

# **Energetski efikasni asinhroni motori u elektromotornim pogonima**

# Sadržaj

- Izbor motora za elektromotorni pogon – I deo
- Energetski efikasni asinhroni motori u elektromotornim pogonima – II deo
- Poboljšanja koja se uvode u cilju postizanja veće efikasnosti motora u elektromotornom pogonu – III deo

# Izbor motora za elektromotorni pogon

## I deo

Kriterijumi: **1. Napajanje el. energijom.**

- mogućnosti,
- potrebe.

**2. Ambijent.**

- konstrukcija i zaštita motora
- zagrevanje motora,

- 
- režimi rada,
  - ekvivalentne metode.




**3. Opterećenje (radna mašina).**

- priroda opterećenja,
- tehnologija rada.

<input type="text"/> 1 <input type="text"/>		Red. br.	Objašnjenje
Typ <input type="text"/> 2 <input type="text"/>		9	naznačena snaga aktivna snaga u kW za motore, jednosmerne i indukcione generatore prividna snaga u kVA za sinhrogeneratore i kompenzatore
3 <input type="text"/> 4 <input type="text"/>	Nr. <input type="text"/> 5 <input type="text"/>	10	jedinica snage npr. kW
6 <input type="text"/> 7 <input type="text"/> V	<input type="text"/> 8 <input type="text"/> A	11	vrsta pogona
9 <input type="text"/> 10 <input type="text"/>	S <input type="text"/> 11 <input type="text"/>	12	faktor snage
cos $\varphi$ <input type="text"/> 12 <input type="text"/>		13	smer obrtanja prema JUS IEC 34-8; IEC 34-8; VDE 0530 T.8
13 <input type="text"/> 14 <input type="text"/> /min	15 <input type="text"/> Hz	14	naznačena brzina obrtanja u min <sup>-1</sup>
16 <input type="text"/> 17 <input type="text"/> 18 <input type="text"/> V	19 <input type="text"/> A	15	naznačena frekvencija
Isol.-Kl. <input type="text"/> 20 <input type="text"/>	IP <input type="text"/> 21 <input type="text"/>	16	reč "pobuda" za jednosmerne i sinhronne, a "rotor" za asinhronne mašine
22 <input type="text"/> kg		17	vrsta spoja rotorskog namotaja (vidi br. 6)
<input type="text"/> 23 <input type="text"/>		18	<ul style="list-style-type: none"> <li>• naznačeni pobudni napon (jednosmerne mašine i sinhronne mašine)</li> <li>• napon mirovanja rotora (motori sa rotorom sa kliznim prstenovima)</li> </ul>
Red. br.	Objašnjenje	19	<ul style="list-style-type: none"> <li>• naznačena pobudna struja (jednosmerne mašine i sinhronne mašine)</li> <li>• naznačena struja rotora (motori sa rotorom sa kliznim prstenovima)</li> </ul>
1	ime proizvođača	20	klasa izolacionog materijala
2	oznaka tipa dopunjena veličinom i oblikom izvedbe	21	vrsta zaštite prema JUS IEC 529; IEC 529; DIN 40050
3	vrsta struje: vidi JUS N.A3.002; IEC 617-2; DIN 40900 T.2.	22	masa u kg odnosno t
4	vrsta mašine npr. generator, motor itd.	23	broj i godina proizvodnje
5	fabrički broj		
6	oznaka načina spoja namotaja prema JUS N.A3.006; IEC 617-6; DIN 40900 T.6.		
7	naznačeni napon		
8	naznačena struja		

*Vestermanov elektrotehnički priručnik*, Građevinska knjiga, Beograd 2000.

\*Institut za standardizaciju Srbije ([https://iss.rs/sr\\_Cyrl/](https://iss.rs/sr_Cyrl/))

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
  II 3 G 										ABB OY <small>Made in Helsinki, Finland</small>									
Type HXR 500LP14										No 4570787									
Year 2002										Phases 3~									
Duty S1										Output 470 kW									
Connection D										Voltage 3300 V									
Insul.cl. F										Frequency 50 Hz									
Weight 7100 kg										Speed 425 rpm									
IP 55										Current 145 A									
IC 411										Power factor 0.59									
IM 1001																			
EEx nA II T3, EN 50021																			
VTT 03 ATEX 011X																			
										IEC 60034-1									

- |                                 |                           |
|---------------------------------|---------------------------|
| 1. Oznaka za tip                | 11. Proizvođač            |
| 2. Godina proizvodnje           | 12. Serijski broj         |
| 3. Režim rada                   | 13. Snaga [kW] ili [KS]   |
| 4. Vrsta priključka             | 14. Voltaža statora [V]   |
| 5. Klasa izolacije              | 15. Frekvencija [Hz]      |
| 6. Težina mašine [kg] ili [lbs] | 16. Brzina obrtanja [rpm] |
| 7. Stepen zaštite [IP klasa]    | 17. Struja statora [A]    |
| 8. Vrsta hlađenja [IC kod]      | 18. Faktor snage [cosφ]   |
| 9. Način montaže [IM kod] (IEC) | 19. CSA oznake            |
| 10. Dodatni podaci              | 20. Standard              |



SIEMENS										
1 3-MOT. 1LA8 317-4AB60-Z NoN- R41124661010001/2003 IMB3 Th.Cl.F										
V	Hz		A	kW	cosφ	1/min	I <sub>A</sub> /I <sub>N</sub>	T <sub>E</sub> s	Certif.No	IP
400 Δ	50		540	315	0.87	1488				55
690 Y			315							
16 Rotor SQU.CAGE KL 13 EN/IEC 60034-1 Gew/Wt 1.5 t										
17 380..420VΔ, 560..530A 660..725V Y, 325..305A 50Hz										
14 N <sub>MAX</sub> =3000 1/MIN										
18 S.F. 1.10										
MADE IN GERMANY D-90441 Nürnberg CE										

G\_D081\_EN\_00065

1 Motor type: 3-phase LV motor

2 Type of construction

3 Degree of protection

4 Rated voltage [V] and circuit

5 Rated current [A]

6 Rated output [kW]

7 Standards and regulations  
e.g. explosion-proof motors

8 Serial number

9 Motor weight [kg]

10 Temperature class

11 Rated speed [rpm]

12 Rated frequency [Hz]

13 Power factor [cos φ]

14 Maximum speed [rpm]

15 Motor type

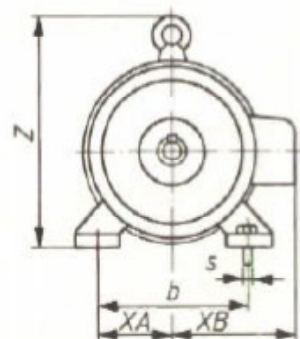
16 Rotor class

17 Additional details (optional)

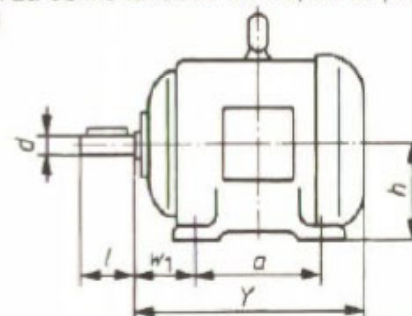
18 Service factor

**Standardne dimenzije trofaznih kaveznih motora  
(izvedbe IM B3) sa površinskim hlađenjem**

IEC 72; HD 231 S1;  
DIN 42673 T.1  
CENELEC 2B; DIN 42673 T.4



Podaci važe i za oblike izvedbe IM B6, IM B7, IM B8,  
IM V5, IM V6



Tip	<i>h</i> mm	<i>a</i> mm	<i>b</i> mm	<i>w</i> <sub>1</sub> mm	<i>s</i>	<i>XA</i> mm	<i>XB</i> mm	<i>Y</i> mm	<i>Z</i> mm
56	56	71	90	36	M 5	62	104	174	166
63	63	80	100	40	M 6	73	110	210	181
71	71	90	112	45	M 6	78	130	224	196
80	80	100	125	50	M 8	96	154	256	214
90S	90	100	140	56	M 8	104	176	286	244
90L		125						298	
100L	100	140	160	63	M10	122	194	342	266
112M	112	140	190	70		134	218	372	300
132S	132	140	216	89	M10	158	232	406	356
132M		178						440	
160M	160	210	254	108	M12	186	274	542	480
160L		254						562	
180M	180	241	279	121	M12	208	312	602	554
180L		279						632	
200L	200	305	318	133	M16	240	382	680	600
225S	225	286	356	149	M16	270	428	764	675
225M		311							
250M	250	349	406	168	M20	300	462	874	730
280S	280	368	457	190	M20	332	522	984	792
280M		419						1036	
315S	315	406	508	216	M20	372	576	1050	865
315M		457						1100	

*Vestermanov elektrotehnički priručnik*, Građevinska knjiga, Beograd 2000.



Kriterijumi za izbor motora			
Preduslovi	Mogućnost izvedbe	Preduslovi	Mogućnost izvedbe
<b>Energetska distributivna mreža</b>	Trofazna mreža npr. 6 kV, 3/N 50 Hz 500 V, 3 ~ 50 Hz 380 V, 3/N 50 Hz  Jednofazna naizmenična mreža npr. 15 kV, 16 $\frac{2}{3}$ Hz (železnička mreža) 230 V, 50 Hz Mali napon npr. 42 V, 50 Hz 24 V, 50 Hz  Jednosmerna mreža npr. 110V, 125V, 220 V, 250 V, 440 V, 600 V	<b>Pogonsko ponašanje</b>	Karakteristika brzine kretanja pri promeni opterećenja npr. meka karakteristika tvrda karakteristika karakteristika sinhronog motora
		<b>Uklonni uslovi</b>	Način pokretanja, npr. otpornički pokretač, pokretač zvezda trougao, transformator za pokretanje, stavljanje u pogon pod opterećenjem
		<b>Vrste pogona</b>	S1 . . . S10
		<b>Pogonski uslovi</b>	Vrsta zaštite, npr. IP 44 Klasa zaštite, npr. zaštita od eksplozije, vrsta izvedbe npr. IMB3
<b>Brzina kretanja, opseg brzine kretanja</b>	naznačena brzina kretanja, više naznačenih brzina kretanja, opseg brzine kretanja, vrsta upravljanja brzinom kretanja	<b>Dodatni uređaji</b>	Elektronski pretvarač frekvencije, mašinski pretvarač frekvencije, uređaji za zaštitu motora, pokretački uređaji, priključni vodovi, vrsta spoja, pogon, temelj
<b>Snaga</b>			

*Vestermanov elektrotehnički priručnik, Građevinska knjiga, Beograd 2000.*



## Šta je standard?

**Dokument koji se primenjuje dobrovoljno  
Razmatraju ga sve zainteresovanih strana  
Utvrđen konsenzusom  
Odobren od strane priznatog tela  
Služi za opštu i višekratnu upotrebu**

**Nacionalni, međunarodni, regionalni  
(evropski) standardi**

Dragan Vuksanović, rukovodilac  
Sektora za elektrotehničku  
standardizaciju u Institutu za  
standardizaciju Srbije, "Uloga i  
značaj standardizacije u novoj  
tehničkoj regulativitvi",  
predavanje decembar 2014.

## Čemu služe standardi?

- Za povećavanje bezbednosti proizvoda
- Pomažu proizvođačima da postignu usklađenost sa evropskom regulativom
- Promovišu slobodan protok proizvoda i usluga
- Ohrabruju veću konkurenciju
- Olakšavaju trgovinu uklanjanjem prepreka trgovini
- Promovišu ekologiju i održivost
- Pomažu u zaštiti životne sredine i radne okoline
- Pomažu u transferu istraživanja

## Okvir za standardizaciju i regulativu

### Međunarodna standardizacija

- ISO
- IEC
- ITU

### Međunarodni ugovori

- WTO - TBT
- Kyoto Protocol
- (...)

### Evropska standardizacija

- CEN
- CENELEC
- ETSI

### Nacionalna standardizacija

- ISS, AENOR, CYS,
- BSI, DIN-DKE,
- AFNOR-UTE, UNI-CEI

### Evropska regulativa

- Regulations
- Directives
- Decisions...

### Nacionalna regulativa

- Zakoni, uredbe, pravilnici...

Dragan Vuksanović, rukovodilac Sektora za elektrotehničku standardizaciju u Institutu za standardizaciju Srbije, "Uloga i značaj standardizacije u novoj tehničkoj regulativitvi", predavanje decembar 2014.

## Standardizacija je globalna saradnja



WTO  
principi



MEĐUNARODNA



REGIONALNA  
(EVROPSKA)

NACIONALNA TELA ZA STANDARDIZACIJU

NACIONALNA

INDUSTRIJA, KORISNICI STANDARDA,  
ZAJNTERESOVANE STRANE

# Konstrukcija i montaža

## Više načina označavanja tipova konstrukcije motora:

Internacionalni	IEC 34-7 ( <i>International Electrotechnical Commission</i> )
-----------------	---

Evropa	EN 60 034-7
--------	-------------

Nemački	DIN 42 950
---------	------------

## Sistem oznaka

### Kod 1

B – mašine sa štitnicima ležaja i horizontalnim vratilom

V – mašine sa štitnicima ležaja i vertikalnim vratilom

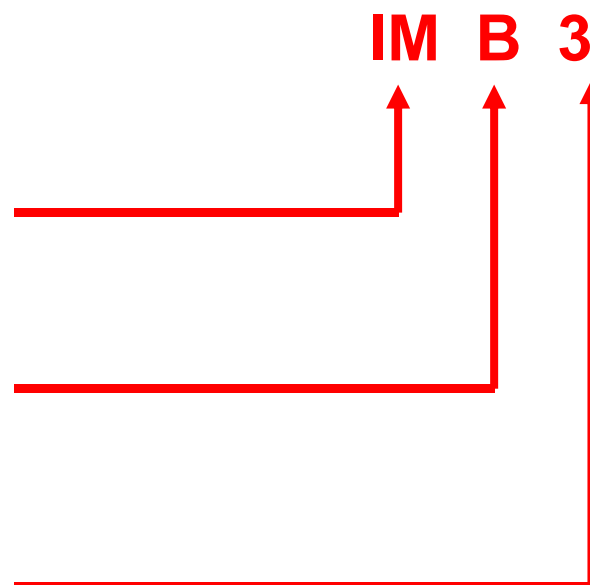
CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*)

# Kod 1

Kodna slova  
(*International Mounting*)  
Osnovni znak za podatak  
o obliku izvedebe

