Zbog velike potrošnje električne energije, ali i zbog povećavanja troškova grijanja, važna je kontrola rada sustava za odsisavanje. Vrlo je važno da odsisne klapne isključenih strojeva budu zatvorene. Motori za pogon ventilatora uključuju se obično 15 minuta prije početka radnog vremena radi manjega vršnog opterećenja.

Trofazni asinkroni kolutni motori mogu raditi i kao transformatori kada se rotorski namotaji ne rotiraju i postaju sekundarni namotaj. Zbog toga se ti motori ne smiju pokretati kratko spojenim namotima rotora preko četkica kada se pokvari pokretač (anlaser) i tada se za nuždu pri pokretanju može koristiti tzv. vodeni otpor.

Statorski namotaji **trofaznih asinkronih kaveznih** motora u načelu se ne razlikuju od statorskog namotaja kolutnih motora. Rotorski je namotaj u obliku kaveza za manje i srednje motore izrađen (lijevanjem) od aluminijskih štapova kratko spojenih, a za veće motore rade se oni s bakrenim štapovima smještenima u utorima koji su znatno dublji u motora jačih od 20 kW radi smanjenja struje pri pokretanju. Struja kratkog spoja jednaka je onoj u trenutku uključivanja na nazivni napon i navedena je uz ostale nazivne podatke u katalozima.

Na pločici motora navode se nazivni podaci mehaničke snage na vratilu, nazivni napon, nazivna struja, frekvencija, broj okretaja, $\cos \varphi$, tip, proizvođač, serijski broj te oznaka mehaničke zaštite. Ostali podaci navode se u katalogu proizvođača, koje je vrlo važno imati na uvidu za pravilan izbor motora.

Struje kratkog spoja ili potezne struje kaveznih motora veće su od 3 do 7 puta od nazivne struje. Potezni moment više je nego dvostruko veći od nazivnog momenta u motora snage do 30 kW, dok najveći motori od 5 000 kW imaju potezni moment od 70 do 100 % nazivnoga. Kavezni asinkroni motori pri uklapanju povlače relativno prejak struje iz mreže. Pokretanje više takvih motora unutar 15 minuta može povećati vršnu snagu preko ugovorene, što dovodi do povećanih troškova. Zbog toga je o tome potrebno voditi brigu tako da se ugrade uređaji za kontrolu snage i upravljanjem raspodjelom prema utvrđenom načinu. (To se odnosi na potrošače prema tarifnome modelu s elektroenergetskom suglasnosti većom od 30 kW, mjereno maksigrafom

prema tarifnom sustavu iz 2002. godine).

Neracionalan utrošak energije može prouzročiti neprimjenjivanje odgovarajućeg pogona (S1, S2, S3, ...). Jedan od razloga nepotrebnoga prekomjernog utroška energije može biti izbor predimenzioniranog motora, posljedica čega je rad motora s nižim stupnjem korisnosti i lošijim $\cos\phi$. Primjeren motor načelno bi trebao biti nazivno opterećen pri pojavi maksimalnoga mehaničkog opterećenja. Uz odgovarajuće druge parametre treba odabrati motor s povoljnijim stupnjem korisnosti.

Pokretanje trofaznih kaveznih motora ovisi o jakosti mreže, vrsti zaleta, veličini motora i vezi namotaja s namotajem za pokretanje. Načini pokretanja jesu:

- direktno pokretanje
- pokretanje zvijezda-trokut u tri ili četiri stupnja
- pokretanje dijelom namotaja
- pokretanje posebnim namotajem
- pokretanje hidrodinamičkom spojnicom
- pokretanje prigušnicom
- pokretanje transformatorom
- pokretanje pomoćnim motorom
- pokretanje pomoću pretvarača frekvencije.

Pri velikim snagama koje zahtijeva radni mehanizam (iverači, mlinovi, ekshauzori, pumpe) zagrijavanje je pri pokretanju znatno tako da se namoti kaveznog motora za vrijeme jednog zaleta zagriju preko dopuštene granice. Za teške elektromotorne pogone s češćim pokretanjem treba odabrati elektromotor (jednokavezni s trapeznim štapovima!) koji na vratilu može predati snagu za oko 15 do 30 % veću nego što je treba radni mehanizam.