Vrsta vratila

Podatak o učvršćenju  
kraja vratila





# Kod 2

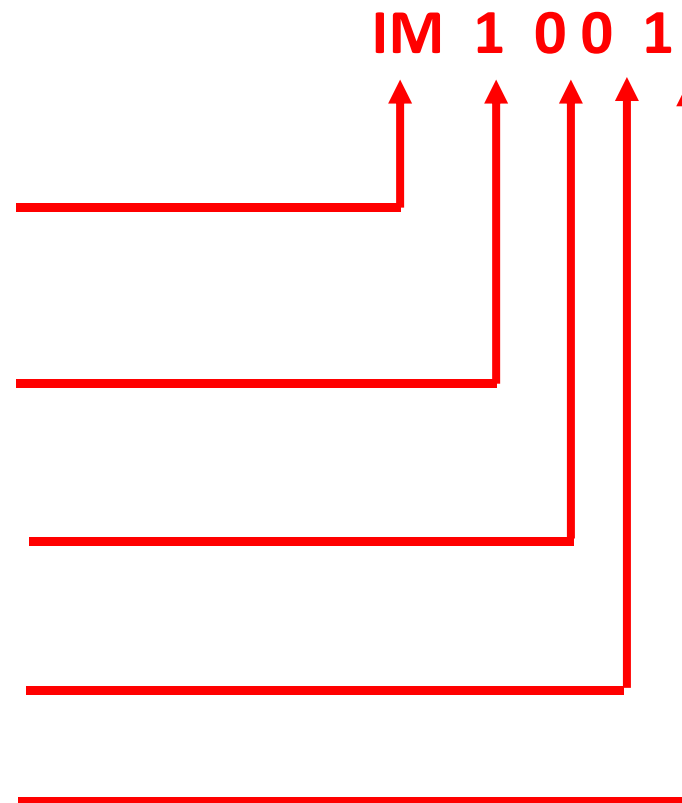
Kodna slova  
(*International Mounting*)  
osnovni znak za podatak  
o obliku izvedebe

prva cifra (0...9)  
izvedbeni oblik

druga cifra (0...9)  
vrsta učvršćenja i uležištenja

treća cifra (0...9)  
položaj kraja osovine i vrsta  
učvršćenja

četvrta cifra (0...9)  
vrsta kraja osovine



## **Značenje prve cifre**

0 – nije raspoređen

1 – sa štitnicima ležaja i učvršćenjem u podnožju

2 - sa štitnicima ležaja i učvršćenjem u podnožju i prirubnicama

3 –učvršćenje prirubnicama, sa štitnicima ležaja prirubnice na štitniku ležaja

4 - učvršćenje prirubnicama, sa štitnicima ležaja prirubnice na kućištu

5 – bez ležaja, bez štitnika ležaja

6 – sa štitnikom ležaja i nosećim ležajem

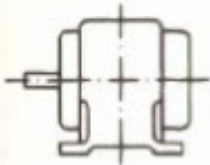
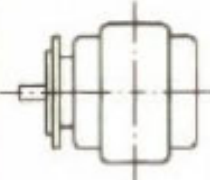
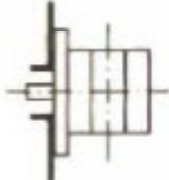
7 – bez štitnika, samo sa nosećim ležajem

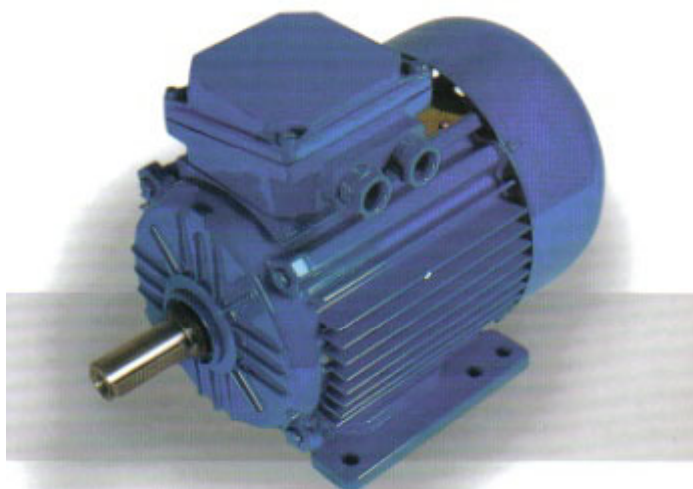
8 – vertikalne mašine koje ne pripadaju pod 1 do 4

9 – mašine sa posebnom vrstom učvršćenja

## Značenje četvrte cifre

- 0 – nema produžetka za osovinu
- 1 – jedan cilindrični produžetak za osovinu
- 2 - dva cilindrična produžetka za osovinu
- 3 - jedan konični produžetak za osovinu
- 4 - dva konična produžetka za osovinu
- 5 – jedan prirubni produžetak za osovinu
- 6 – dva prirubna produžetka za osovinu
- 7 – prirubni produžetak za osovinu (D-kraj) i cilindrični produžetak za osovinu (N-kraj)
- 8 – nije raspoređen
- 9 – druge postavke

Slika i oznaka		Objašnjenje	Slika i oznaka		Objašnjenje
Kod I	Kod II		Kod I	Kod II	
		nožno učvršćenje, vodoravni položaj, dva štitnika ležaja sa nogama			učvršćenje sa prirubnicama, vodoravni položaj, dva štitnika ležaja, ugradnja sa prirubnicama
IM B3	IM 1001		IM B5	IM 3001	




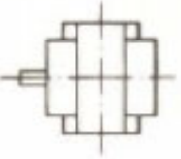
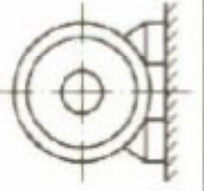
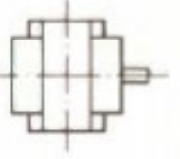

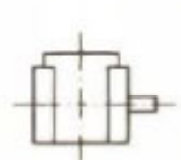
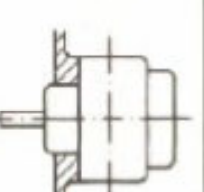
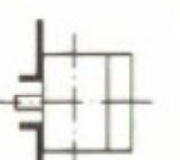
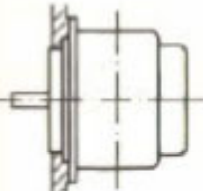

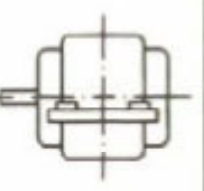
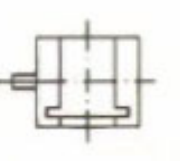
mašina sa (IMB3 I IM1001):

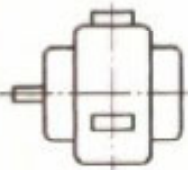
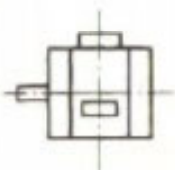

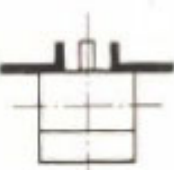
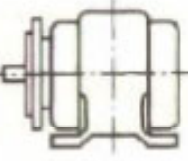
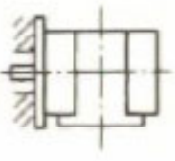
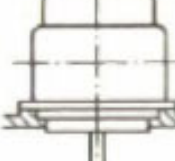
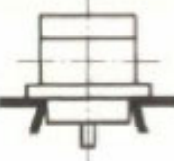
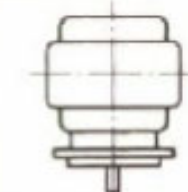
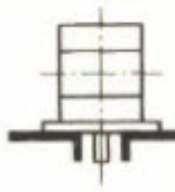
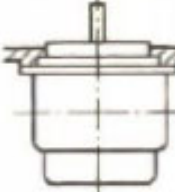
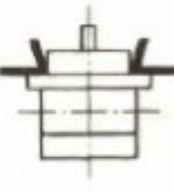
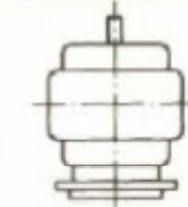
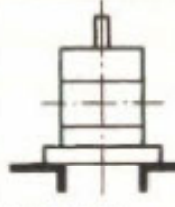
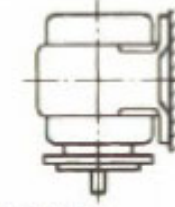
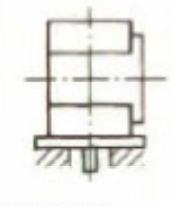
- Vodoravnim položajem vratila
- Dva štitnika ležaja i nogama postavljenim dole
- Slobodnim cilindričnim krajem osovine levo
- Za montažu na temelj


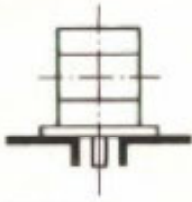
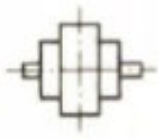

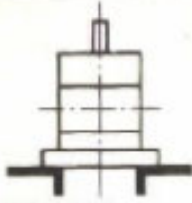
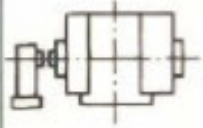
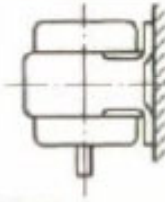
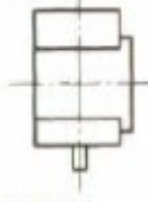
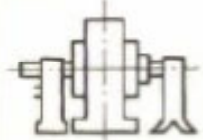
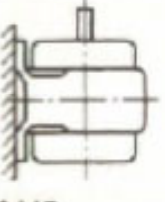
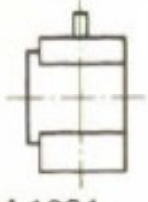

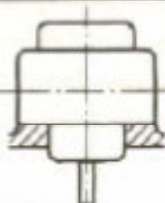
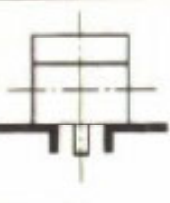
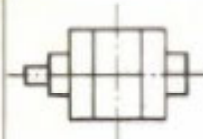


*Vestermanov elektrotehnički priručnik,*  
Građevinska knjiga, Beograd 2000.



		nožno učvrščenje, vodoravni položaj, dva štitnika ležaja sa nogama, zidno učvrščenje			nožno učvrščenje, vodoravni položaj, dva štitnika ležaja sa nogama, zidno učvrščenje
		nožno učvrščenje, dva štitnika ležaja, vodoravni položaj, tavansko učvrščenje sa nogama			posebno učvrščenje bez nogu, jedan štitnik ležaja, vodoravni položaj, učvršćen na stalku
		učvršćenje sa prirubnicama, vodoravni položaj, bez nogu, dva štitnika ležaja, ugradnja sa leve strane			nožno učvrščenje, vodoravni položaj, podignute noge, dva štitnika ležaja, podno učvrščenje

Slika i oznaka		Objašnjenje	Slika i oznaka		Objašnjenje
Kod I	Kod II		Kod I	Kod II	
 IM B30	 IM 9201	posebno učvršćenje, vodoravni položaj, bez nogu, dva štitnika ležaja, sa grebenastim učvršćivanjem	 IM V9	 IM 9131	posebno učvršćenje, uspravni položaj, bez nogu, jedan štitnik ležaja, ugradnja odozgo
 IM B35	 IM 2001	nožno i učvršćenje sa prirubnicama, vodoravni položaj sa nogama, dva štitnika ležaja	 IM V10	 IM 4011	učvršćenje sa prirubnicama, uspravni položaj, bez nogu, dva štitnika ležaja, ugradnja odozdo
 IM V1	 IM 3011	učvršćenje sa prirubnicama, uspravni položaj, bez nogu, dva štitnika ležaja, ugradnja na pod	 IM V14	 IM 4031	učvršćenje sa prirubnicama, uspravni položaj, bez nogu, dva štitnika ležaja, ugradnja odozgo
 IM V2	 IM 3231	učvršćenje sa prirubnicama, uspravni položaj, bez nogu, dva štitnika ležaja, ugradnja na pod	 IM V15	 IM 2011	nožno učvršćenje sa prirubnicama, uspravni položaj, sa nogama, dva štitnika ležaja

 IM V3	 IM 3031	učvrščenje sa prirubnicama, uspravni položaj, bez nogu, dva štitnika ležaja, ugradnja na pod	—	 IM 5002	bez ležaja i štitnika ležaja, vodoravni položaj, bez kućišta, sa rotorom i osovinom
 IM V4	 IM 3211	učvrščenje sa prirubnicama, uspravni položaj, bez nogu, dva štitnika ležaja, ugradnja odozgo	—	 IM 6000	sa štitnikom ležaja i nosećim ležajem, vodoravni položaj, sa nogama, bez postolja
 IM V5	 IM 1011	nožno učvršćenje, uspravni položaj, bez nogu, dva štitnika ležaja, zidno učvršćenje	—	 IM 7201	bez štitnika ležaja, sa nosećim ležajem, vodoravni položaj, sa nogama, dva noseća ležaja
 IM V6	 IM 1031	nožno učvršćenje, uspravni položaj, sa nogama, dva štitnika ležaja, zidno učvršćenje	—	 IM 8011	posebno učvršćenje, uspravni položaj sa radijalnim ležajem odozgo, bez aksijalnog ležaja, sa osovinom
 IM V8	 IM 9111	posebno učvršćenje, uspravni položaj, bez nogu, jedan štitnik ležaja, ugradnja odozdo	—	 IM 9001	posebno učvršćenje, vodoravni položaj, bez nogu, dva štitnika ležaja, ugradni tip



# Zaštita

1. Zaštita motora od kvara (spoj sa masom, kratak spoj, preopterećenje)
2. Zaštita motora od uticaja spoljne sredine

Zaštita motora		EN 50003; DIN EN 50003; IEC 255-17; DIN VDE 0435 T.3012
Vrsta kvara	Opasnost za	Zaštitni uređaj
Spoj sa masom	Čoveka i životinju	Zaštitne mere prema JUS N. B2. 741, SI SFRJ 53/88; IEC 364-4-41, IEC 364-4-46, IEC 364-4-47; HD 384.4.41 S1, HD 384.4.41; DIN VDE 0100 T.410, vidi Poglavlje 4.
Kratak spoj	motorni dovod motorna sklopka odnosno sklopnik motorna zaštitna sklopka odnosno relej namotaj motora	
Predopterećenje	vod motora	topljivi osigurači, zaštitna sklopka voda, prekidač
	motor	topljivi osigurač, zaštitna sklopka voda, prekidač
		zaštita motora, termička zaštita motora

Nezavisno od načina napajanja i izvedbe motori se mogu opteretiti 15s sa  $1,6 I_n$  pri naznačenom naponu (i frekvenciji).

**Zahtevi zaštite motora:**

- sa nazivnom strujom trajno preopteretiv
- podesiva struja
- mora postojati termo-slika motora
- mora se nadzirati struja u svim strujnim stazama

*Vestermanov elektrotehnički priručnik, Građevinska knjiga, Beograd 2000.*



# Zaštita

## Od uticaja spoljne sredine (IP kod)



- IP kod za stepen zaštite, koji obezbeđuje kućište, je standard koji se primenjuje kod većine električnih aparata širom sveta
- Rad, kao i vek trajanja električnih mašina veoma zavisi od sredine u kojoj se ona nalazi: vlaga i prašina imaju veliki uticaj na izolaciju
- Prvi standard se pojavio u Nemačkoj 1934.god za zaštitu obrtnih mašina
- Danas važeći standard IEC 60529:1989+AMD1:1999+AMD2: 2013 “Stepen zaštite ostvaren kućištem”.



Pogon testere

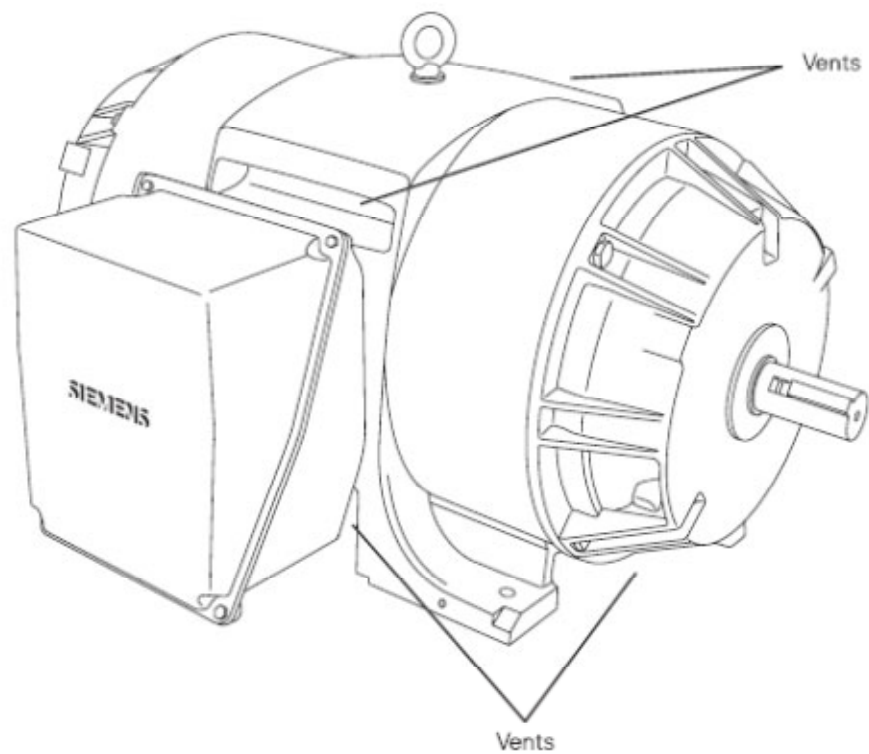


Odvodnjavanje tla u rudniku –  
pumpno postrojenje  
(površinske pumpe)



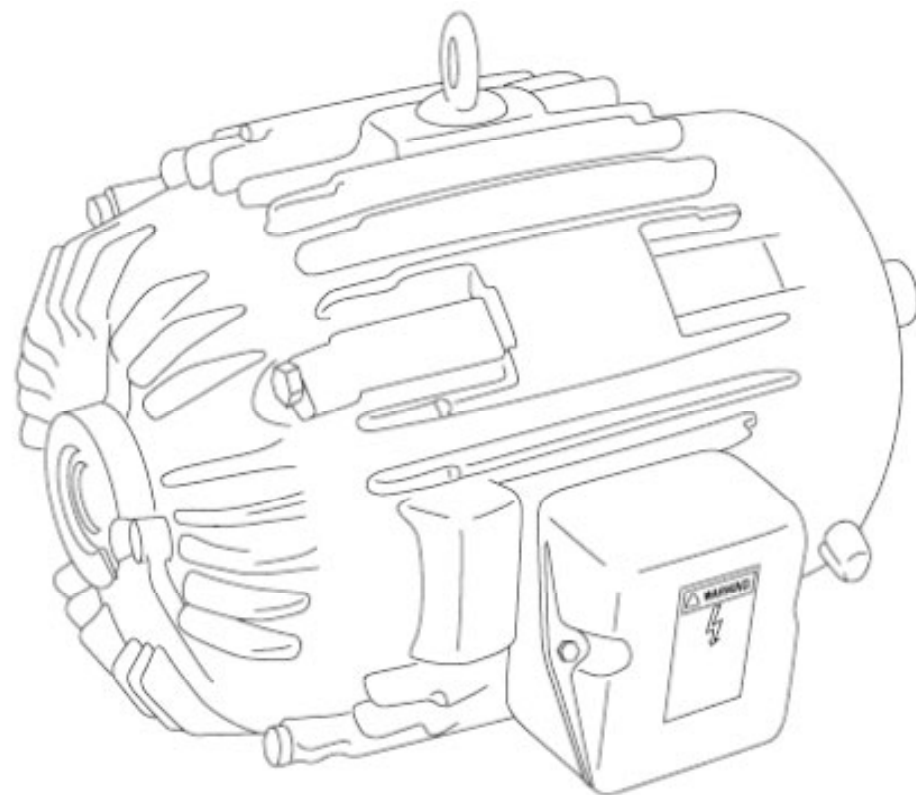


Pogon transporta bagera SRS 1300 – detalj jedne gusenice



Otvoreno kućište

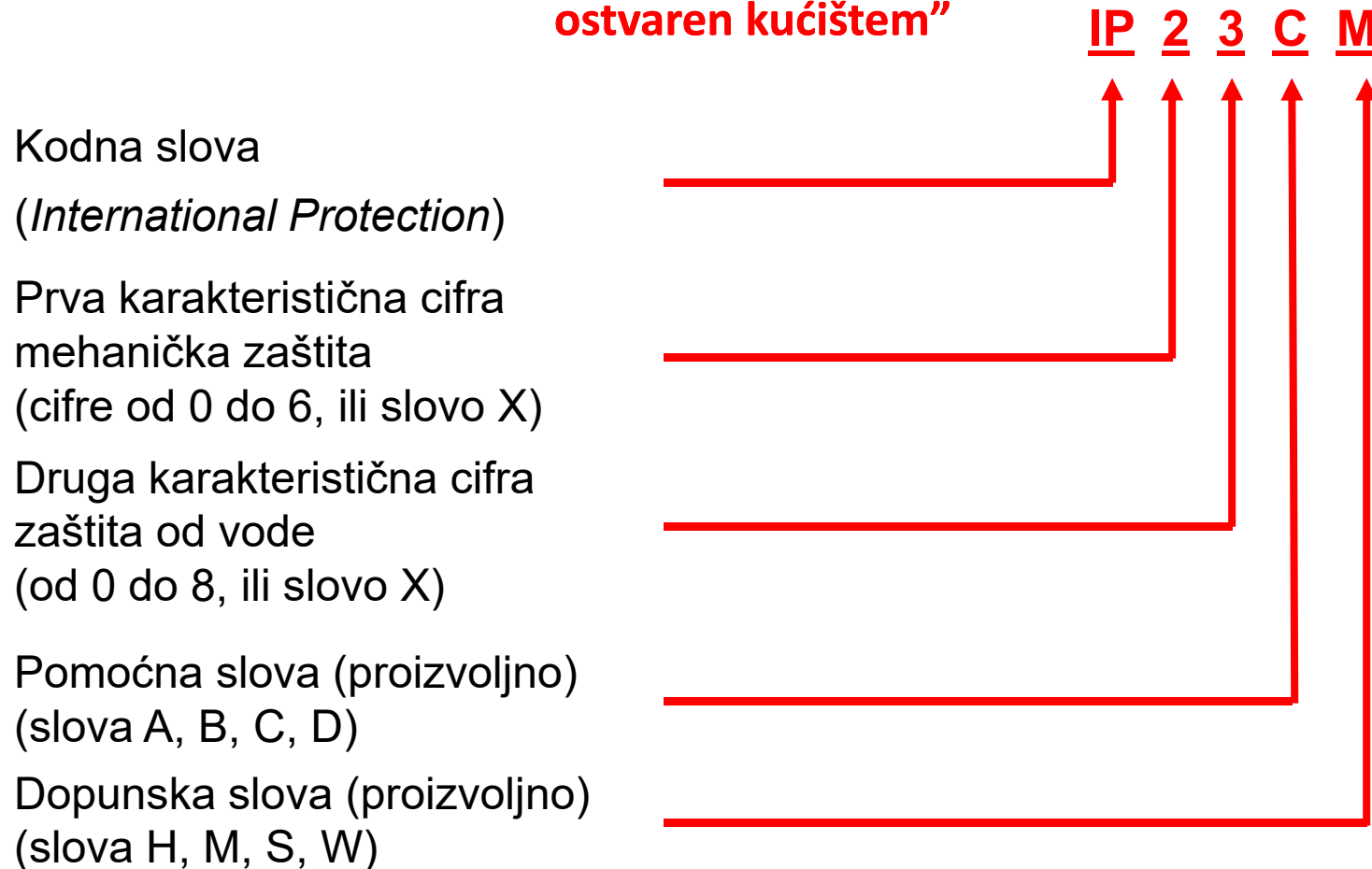
Potpuno  
zatvoreno  
kućište



# Zaštita

Od uticaja spoljne sredine (IP kod)

IEC 60529:1989+AMD1:1999+AMD2:2013 “Stepen zaštite  
ostvaren kućištem”



Gde nije neophodno specificirati karakterističnu cifru, ona može biti zamenjena slovom “X” (“XX” ako su izostavljene obe cifre)



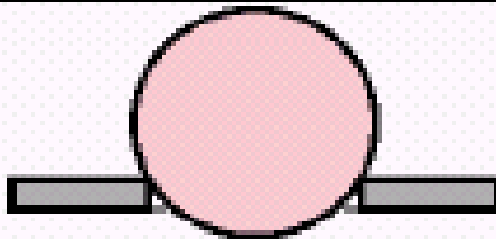
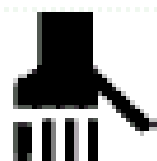
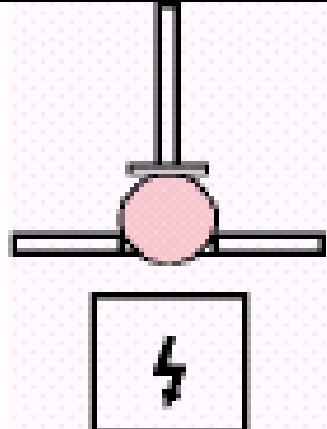
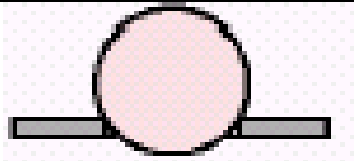

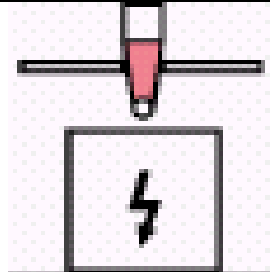
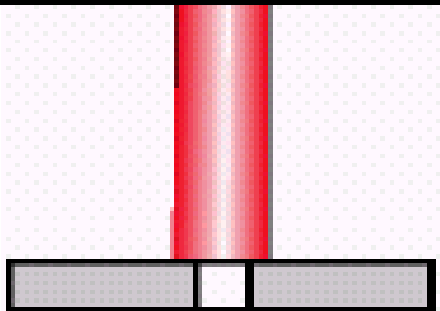

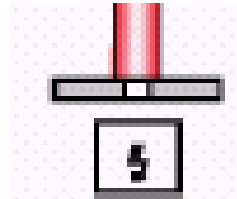
Element Zaštita od	Cifre ili slova	Značenje za zaštitu opreme	Značenje za zaštitu ljudi
Kodna slova <b>IP</b>			
Prva karakteristična cifra		Protiv prodora čvrstih stranih tela	Protiv pristupa opasnim delovima motora sa
	0 1 2 3 4 5 6	(bez zaštite) ≥ 50mm prečnik ≥ 12,5mm prečnik ≥ 2,5mm prečnik ≥ 1,0mm prečnik zaštita od prašine zaštita zaptivenošću od prašine	Nadlanicom Prstima Alatom Provodnikom Provodnikom Provodnikom

Element Zaštita od	Cifre ili slova	Značenje za zaštitu opreme	Značenje za zaštitu ljudi
Druga karakteristična cifra	0 1 2 3 4 5 6 7 8	Protiv štetnog dejstva vlage (bez zaštite) vertikalno kapanje kapanje (15° nagiba) prskanje pljuskanje Mlaz Snažan mlaz Trenutno potapanje Kontinualno potapanje	

Element Zaštita od	Cifre ili slova	Značenje za zaštitu opreme	Značenje za zaštitu ljudi
Pomoćna slova (opciono)	A B C D		Protiv pristupa opasnim delovima motora sa  Nadlanicom Prstima Alatom Provodnikom

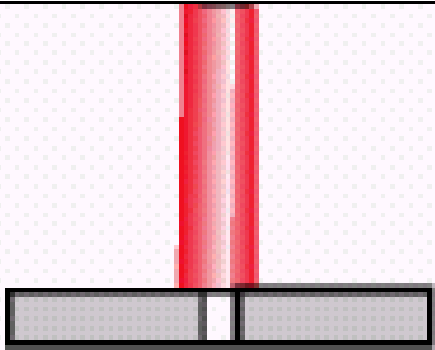

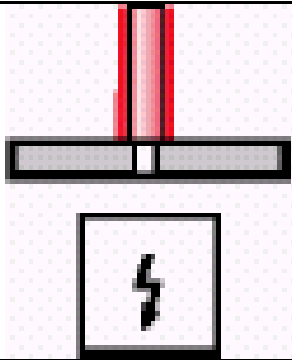
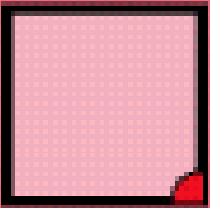
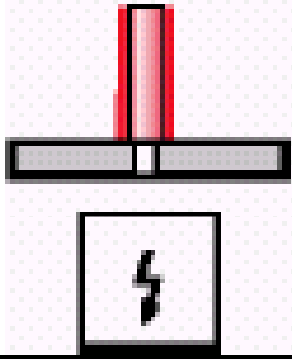
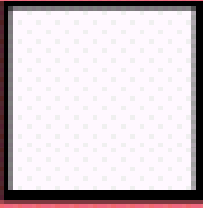
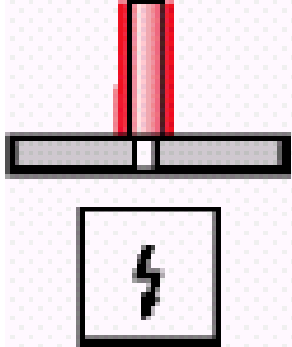
Element Zaštita od	Cifre ili slova	Značenje za zaštitu opreme	Značenje za zaštitu ljudi
Dopunska slova (opciono)		Dopunske informacije koje se odnose na	
	H	Visokonaponske aparate	
	M	Rad u toku testiranja vodom	
	S	Mirovanje u toku testiranja vodom	
	W	Vremenske prilike	

## Prva cifra (čvrsta tela i pristup)

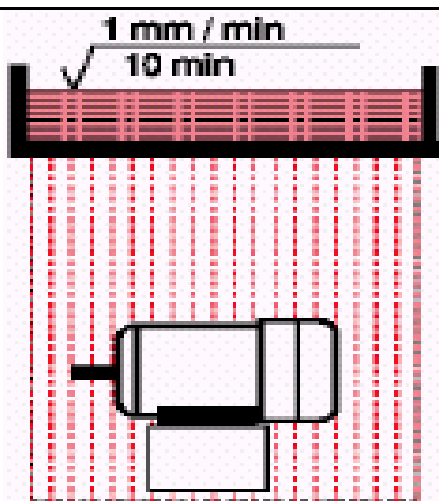
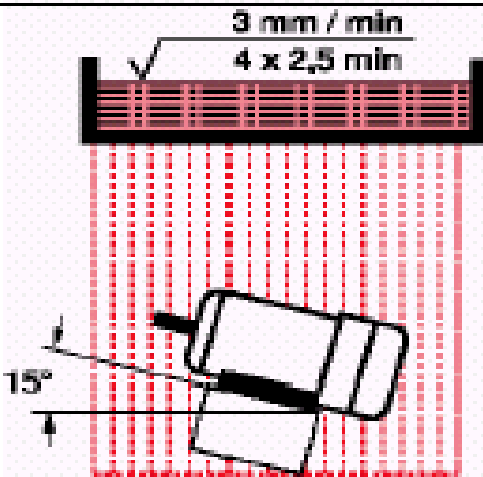