Na izbor elektromotora utječu i opći uvjeti okoline: vlaga, prašina, temperatura, visinski smještaj, stabilnost podloge, soli, agresivne kemijske pare, eksplozivni zapaljivi plinovi, biološki činitelji (plijesan, gljivice, termiti) itd. Za svaku okolinu bira se odgovarajuća konstrukcijska izvedba. Propisi zapravo ograničavaju temperaturu namota (temperatura iznad okoline, obično viša od 40 °C). Tako uporaba elektromotora npr. potpuno zatvorene izvedbe (nepropusne za vodu) ondje gdje se može koristiti npr. potpuno "otvorenom" izvedbom nije racionalno. Kada je temperatura okoline niža od 40 °C, elektromotor može raditi većom snagom od navedene nazivne, a da pritom dopušteno povećanje temperature (koje ovisi o klasi izolacije) ne bude premašeno i tada je iskoristivost povoljnija. Za okolne temperature više od 40 °C (npr. u sušionicama) nazivna se snaga mora smanjivati i iskoristivost je lošija.

Te promijenjene snage mogu se izračunati prema određenim spomenutim relacijama. Nazivni gubici lako se mogu izračunati kao razlika električne snage iz mreže i mehaničke snage na vratilu. U

praznom hodu (neopterećeno vratilo) gubici iznose otprilike polovicu nazivnih gubitaka. Spojnica te točke s točkom nazivnih snaga (P_{el-n} , P_{meh-n}) u P_{el} - P_{meh} dijagramu predoduje približni radni dijagram za ovisnost povlačenja električne snage iz mreže o predavanoj mehaničkoj snazi na vratilu. Iz takvog se dijagrama može utvrditi približna korisnost rada elektromotora za neko mehaničko opterećenje.

Za sprječavanje izgaranja namota statora, a time i za izbjegavanje dugih zastoja u proizvodnji, primjenjuje se više načina zaštite: zaštita bimetalnim mikroprekidačima, strujna zaštita (osigurači, bimetalni releji, motorne zaštitne sklopke), toplinska zaštita poluvodičima i kombinirana zaštita. Za pogon radnih strojeva ne smije se koristiti automatsko ponovno uključivanje nakon hlađenja motora. Uzroci izgaranja motora mogu biti ukočen motor, pokretanje pri nedopušteno velikom teretu, ispadanje jedne faze, nedopušteno povećanje ili smanjenje napona (veće od 10 %), ograničeno ili ometano hlađenje, porast temperature okoline iznad 40 °C, nesimetrični ili nesinusoidni napon (npr. iz pretvarača frekvencije kojima se upravlja broj okretaja), nedopušteno velika frekvencija uključivanja i neispravnost motora zbog lošeg održavanja.

6 OBRAČUN UTROŠKA ELEKTRIČNE ENERGIJE

6 CALCULATION OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION

Električna energija ima svoju realnu cijenu neovisno o propisanom tarifnom sustavu kojim se utvrđuju elementi za obračun električne energije za različite energetske potrošače (Tarifni sustav. Narodne novine 101/2002). Ukupnim obračunom moraju biti obuhvaćeni troškovi:

- proizvodnje i nabave električne energije
- prijenosa električne energije
- distribucije električne energije
- opskrbe električnom energijom
- vođenja elektroenergetskog sustava
- organizacije tržišta električne energije,
- kao i dobit od energetske djelatnosti.

Treba uočiti da pri vlastitoj proizvodnji i potrošnji električne energije u pogonu nema svih navedenih troškova koji višestruko povećavaju proizvodnu cijenu. Proizvodne su cijene ovisne o pogonskoj energiji za proizvodnju električne energije (uz investicije, zaštitu okoliša, zbrinjavanje ostatka itd.).

Bez obzira na tarifni sustav, činjenica je da se za više utrošenih kilovatsati uvijek više plati. Tarifni sustav u obračunске elemente uključuje:

- radnu snagu izraženu u kW
- radnu energiju izraženu u kWh
- prekomjernu jalovu energiju izraženu u kvarh (kilovarsat) i
- stalnu mjesečnu naknadu.

Radna (djelatna, aktivna) snaga određuje se na temelju vršnog opterećenja koje se mjeri maksigrafom na osnovi potrošnje energije u intervalu od 15 minuta. Maksigraf pokazuje najveću dosegnutu vrijednost unutar obračunskog razdoblja između dva odčitavanja, što je po pravilu unutar 30 ± 3 dana. Prema **vazećem tarifnom sustavu** (NN br. 101, 30. kolovoza 2002), vršna snaga obračunava se za potrošače (kupce) na visokome (≥ 110 kV), srednjemu (od 1 kV do 110 V) i niskom (≤ 1 kV) naponu, za kategorije poduzetništva s priključnom snagom većom od 30 kW. Ako je za visoki i srednji napon izmjerena snaga u obračunskom razdoblju između 105 i 85 % ugovorene snage, plaća se samo izmjerena snaga. Ako je izmjerena snaga veća od 105 % ugovorene, npr. 120 %, plaća se izmjerena snaga uvećana za dvostruko prekoračenje, npr. $120 + 15$ % ugovorene snage. Ako je izmjerena snaga manja od 85 % ugovorene, obračunava se za snagu 85 % ugovorene. Ta stavka pokazuje da nije potrebna racionalizacija snage ispod te granice za kupce na visokome i srednjem naponu.