Zaštita od čvrstih tela i pristupa Prva karakteristična cifra				
Stepen zaštite	Zaštita opreme od prodora stranih čvrstih tela		Zaštita ljudi od pristupa opasnim delovima	
IP1X	$\geq 50\text{mm } \varnothing$		nadlanica 	
IP2X	$\geq 12,5\text{mm } \varnothing$		Prsti 	
IP3X	$\geq 2,5\text{mm } \varnothing$		Alat 	



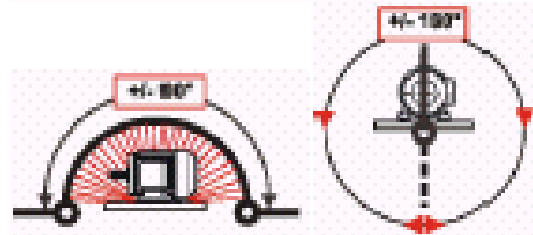
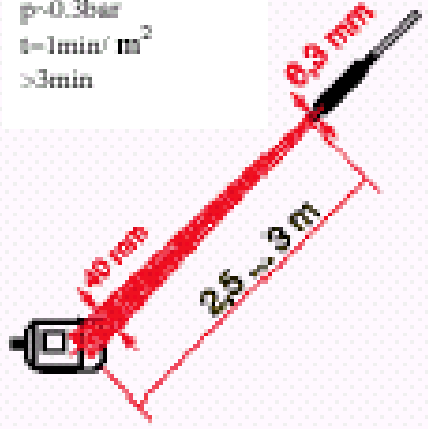
## Prva cifra (čvrsta tela i pristup)

Zaštita od čvrstih tela i pristupa Prva karakteristična cifra				
Stepen zaštite	Zaštita opreme od prodora stranih čvrstih tela		Zaštita ljudi od pristupa opasnim delovima	
IP4X	$\geq 1\text{mm } \varnothing$		Provodnik 	
IP5X	Zaštita od prašine			
IP6X	Zaštita zaptivenošću od prašine			

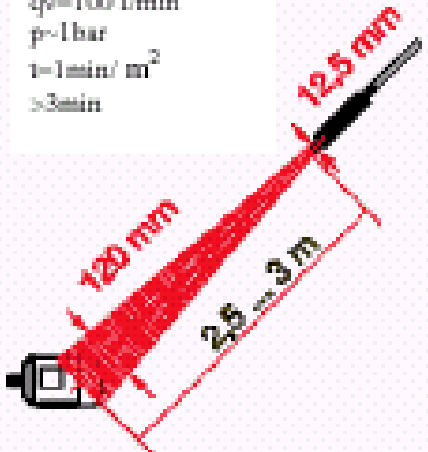
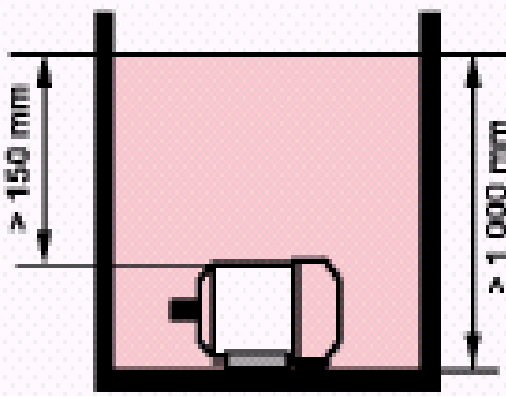
Druga cifra  
(vlaga)

Zaštita od vlage Druga karakteristična cifra		
Stepen zaštite	Zaštita od	Princip testiranja
IPX1	Kapajuće vode  Konverzije: $1\text{ mm/min} \approx 0.04\text{ in/min}$	 <p>1 mm / min 10 min</p>
IPX2	kapanja vode pod nagibom od 15°  Konverzije: $3\text{ mm/min} \approx 0.12\text{ in/min}$	 <p>3 mm / min 4 x 2,5 min</p> <p>15°</p>
IPX3	Prskanja vode	 <p><math>\pm 60^\circ</math></p> <p><math>0.07\text{ l/min} = 4.3\text{ min}^3/\text{min}</math> po šapljini</p>

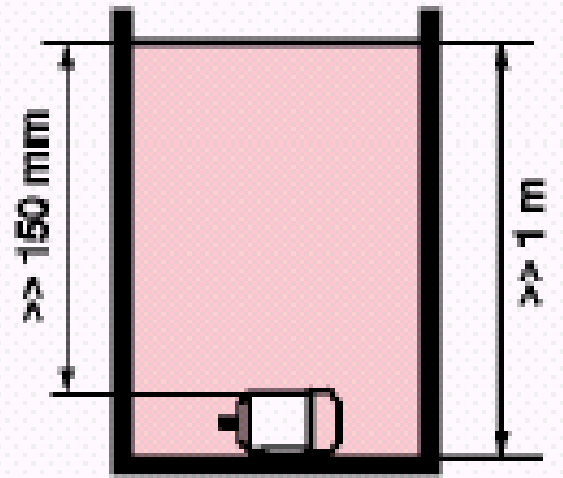
Druga cifra  
(vlaga)

Zaštita od vlage Druga karakteristična cifra		
Stepen zaštite	Zaštita od	Princip testiranja
IPX4	Pljuskanja vode	 <p>0.07 l/min=4.3min<sup>2</sup>/min po šupljini</p>
IPX5	Mlazeva vode	<p>           qv=12.5l/min            p=0.3bar            t=1min/m<sup>2</sup>            &gt;3min         </p> 

Druga cifra  
(vlaga)


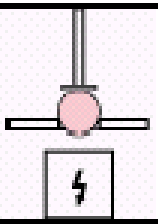
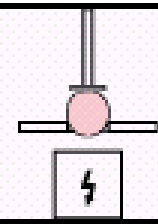

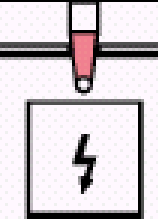
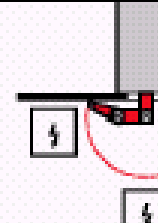

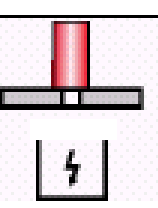
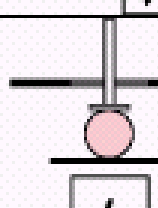
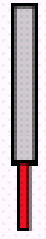
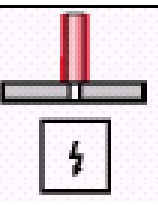
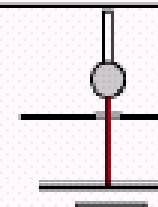
Zaštita od vlage Druga karakteristična cifra		
Stepen zaštite	Zaštita od	Princip testiranja
IPX6	Snažnih mlazova vode  Konverzije: 100 l/min $\approx$ 26.5 gal/min 1 bar $\approx$ 14.5 psi 1 min/m <sup>2</sup> $\approx$ 6 sec/ ft <sup>2</sup> 120 mm $\approx$ 4.75 in 12.5 mm $\approx$ 1/2 in 2.5...3 m $\approx$ 8...10 ft	<p> <math>q_p=100 \text{ l/min}</math>  <math>p=1 \text{ bar}</math>  <math>t=1 \text{ min/ m}^2</math>  <math>&gt;3 \text{ min}</math> </p> 
IPX7	Uticaja trenutnog prodora vlage  Konverzije: 150 mm $\approx$ 6 in 1000 mm $\approx$ 40 in	<p><math>t = 30 \text{ min}</math></p> 

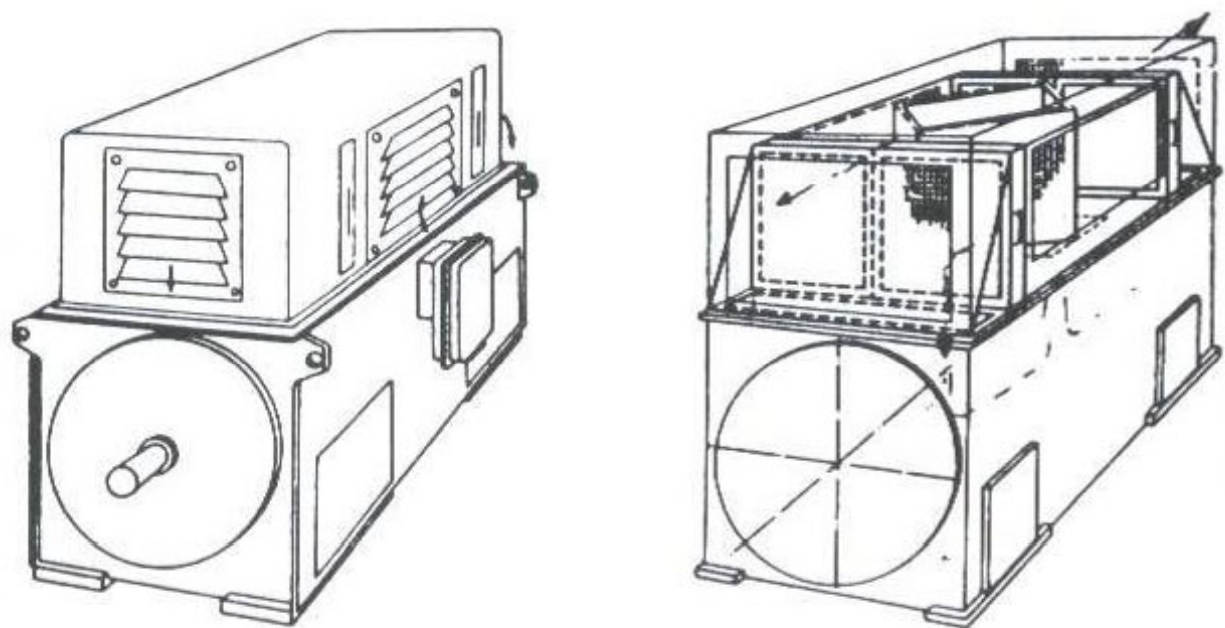
Druga cifra  
(vlaga)

Zaštita od vlage Druga karakteristična cifra		
Stepen zaštite	Zaštita od	Princip testiranja
IPX8	Uticaja konstantnog prodora vlage  Konverzije: 150 mm ≈ 6 in 1 m ≈ 40 in	<p><math>t = \infty</math> IPX8 &gt; IPX7</p> 



## Dodatna slova (pristup)

Zaštita od pristupa opasnim delovima Poređenje između prve cifre i dodatnog slova				
Zaštita ljudi od pristupa opasnim delovima sa	Prva karakteristična cifra (Zaštita ograničavanjem širine otvora)			
	Stepen zaštite	Test	Stepen zaštite	Test
Nadlanicom 	IP1X  Krug 50 mm Ø		IPXXCA  Krug 50 mm Ø	
Prstom 	IP2X  prst 12 mm Ø		IPXXCB  spojeni prst 12 mm Ø 80 mm dug	
Alatom 	IP3X  šipka 2.5 mm Ø		IPXXCC  šipka 2.5 mm Ø 100 mm dug	
Provodnikom 	IP4X  provodnik 1 mm Ø		IPXXCC  provodnik 1 mm Ø 100 mm dug	



Primer stepena zaštite ostvaren dopunskim slovom W u IP kodu

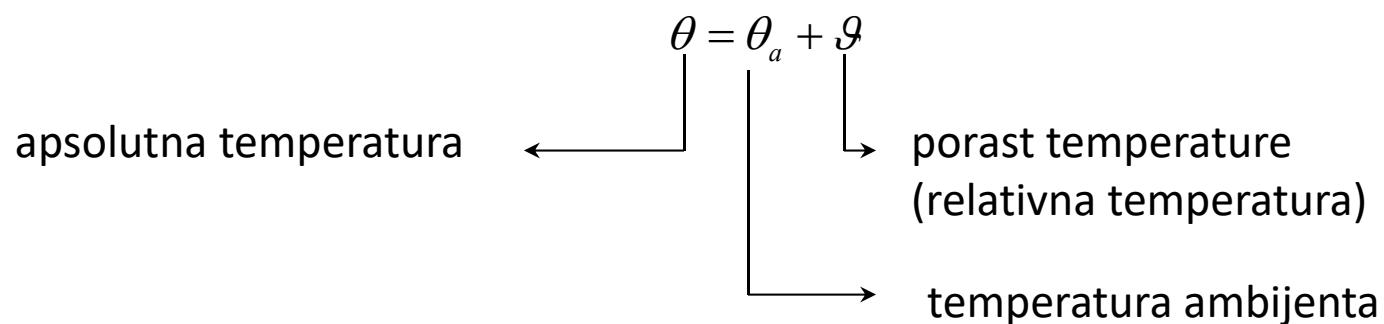
## Najčešće korišćeni stepeni zaštite

Druga karakteristična cifra ⇒ ⇓ Prva karakteristična cifra	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0									
1			IP12						
2		IP21	IP22	IP23					
3									
4					IP44				
5					IP54	IP55			

# ZAGREVANJE MOTORA

- Važan kriterijum za izbor motora.
- Može (!) direktno da utiče na snagu, koja će se nekada razlikovati od  $(m_m \cdot \omega)$ .
- Motor je nehomogena celina u pogledu zagrevanja.
  - gvozdeni delovi, magnetno kolo i oklop;
  - provodnici;
  - izolacija;
  - vazduh.
- Kritični delovi u pogledu zagrevanja,
  - izolacija:
    - namotaja,
    - kolektora.
- Izolacija se napreže usled zagrevanja i mehanički (elektromagnetne sile).

## Temperatura namotaja:



Proračunska (nominalna) temperatura ambijenta po IEC-u.

$$\theta_{anom} = 40^{\circ}\text{C}$$

Dozvoljeni porast temperature zavisi od klase izolacije.

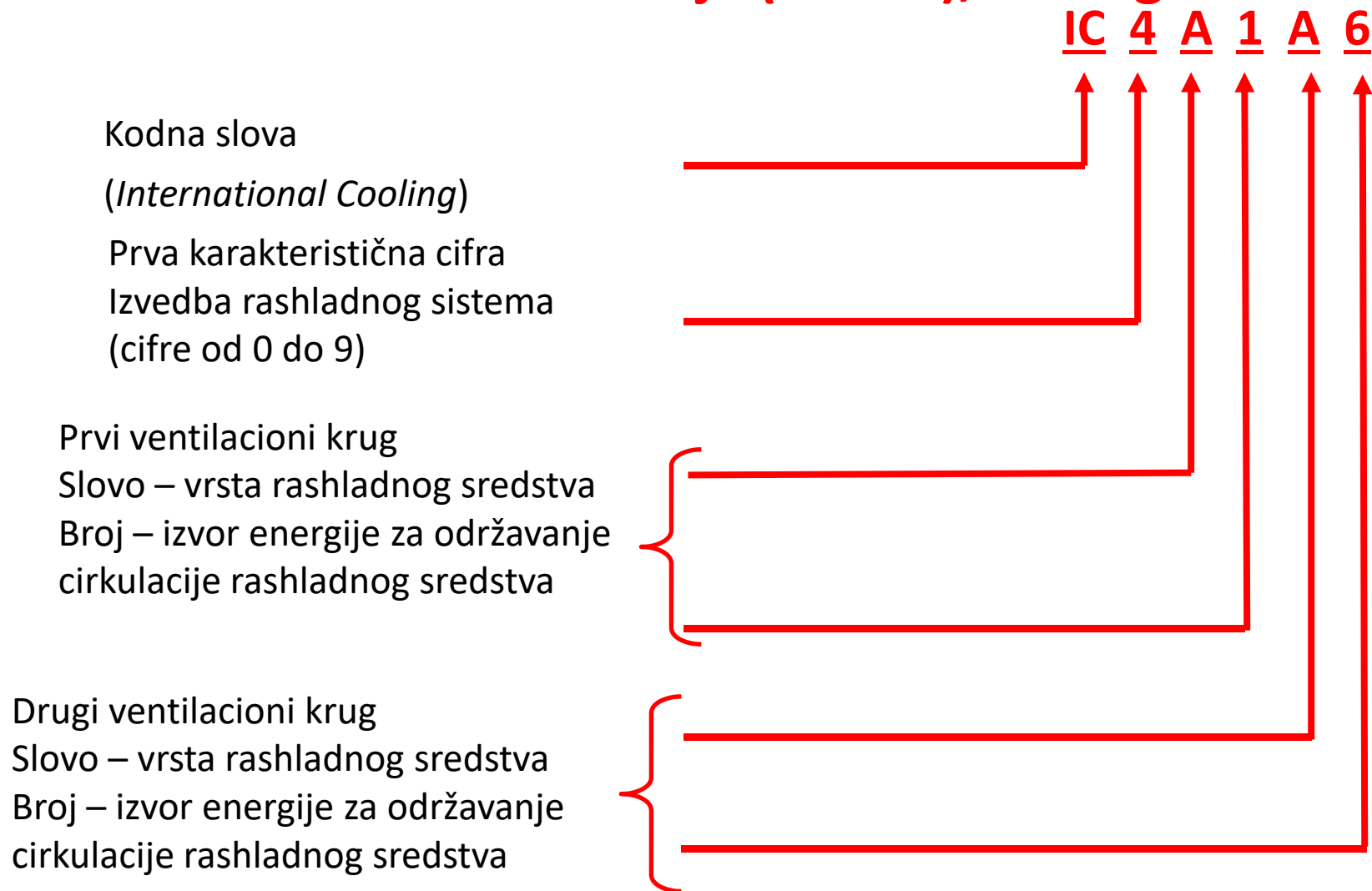
Klasa izolacije	A	E	B	F	H
Dozvoljeni porast $\vartheta_{doz}$ [°C]	60	70	80	100	125

Važno je naglasiti:

$$\theta_{doz} = \theta_{anom} + \vartheta_{doz} = \theta_a + \vartheta$$



# IEC 60034-6 Obrtne električne mašine Poglavlje 6: Načini Hlađenja (IC Kod), 1991.god



IC 416 – motor sa potpuno zatvorenim kućištem sa rebrima, sopstvenim ventilatorom koji vrti vratilo motora (vazduh ulazi kroz rešetku na poklopcu) i sa pomoćnim motor ventilatorom

#### Karakteristična slova za rashladno sredstvo

A – vazduh (može se izostaviti u IC kodu, podrazumeva se)

F – freon

H – vodonik

N – azot

C – CO<sub>2</sub>

W – voda

U – ulje

S – bilo koje drugo rashladno sredstvo

Y – rashladno sredstvo će naknadno biti specificirano

## Vrste hlađenja električnih mašina

### Podela

#### Prema postanku

##### •Prirodno hlađenje

Hlađenje radijacijom i kretanjem vazduha bez ventilatora

##### •Sopstveno hlađenje

Hlađenje ventilatorom koga pokreće mašina

##### •Nezavisno hlađenje

Hlađenje ventilatorom koga pokreće mašina ili se umesto vazduha primenjuje neko drugo rashladno sredstvo

#### Prema načinu delovanja

##### •Unutrašnje hlađenje

Predaja toplote na rashladno sredstvo koje struji

##### •Površinsko hlađenje

Toplota se sa površine mašine predaje rashladnom sredstvu

##### •Hlađenje kružnim tokom

Toplota se preko međurashladnog sredstva i izmenjevača toplote predaje vazduhu

##### •Hlađenje tečnošću

Kroz mašine struji rashladna tečnost ili su u nju uronjene

##### • Neposredno hlađenje provodnika

##### -Neposredno hlađenje gasom

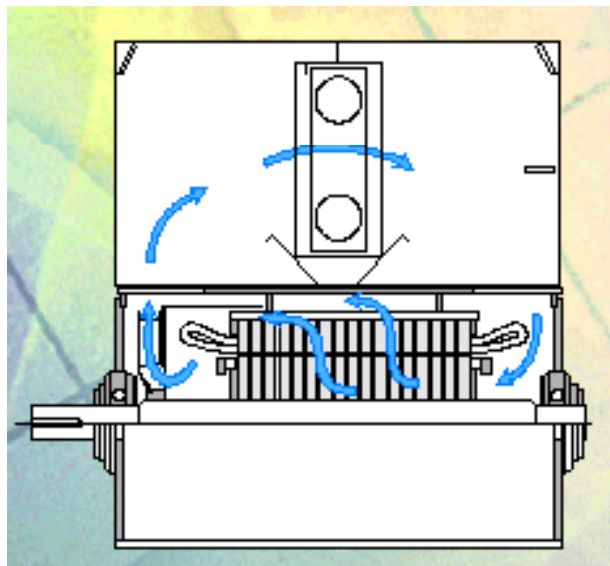
Kroz provodnike i navoje struji rashladni gas

##### -Neposredno hlađenje tečnošću

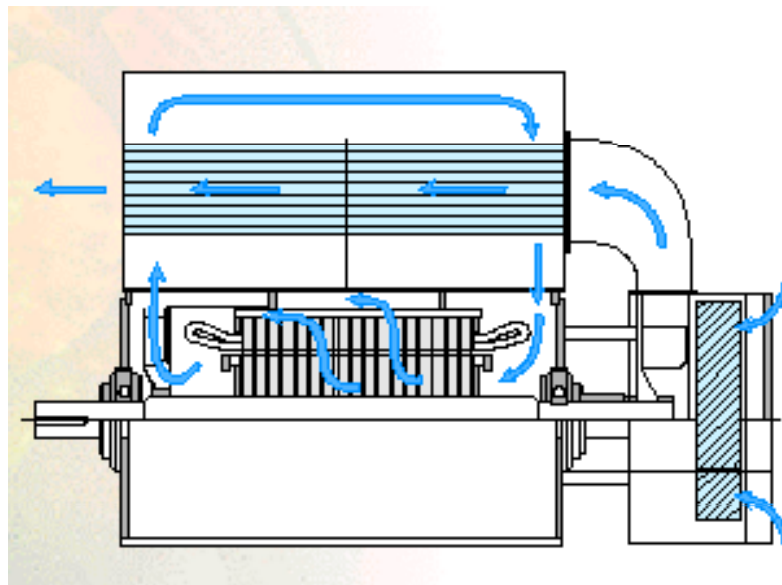
Isto kao i prethodno, samo se upotrebljava rashladna tečnost

##### • može se kombinovati više vrsta hlađenja

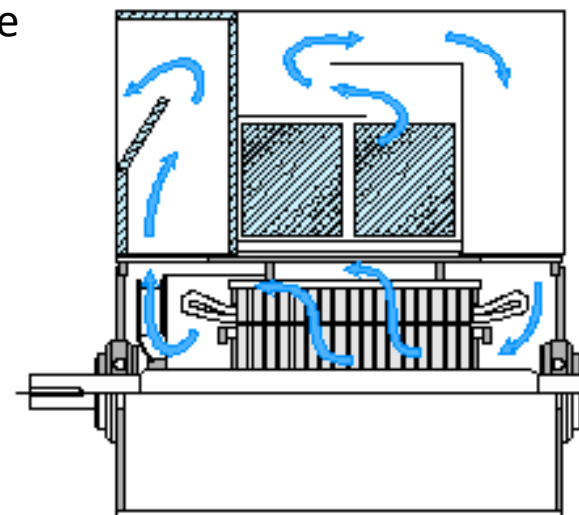
Korišćenjem modularne konstrukcije, od jedne osnovne konstrukcije se može dobiti čitav niz različitih oklopljenja i sistema za hlađenje.



hlađenje vodom i  
vazduhom

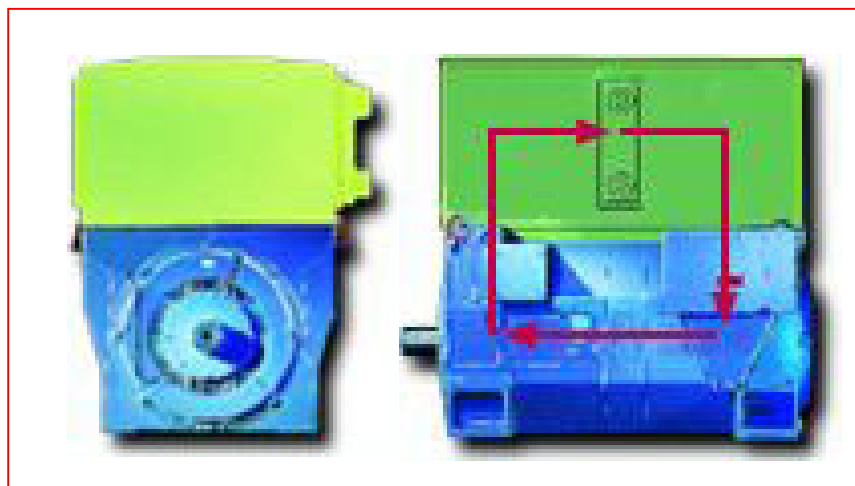


prinudno hlađenje  
vazduhom

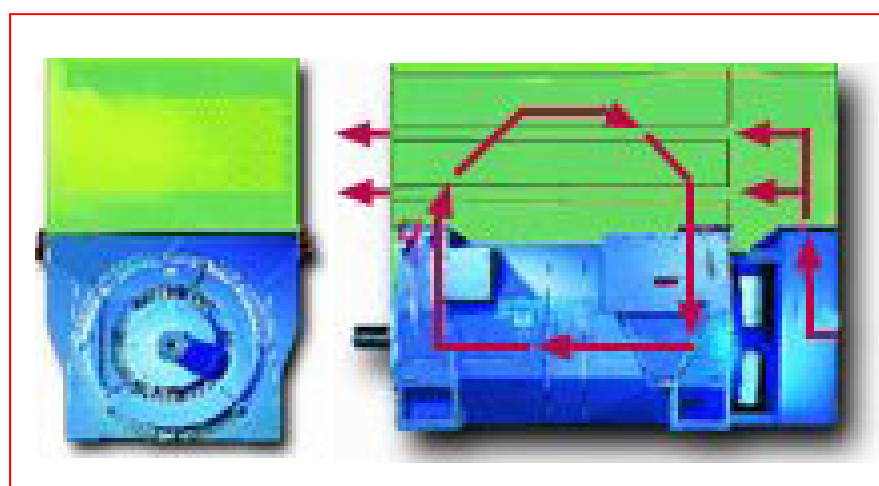


zaštita od vode

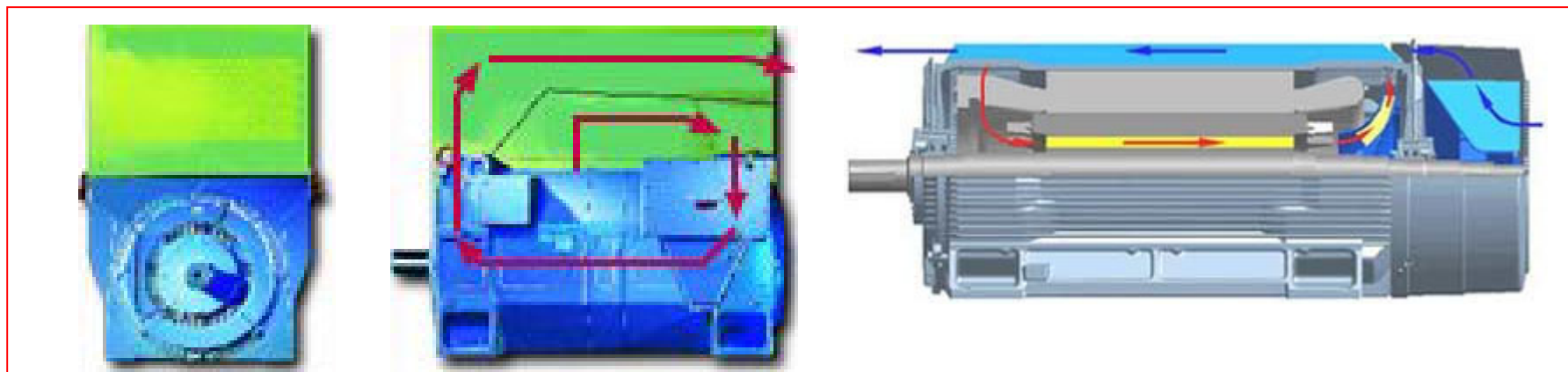
Na vrh kućišta motora montiran razmenjivač vazduh/voda, garantuje rashladne performanse visokog kvaliteta.