Dopušteni faktor snage $\cos \varphi$ jest 0,95, odnosno plaća se preuzeta jalova energija koja prelazi 33 % preuzete radne energije. Prema dobu godine, postoje tarifne stavke u višoj sezoni (siječanj, veljača, ožujak, listopad, studeni i prosinac) i tarifne stavke u nižoj sezoni za kupce na visokome i sre-

dnjem naponu. Dnevne tarifne stavke su dvije: viša dnevna (VT) i niža dnevna tarifa (NT - od 22 do 6 sati idućeg dana ili od 23 do 7 sati za ljetno računanje vremena). Znači, treća najniža tarifna stavka prethodnoga tarifnog sustava je ukinuta.

Pogoni drvne industrije i radionice za obradbu drva pripadaju tarifnome modelu za niski napon - poduzetništvo (tabl. 1), na 0,4 kV trofazne mreže s brojlama priključenim na niskonaponskoj strani. Ako su brojila priključena (pomoću mjernih transformatora) na visokonaponskoj strani transformatora (npr. 10 kV ili 20 kV), tada se obračun obavlja po tarifnome modelu za srednji napon (tabl. 2). U tablici 1 za tarifni model niskog napona tarifni model *plavi* znači jednotarifna brojila. U tarifni model *bijeli* pripadaju dvotarifna i trotarifna brojila priključne snage manje od 30 kW. Tarifni model *crveni* odnosi se na dvotarifna i trotarifna brojila priključne snage veće od 30 kW i takvi pogoni (s elektroenergetskom suglasnosti) imaju maksigraf jer se pri proračunu potrošnje obračunava i snaga. U tarifni model *narančasti* pripadaju samo-naplatna brojila. Navedimo primjer obračuna potrošnje energije radi usporedbe između prošloga i sadašnjega niskonaponskog tarifnog sustava za jedan realni drvnoindustrijski pogon, koji se koristi relativno velikom snagom iz mreže, oko 2,5 MW. Udio cijene električne energije u cijeni gotovih proizvoda bio je oko 8,5 %.

Obračunski element <i>Calculation item</i>	TARIFNE STAVKE <i>Tariff items</i>		TARIFNI MODEL <i>Tariff model</i>			
	Jedinica <i>Unit</i>	Dnevni <i>Daily</i>	Plavi <i>Blue</i>	Bijeli <i>White</i>	Crveni <i>Red</i>	Narančasti <i>Orange</i>
radna snaga <i>Active power</i>	kn/kW		-	-	30,00	-
radna energija <i>Active energy</i>	kn/kWh	VT NT	0,60 -	0,64 0,32	0,52 0,24	0,81 -
jalova energija <i>Reactive energy</i>	kn/kvarh		0,15	0,15	0,15	-
stalna mjesečna naknada <i>Constant monthly charge</i>	kn/mjesec		60,00	60,00	60,00	-

Tablica 1.
Tarifni model za niski napon - poduzetništvo
Table 1
Tariff model for low voltage - entrepreneurship

Obračunski element <i>Calculation item</i>	TARIFNE STAVKE <i>Tariff items</i>			TARIFNI MODEL <i>Tariff model</i>
	Jedinica <i>Unit</i>	Sezonski <i>Seasonal</i>	Dnevni <i>Daily</i>	Bijeli <i>White</i>
radna snaga <i>Active power</i>	kn/kW	viši <i>higher</i>	-	60,00
		niži <i>lower</i>	-	40,00
radna energija <i>Active energy</i>	kn/kWh	viši <i>higher</i>	VT	0,36
			NT	0,17
		niži <i>lower</i>	VT	0,33
			NT	0,15
jalova energija <i>Reactive energy</i>	kn/kvarh			0,13
stalna mjesečna naknada <i>Constant monthly charge</i>	kn/mjesec			100,00

Tablica 2.
Tarifni model za srednji napon
Table 2
Tariff model for medium voltage

Za obračun po sadašnjemu tarifnom sustavu odabran je ožujak 2002. godine.

Iz priloženoga se vidi da se tom pogonu trošak električne energije znatno povećao. U rujnu je obračun realan i cijena 1 kWh energije povećana je 17 %. Pogon se koristio trotarifnim brojlom.