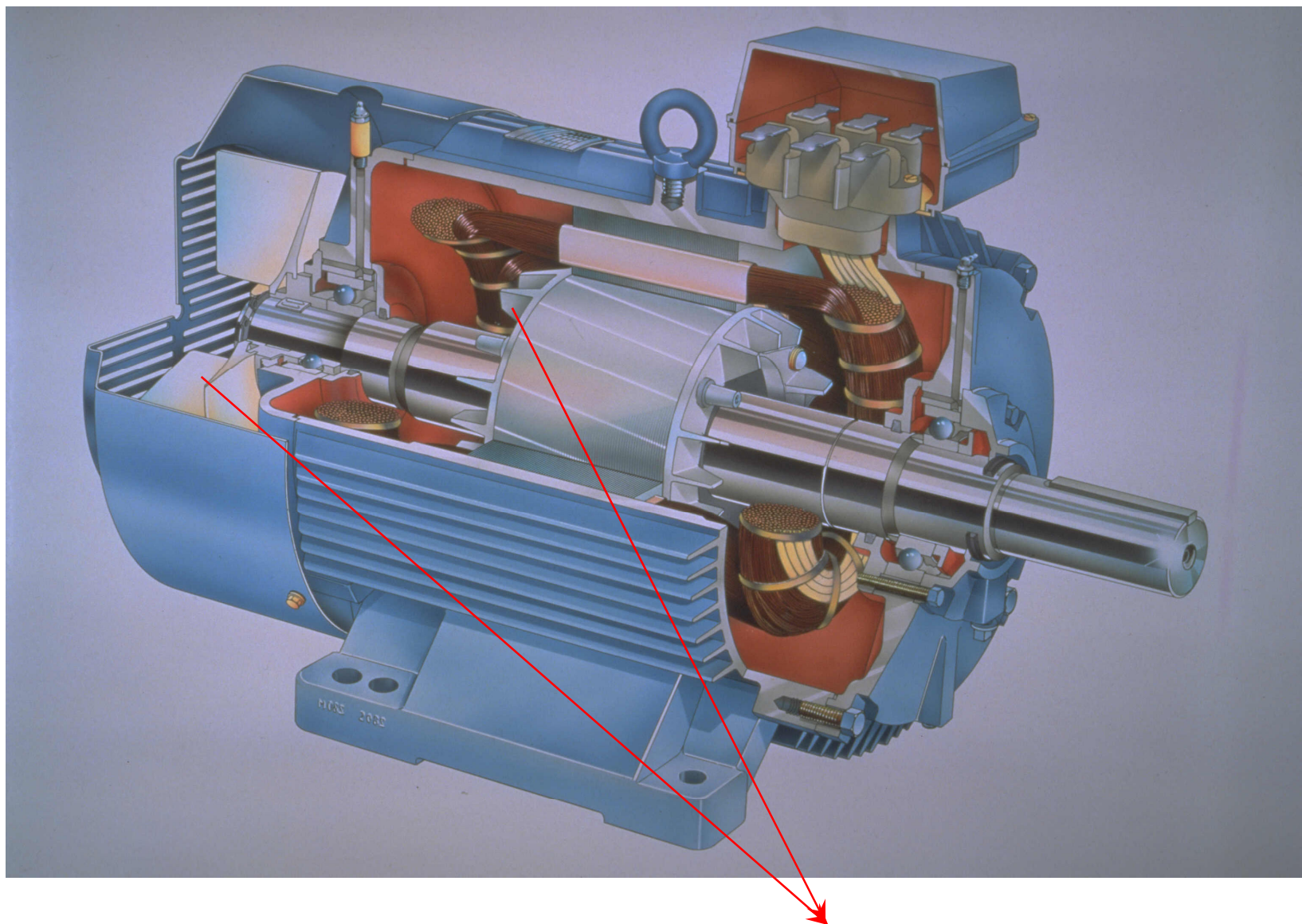
hlađenje vodom i  
vazduhom



prinudno hlađenje  
vazduhom

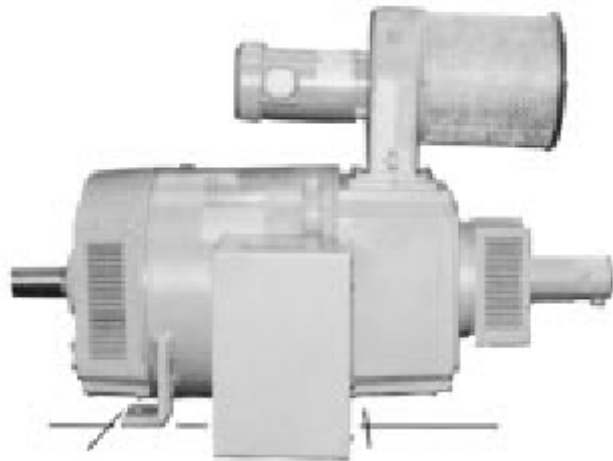


sopstveno (prirodno)  
hlađenje vazduhom

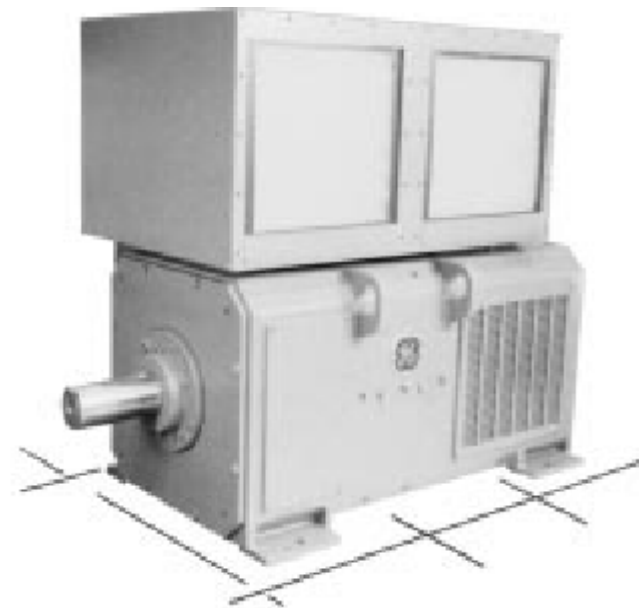


motor sa sopstvenim hlađenjem (unutrašnji ventilator)





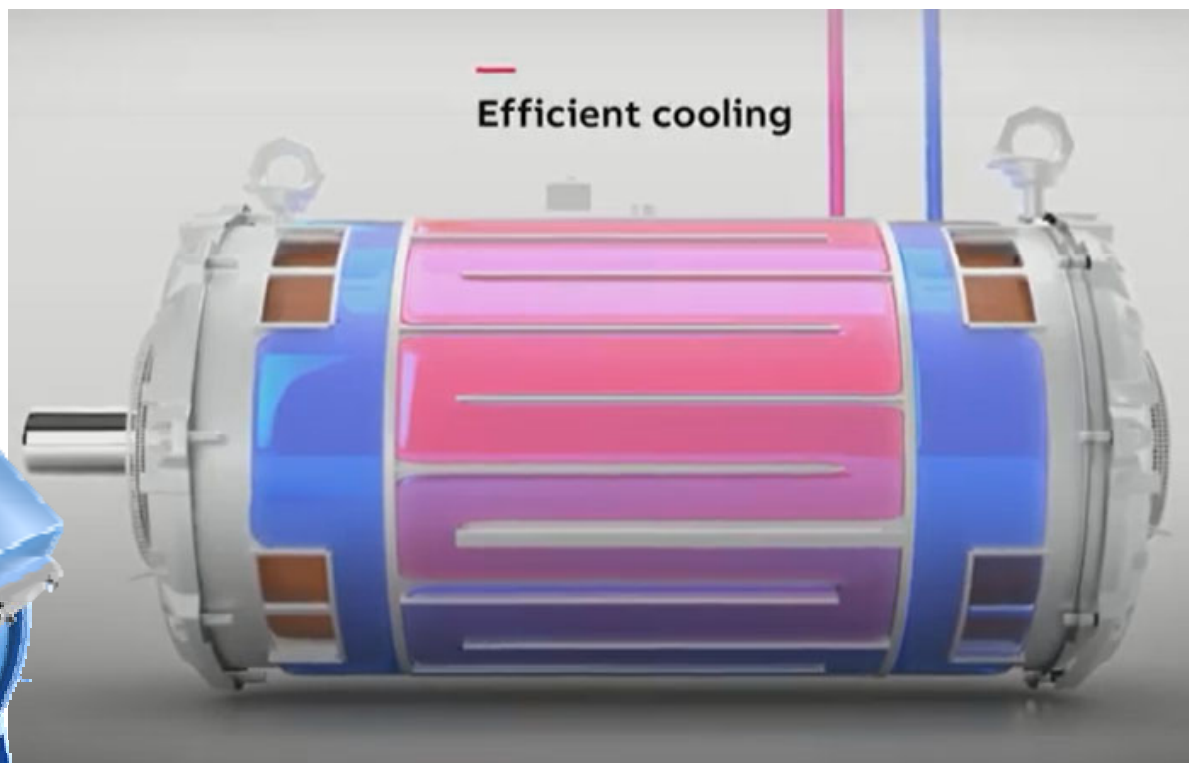
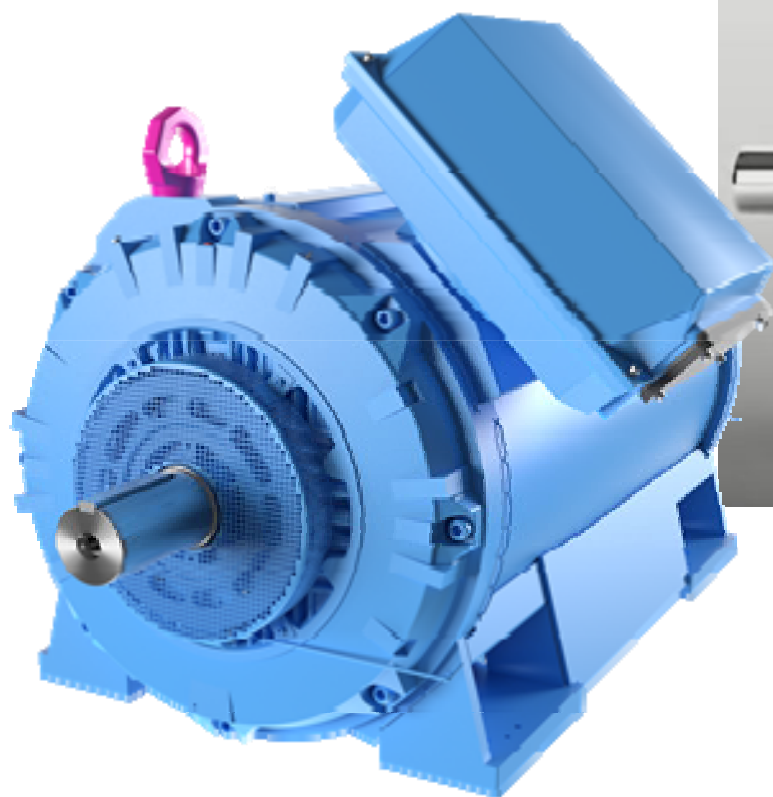
motor ventilator montiran na  
komutatorskom kraju



motor ventilator montiran na  
pogonskom kraju



motor ventilator montiran na  
komutatorskom kraju



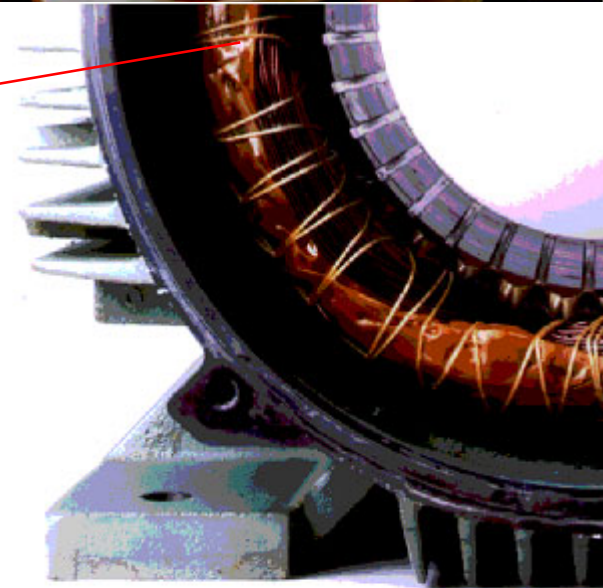
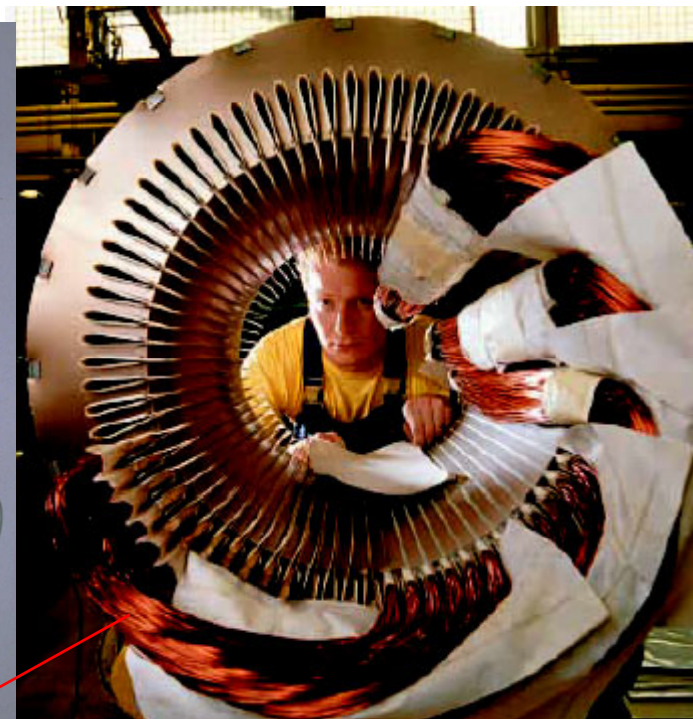
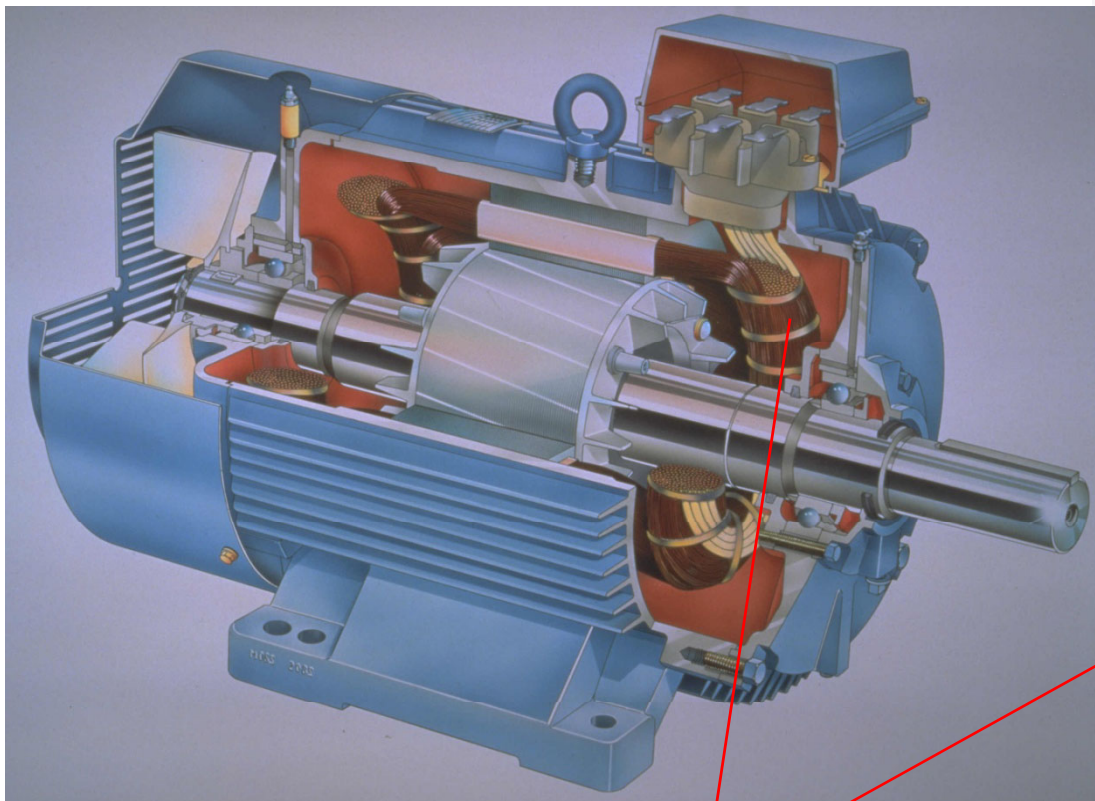
motor sa prinudnim hlađenjem vodom

(<https://new.abb.com/motors-generators/iec-low-voltage-motors/process-performance-motors/water-cooled-motors>)

cevi za prinudno hlađenje vazduhom

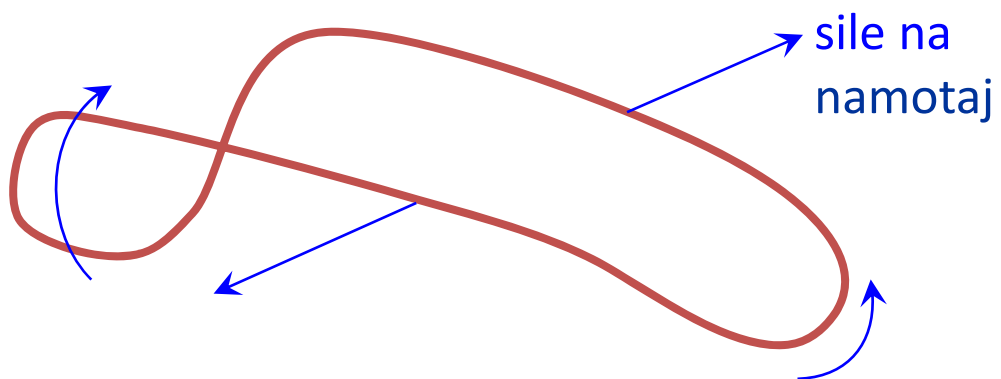






izobličenje usled  
preopterećenja

bočne veze



sile na  
namotaj

## HLAĐENJE MOTORA

U režimu hlađenja je:  $d\vartheta < 0 !!!$

Na primer, kada se motor isključi  $Q = 0$ , rešavanjem diferencijalne jednačine zagrevanja dobija se:

$$\vartheta = \vartheta_{poč} e^{-t/T'}$$

Gde je:  $T' = C / A'$  - vremenska konstanta hlađenja,

$A'$  - specifična snaga hlađenja,  $A' \leq A$ .

Odnos vremenske konstante zagrevanja i hlađenja je:

$$T \leq T'$$

**VEK TRAJANJA** Zagrevanje motora utiče na vek trajanja, pre svega izolacije a time i motora. Vek trajanja može se približno odrediti empirijskom *Mont – Singer* – ovom jednačinom, koja za izolaciju klase A glasi:

$$L = 8,58 \cdot 10^5 \cdot e^{-0,088 \cdot \theta_A} [\text{meseci trajnog rada}]$$

**NOMINALNA SNAGA** Ako motor u nominalnim uslovima ( $\omega_{nom}$ ,  $I_{nom}$ ,  $U_{nom}$ ,  $\theta_{anom}$  i td. ) razvija nominalnu snagu porast temperature u stacionarnom stanju mora da bude:

$$\mathcal{G}_{doz} = \mathcal{G}_{max}$$

**JEDNOČASOVNA SNAGA** Definiše se na sličan način kao i nominalna snaga, s time što se dozvoljeni porast temperature dostiže za 1 čas.

**PREOPTERETLJIVOST** Sposobnost preopterećenja po snazi, momentu ili struji ( $v$ ). Preopterećenja su moguća samo za kratko vreme, tako da se ne prekorači *dozvoljeni porast temperature*.

Minimalna preopteretljivost je  $v_{min} = 1,6$ .

# REŽIMI RADA

U cilju pravilnog i jednostavnijeg izbora motora izvršeno je razvrstavanje i standardizacija režima rada elektromotornih pogona na **DESET NOMINALNIH REŽIMA RADA (IEC 60034-1, Obrtne električne mašine, Poglavlje 1, Nominalne vrste i performanse, 2004)**.

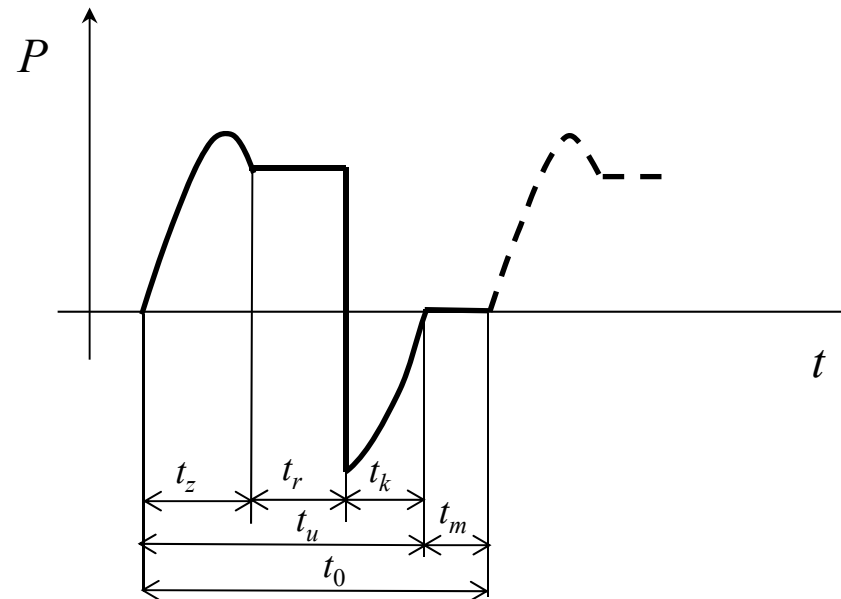
Razvrstavanje je izvršeno na osnovu vremenskih zavisnosti korisne snage, snage gubitaka i temperature motora.

Da bi se ova podela bolje razumela i objasnila moraju se definisati (objasniti) sledeći pojmovi:

1. Dijagram korisne snage motora u vremenu.
2. Dijagram snage gubitaka motora u vremenu.
3. Dijagram porasta temperature motora u vremenu.
4. Dijagram brzine motora u vremenu.
5. Termički stacionarno stanje.



6. radni ciklus (predstavlja sva radna stanja između dva uzastopna uključenja motora, karakterističan radni ciklus prikazan je na slici:)



Na slici su korišćene sledeće oznake:

$t_z$  – vreme zaleta;

$t_r$  – vreme rada;

$t_k$  – vreme kočenja;

$t_m$  – vreme mirovanja;

$t_u$  – vreme uključenja;

$t_0$  – vreme ciklusa.

7. Relativno trajanje uključenja:

$$ED\% = \varepsilon\% = \frac{t_u}{t_0} 100 = \frac{t_u}{t_u + t_m} 100 [\%]$$

8. Broj uključenja na čas:

$$Z = \frac{3600}{t_0} [\text{c/h}]$$

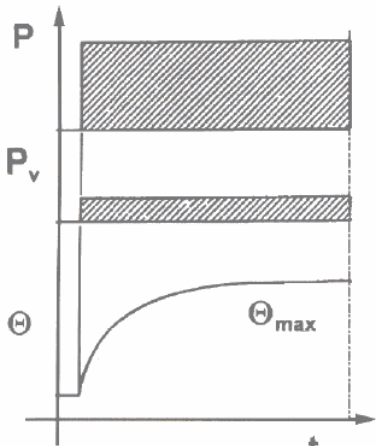
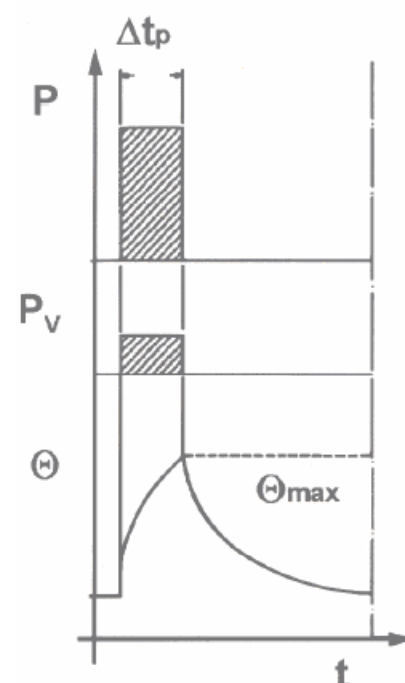
9. Faktor inercije:

$$FI = \frac{\sum J}{J_m} = \frac{J_m + J_{sv}}{J_m}$$

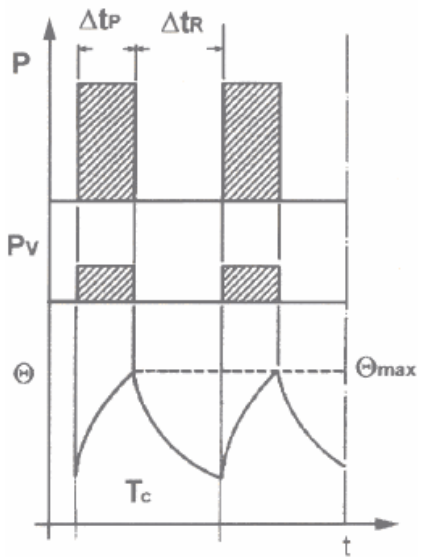
gde je:

$J_m$  – momenat inercije motora;

$J_{sv}$  – momenat inercije pogona sveden na pogonsko vratilo.

Režimi rada		
dijagram	oznake	opis
 <p>The diagram for S1 mode shows three horizontal lines on a graph with power <math>P</math> on the vertical axis and time <math>t</math> on the horizontal axis. The top line represents total power <math>P</math>, the middle line represents electrical losses <math>P_v</math>, and the bottom line represents temperature <math>\Theta</math>. The area between <math>P</math> and <math>P_v</math> is shaded with diagonal lines. The temperature curve <math>\Theta</math> starts at a low value and rises exponentially towards a horizontal dashed line labeled <math>\Theta_{max}</math>.</p>	<p><math>P</math> – režim rada sa konstantnim opterećenjem</p> <p><math>P_v</math> – električni gubici</p> <p><math>\Theta</math> - temperatura</p> <p><math>\Theta_{max}</math> - maksimalna dostignuta temperatura</p> <p><math>t</math> - vreme</p>	<p><b>S1</b></p> <p><b>Trajan pogon</b></p> <p>Radni režim S1</p> <p>Režim rada sa konstantnim opterećenjem dovoljnog trajanja da se postigne termička ravnoteža</p>
 <p>The diagram for S2 mode shows three horizontal lines on a graph with power <math>P</math> on the vertical axis and time <math>t</math> on the horizontal axis. The top line represents total power <math>P</math>, the middle line represents electrical losses <math>P_v</math>, and the bottom line represents temperature <math>\Theta</math>. The area between <math>P</math> and <math>P_v</math> is shaded with diagonal lines. The temperature curve <math>\Theta</math> starts at a low value, rises exponentially to a horizontal dashed line labeled <math>\Theta_{max}</math>, and then decays back towards zero. A vertical double-headed arrow labeled <math>\Delta t_p</math> indicates the duration of the pulse.</p>	<p><math>P</math> – režim rada sa konstantnim opterećenjem</p> <p><math>P_v</math> – električni gubici</p> <p><math>\Theta</math> - temperatura</p> <p><math>\Theta_{max}</math> - maksimalna dostignuta temperatura</p> <p><math>t</math> – vreme</p> <p><math>\Delta t_p</math> – vreme rada sa konstantnim opterećenjem</p>	<p><b>S2</b></p> <p><b>Kratkotrajan pogon</b></p> <p>Radni režim S2</p> <p>Režim rada sa konstantnim opterećenjem u toku datog vremena koje je manje od vremena potrebnog da se postigne termička ravnoteža, praćen vremenom mirovanja i isključenosti koje je dovoljno za ponovno uspostavljanje temperatura mašine u okviru 2 stepena u odnosu na ambijent</p>

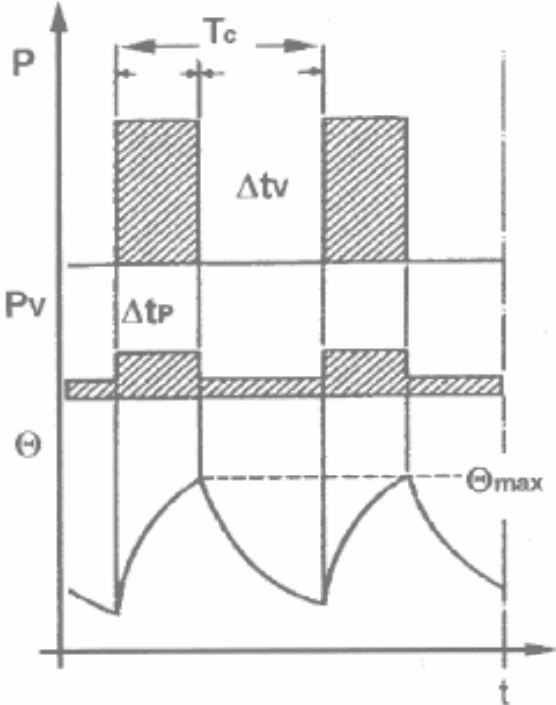
## Režimi rada

dijagram	oznake	opis
 <p>The diagram illustrates the intermittent operating mode (S3) with two vertically aligned graphs sharing a common time axis <math>t</math>. The top graph plots power <math>P</math> against time, showing rectangular pulses of height <math>P_v</math> (average power) and duration <math>\Delta t_p</math>, separated by rest periods of duration <math>\Delta t_R</math>. The bottom graph plots temperature <math>\Theta</math> against time, showing a periodic curve that rises from a minimum value <math>T_c</math> to a maximum value <math>\Theta_{max}</math> during the pulse period and then falls back to <math>T_c</math> during the rest period.</p>	<p><math>P</math> – režim rada sa konstantnim opterećenjem</p> <p><math>P_v</math> – električni gubici</p> <p><math>\Theta</math> - temperatura</p> <p><math>\Theta_{max}</math> - maksimalna dostignuta temperatura</p> <p><math>t</math> – vreme</p> <p><math>\Delta t_p</math> – vreme rada sa konstantnim opterećenjem</p> <p><math>\Delta t_R</math> – vreme mirovanja i isključenosti</p>	<p><b>S3</b></p> <p><b>Intermitentni pogon bez uticaja zaleta</b></p> <p>Radni režim S3</p> <p>Niz identičnih radanih ciklusa, od kojih svaki sadrži period rada sa konstantnim opterećenjem i period mirovanja i isključenosti. U ovom radnom režimu, ciklus je takav da polazna struja ne utiče bitno na porast temperature.</p> <p>Primetiti: periodični radni režim implicira da se termička ravnoteža ne dostiže u toku perioda opterećenja.</p>

Režimi rada		
dijagram	oznake	opis
	<p> <math>P</math> – režim rada sa konstantnim opterećenjem  <math>P_v</math> – električni gubici  <math>\Theta</math> - temperatura  <math>\Theta_{max}</math> - maksimalna dostignuta temperatura  <math>t</math> – vreme  <math>T_C</math> – period trajanja jednog ciklusa  <math>\Delta t_D</math> – vreme zaletanja  <math>\Delta t_P</math> - vreme rada sa konstantnim opterećenjem  <math>\Delta t_R</math> – vreme mirovanja i isključenosti            Faktor trajanja ciklusa <math>(\Delta t_D + \Delta t_P) / T_C</math> </p>	<p> <b>S4</b>  <b>Intermitentni pogon sa uticajem zaleta</b>            Radni režim S4            Niz identičnih radnih ciklusa, od kojih svaki sadrži period zaletanja, period rada sa konstantnim opterećenjem i period mirovanja i isključenosti.         </p> <p>           Primetiti:            periodični radni režim implicira da se termička ravnoteža ne dostiže u toku perioda opterećenja.         </p>

## Režimi rada

dijagram	oznake	opis
	<p><math>P</math> – režim rada sa konstantnim opterećenjem</p> <p><math>P_v</math> – električni gubici</p> <p><math>\Theta</math> - temperatura</p> <p><math>\Theta_{max}</math> - maksimalna dostignuta temperatura</p> <p><math>t</math> – vreme</p> <p><math>T_C</math> – period trajanja jednog ciklusa</p> <p><math>\Delta t_D</math> – vreme zaletanja</p> <p><math>\Delta t_P</math> - vreme rada sa konstantnim opterećenjem</p> <p><math>\Delta t_F</math> vreme trajanja električnog kočenja</p> <p><math>\Delta t_R</math> – vreme mirovanja i isključenosti</p> <p>Faktor trajanja ciklusa</p> <p><math>(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F) / T_C</math></p>	<p><b>S5</b></p> <p><b>Intermitentni pogon sa uticajem zaleta i električnog kočenja</b></p> <p>Radni režim S5</p> <p>Niz identičnih radanih ciklusa, od kojih svaki sadrži period zaletanja, period rada sa konstantnim opterećenjem, period naglog električnog kočenja i period mirovanja i isključenosti.</p> <p>Primititi: periodični radni režim implicira da se termička ravnoteža ne dostiže u toku perioda opterećenja.</p>