VT-R	526 937 kWh x 0,52 kn = 274 007,00 kn
NT-R	324 839 kWh x 0,24 kn = 77 961,36 kn
VT-J	257 400 kvarh < 0,33 (526 937 + 324 839) = 281 086 kvarh (potrošeno je manje jalove energije od dopuštene količine)
Snaga	2 455,20 kW x 30,00 kn = 73 656,00 kn
Ukupno, osnovica	425 624,36 kn
PDV 22 % (porez)	93 637,36 kn
ZA PLATITI	519 261,72 kn
Cijena energije	0,610 kn/kWh

PRETHODNI TARIFNI SUSTAV 464 467,27 kn
Cijena energije 0,545 kn/kWh

Razlika +11,80 % + 54 794,45 kn
Cijena energije za rujna 2002. 0,636 kn/kWh

Udio cijene električne energije u cijeni gotovih proizvoda postao je veći od 10 %.

Prema važećem tarifnom sustavu bitno se izmijenio i način obračuna snage. Tako je prema prethodnom načinu obračuna u ožujku snaga sudjelovala u obračunu sa 46,16 %, a prema sadašnjemu tarifnom modelu sa 14,18 % i za rujna sa 13,30 % ukupno plaćene električne energije. Studija isplativosti proizvodnje vlastite električne energije vjerojatno bi za taj pogon pokazala opravdanost investiranja.

Drvnoindustrijski pogon u kojemu je napajanje izvedeno na naponskoj razini od 10 kV i ugovorena maksimalna snaga 2,6 MW, obračunava potrošenu električnu energiju prema tarifnome modelu za srednji napon. Stvarna cijena jednog kilovatsata električne energije iznosi 0,474 kn/kWh, dok je prema prethodnom načinu iznosila 0,479 kn/kWh, tj. nije se znatno promijenila. Cijena snage u ukupnoj cijeni iznosi 24,5 %, dok je prema prethodnome modelu bila 43,9 %. Udio cijene električne energije u proizvodnoj cijeni tog pogona je 2,9 %.

Drugi drvnoindustrijski pogon s velikom strojnom obradom (prema jednom našem mjerenju, za propiljavanje 1 m² hrastovine u jednom pogonu na jarmači troši se 0,12 kWh/m² bruto energije, što iznosi oko 6 lipa/m²) ugovorene snage 1,6 MW ima cijenu 0,576 kn/kWh prema modelu za srednji napon, dok je udio cijene električne energije 5,1 % u cijeni proizvodnje. Cijena električne snage u ovom je pogonu 28 % ukupne cijene za potrošenu električnu energiju.

U svim navedenim pogonima kompetencija je izvrsno izvedena pa nema stavke jalove energije, ali prema važećem tarifnom sustavu nema bonifikacije za održavanje kvalitetne električne energije, osim što su

zbog niže jakosti struje smanjeni gubici prijenosa i rada električne energije.

Prema navedenim rezultatima obračuna električne energije može se zaključiti da je pogodnija cijena obračuna prema modelu za srednji nego za niski napon, iako se računaju

i gubici u pogonskom transformatoru koji iznose oko 2 % (Plavec i Jurjević, 1980).

7 LITERATURA 7 REFERENCES

1. Begović, M. (1981): Grupna zamjena izvora svjetlosti. Predavanja uz: Racionalno korištenje električne energije i rasvjeta, Zagrebački velesajam, 17. rujna 1981.
2. Hrustek, I. (1984): Natrijeve visokotlačne žarulje VTNa omogućuju štednju električne energije u javnoj i industrijskoj rasvjeti. Predavanje: Zagrebački velesajam, 10. rujna 1984.
3. Jermić, B. (1970): Priručnik električne rasvjete. TEŽ Zagreb i Školska knjiga Zagreb.
4. Kamenski, M. (2001): Električna energija u RH. EGE br. 4/2001, Energetika Marketing Zagreb, 35-37.
5. Kuhta, S. (1981): Štednja električne energije i rasvjeta. Predavanje uz: Racionalno korištenje električne energije i rasvjeta, Zagrebački velesajam, 17. rujna 1981.
6. Plavec, V., Jurjević, V. (1980): Tehnički priručnik. "Končar", Zagreb.
7. Podlipnik, P. (1978): Svetlotehnički priručnik. Elektrokovina, Maribor.
8. Wetzl, P. (1980): Industrieröhren in Hochfrequenzgeneratoren. BBC Aktiengesellschaft, Baden/Schweiz.
9. *** Prospekt o izvorima svjetlosti, TEŽ, Zagreb.
10. *** Prospekti o izvorima svjetlosti, OSRAM.
11. *** Prospekti o izvorima svjetlosti, Philips.
12. *** Niskonaponski asinhroni motori "Sever", Subotica.
13. *** Katalozi elektromotora "Končar", Zagreb.
14. *** Katalozi elektromotora "Sever", Subotica.
15. *** Tarifni sustav. Narodne novine br. 101, 30. kolovoza 2002, 4021-4025.