Režimi rada		
dijagram	oznake	opis
	<p><math>P</math> – režim rada sa konstantnim opterećenjem</p> <p><math>P_v</math> – električni gubici</p> <p><math>\Theta</math> - temperatura</p> <p><math>\Theta_{max}</math> - maksimalna dostignuta temperatura</p> <p><math>t</math> – vreme</p> <p><math>T_C</math> – period trajanja jednog ciklusa</p> <p><math>\Delta t_P</math> - vreme rada sa konstantnim opterećenjem</p> <p><math>\Delta t_v</math> – vreme mirovanja i isključenosti</p> <p>Faktor trajanja ciklusa</p> <p><math>\Delta t_P / T_C</math></p>	<p><b>S6</b></p> <p><b>Trajan pogon sa intermitentnim opterećenjem</b></p> <p>Radni režim S6</p> <p>Niz identičnih radanih ciklusa od kojih svaki sadrži period rada sa konstantnim opterećenjem i period rada u praznom hodu. Nema perioda mirovanja i isključenosti.</p> <p>Primetiti: periodični radni režim implicira da se termička ravnoteža ne dostiže u toku perioda opterećenja.</p>



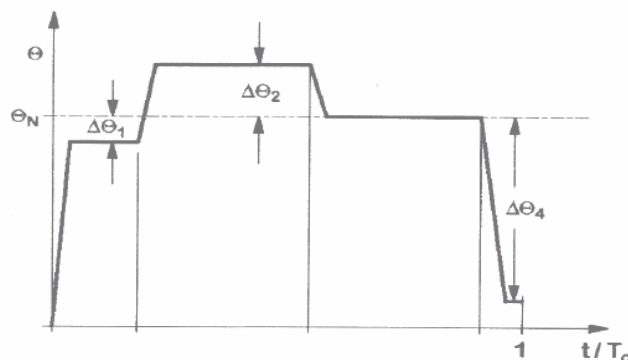
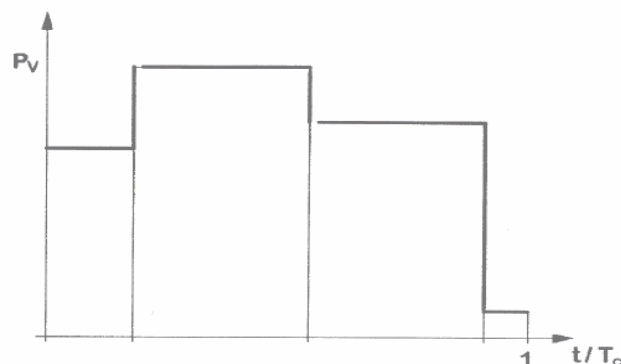
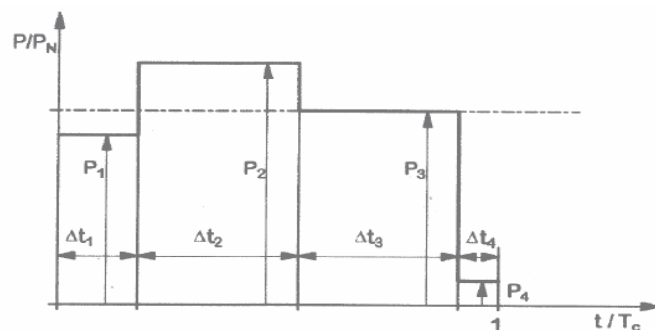
Režimi rada		
dijagram	oznake	opis
	<p> <math>P</math> – režim rada sa konstantnim opterećenjem  <math>P_v</math> – električni gubici  <math>\Theta</math> - temperatura  <math>\Theta_{max}</math> - maksimalna dostignuta temperatura  <math>t</math> – vreme  <math>T_C</math> – period trajanja jednog ciklusa  <math>\Delta t_D</math> - vreme zaletanja  <math>\Delta t_P</math> - vreme rada sa konstantnim opterećenjem  <math>\Delta t_F</math> – vreme trajanja električnog kočenja  Faktor trajanja ciklusa = 1 </p>	<p> <b>S7</b>  <b>Trajan pogon sa zaletom i električnim kočenjem</b>  Radni režim S7  Niz identičnih radanih ciklusa od kojih svaki sadrži period zaletanja, period rada sa konstantnim opterećenjem i period električnog kočenja. Nema perioda mirovanja i isključenosti. </p> <p> Primetiti:  periodični radni režim implicira da se termička ravnoteža ne dostiže u toku perioda opterećenja. </p>

Režimi rada		
dijagram	oznake	opis
	<p> <math>P</math> – režim rada sa konstantnim opterećenjem  <math>P_v</math> – električni gubici  <math>\Theta</math> - temperatura  <math>\Theta_{max}</math> - maksimalna dostignuta temperatura  <math>n</math> – brzina  <math>t</math> – vreme  <math>T_C</math> – period trajanja jednog ciklusa  <math>\Delta t_D</math> - vreme zaletanja  <math>\Delta t_P</math> - vreme rada sa konstantnim opterećenjem (P1, P2, P3)  <math>\Delta t_F</math> – vreme trajanja električnog kočenja (F1, F2)            Faktor trajanja ciklusa =  <math>(\Delta t_D + \Delta t_{P1}) / T_C</math>  <math>(\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2}) / T_C</math>  <math>(\Delta t_{F1} + \Delta t_{P3}) / T_C</math> </p>	<p><b>S8</b></p> <p><b>Trajan pogon sa periodičnom promenom brzine obrtanja</b></p> <p>Radni režim S8</p> <p>Niz identičnih radnih ciklusa od kojih svaki sadrži period rada sa konstantnim opterećenjem koje je prethodno definisano u zavisnosti od brzine obrtanja motora, a praćen je sa jednim ili više perioda rada sa drugim konstantnim opterećenjima koja odgovaraju različitim brzinama obrtanja motora (do kojih je došlo na primer, promenom broja pari polova kod asinhronog motora. Nema perioda mirovanja i isključenosti.</p> <p>Primetiti: periodični radni režim implicira da se termička ravnoteža ne dostiže u toku perioda opterećenja.</p>

Režimi rada		
dijagram	oznake	opis
<p>The diagram illustrates the S9 operating mode, which is a non-periodic, variable-speed operation. It shows four stacked plots over time (t): speed (n), power (P), electrical losses (Pv), and temperature (Θ). The speed plot shows a series of trapezoidal pulses. The power plot shows corresponding load pulses. The electrical losses plot shows shaded areas representing loss during acceleration, braking, and constant speed. The temperature plot shows a sawtooth-like curve that rises during load and falls during rest, with a dashed line indicating the maximum temperature Θmax. Labels D, R, S, P, F, and Pv are placed on their respective plots to indicate specific events and parameters.</p>	<p> <math>n</math> — brzina  <math>P</math> — opterećenje  <math>P_{ref}</math> — zadato opterećenje  <math>P_v</math> — električni gubici  <math>\Theta</math> — temperatura  <math>\Theta_{max}</math> — maksimalna dostignuta temperatura  <math>t</math> — vreme  <math>\Delta t_D</math> — vreme zaletanja  <math>\Delta t_P</math> — vreme rada sa konstantnim opterećenjem  <math>\Delta t_F</math> — vreme trajanja električnog kočenja  <math>\Delta t_R</math> — vreme mirovanja i isključenosti  <math>\Delta t_S</math> — vreme rada sa preopterećenjem         </p>	<p><b>S9</b></p> <p><b>Pogon sa neperiodičnim opterećenjem i promenom brzine obrtanja</b></p> <p>Radni režim S9</p> <p>Radni režim u kome se opterećenje i brzina generalno aperiodično menjaju u dozvoljenom opsegu rada. Ovaj radni režim sadrži često primenljiva preopterećenja koja mogu znatno da premaše puna opterećenja.</p>

## Režimi rada

### dijagram



### oznake

$P$  – režim rada sa konstantnim opterećenjem  
 $P_i$  – konstantno opterećenje u toku jednog perioda opterećenja u okviru ciklusa opterećenja  
 $P_{ref}(N)$  – zadato opterećenje bazirano na radnom režimu S1  
 $T_C$  – period trajanja jednog ciklusa  
 $P_v$  – električni gubici  
 $\Theta$  – temperatura  
 $\Theta_{ref}(N)$  – temperatura pri zadatom opterećenju baziranom na radnom režimu S1  
 $\Delta\Theta_i$  – povećanje ili smanjenje porasta temperature u toku  $i$ -tog perioda ciklusa opterećenja  
 $t$  – vreme

### opis

#### S10

#### Pogon sa diskretnim konstantnim opterećenjima

Radni režim S10

Radni režim se sastoji iz ne više od četiri diskretne vrednosti opterećenja (ili ekvivalentnog opterećenja) od kojih se svaka primenjuje dovoljno dugo da se dozvoli mašini da postigne termičku ravnotežu. Minimum opterećenja u toku radnog ciklusa može imati vrednost nula (prazan hod, ili mirovanje i isključenost).

Primititi:

1. Diskretne vrednosti opterećenja će najčešće biti jednake opterećenju baziranom na integraciji u toku vremenskog intervala. Nije neophodno da svi ciklusi opterećenja budu međusobno jednaki, već samo da svako opterećenje u okviru ciklusa bude primenjivano dovoljno dugo da se dostigne termička ravnoteža i da je svaki ciklus opterećenja moguće integraliti tako da se može očekivati isti radni vek motora, s obzirom na zagrevanje.
2. Za ovaj radni režim, konstantno opterećenje adekvatno izabrano i bazirano na radnom režimu S1 bi trebalo uzeti za referentnu vrednost za diskretno opterećivanje (ekv.opt.).

## Korisni linkovi:

<https://new.abb.com/drives>

-Različiti programi za izbor, dimenzionisanje i puštanje u rad ABB-ovih pogona, nalaze se u okviru Software tools na gornjoj web strani.

-<https://new.siemens.com/global/en/products/drives/selection-and-engineering-tools.html>

Selection and Engineering Tools

SinaSave Energy Efficiency Tool (Computer to calculate the payback time for energy-efficient drive technology)

Drive Technology Configurator

Drive Design Tool SIZER for Siemens Drives

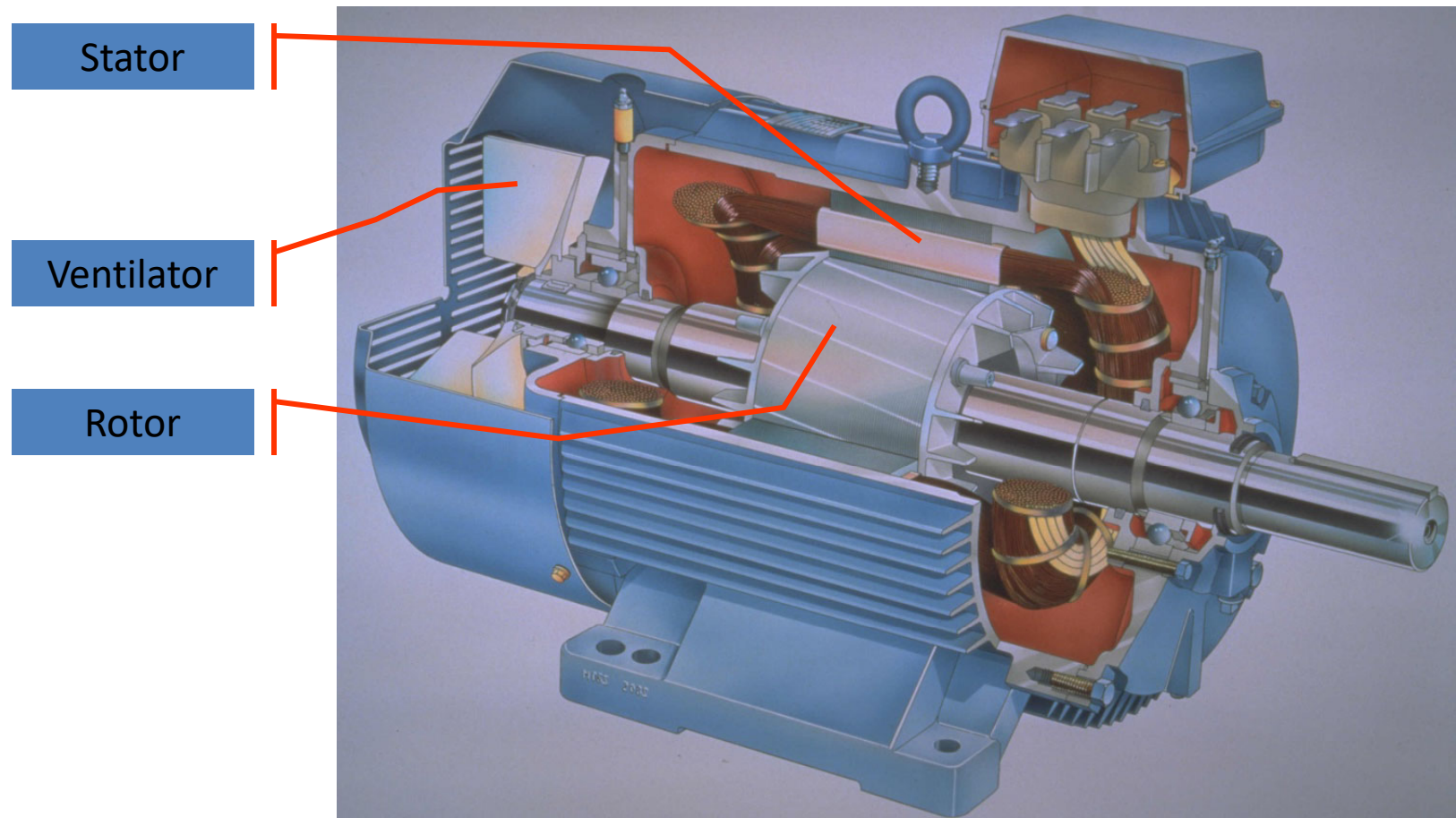
-<https://new.siemens.com/global/en/products/automation.html>

-<https://suite.mydrive.danfoss.com/content/tools>

# Energetski efikasni asinhroni motori u elektromotornim pogonima – II deo

- Sažeto su prikazani međunarodni standardi iz oblasti energetske efikasnosti elektromotornih pogona koji se sprovode u zemljama Evropske unije.
- Analiziran kavezni asinhroni motor, kao najpouzdaniji i najzastupljeniji motor u elektromehaničkom pretvaranju energije.
- U pogledu načina hlađenja posmatrano je najjeftinije i najjednostavnije konstruktivno rešenje, a to je sopstveni ventilator na vratilu motora.
- U pogledu zaptivenosti kućišta posmatrani su motori sa potpuno zatvorenim kućištem (IP 55).
- Razmatrani motori su projektovani za temperaturni porast klase "B", a ugrađena im je izolacija klase "F", čime je ostvarena dodatna termička rezerva od 20 [C°]. Pored toga termička rezerva dozvoljava kratkotrajna preopterećenja motora, kao i rad na temperaturama ambijenta koje su više od standardne temperature ambijenta, 40 [C°]. Ovim postupkom proizvođači motora imaju težnju da produže radni vek izolacije motora koji treba da se napajaju iz frekventnih pretvarača.
- Dopunski gubici koji se mogu javiti u kaveznom asinhronom motoru pri napajanju iz frekventnog pretvarača zavise od harmonijskog sadržaja na izlazu invertora i od algoritma upravljanja.

# Asinhroni trofazni motori





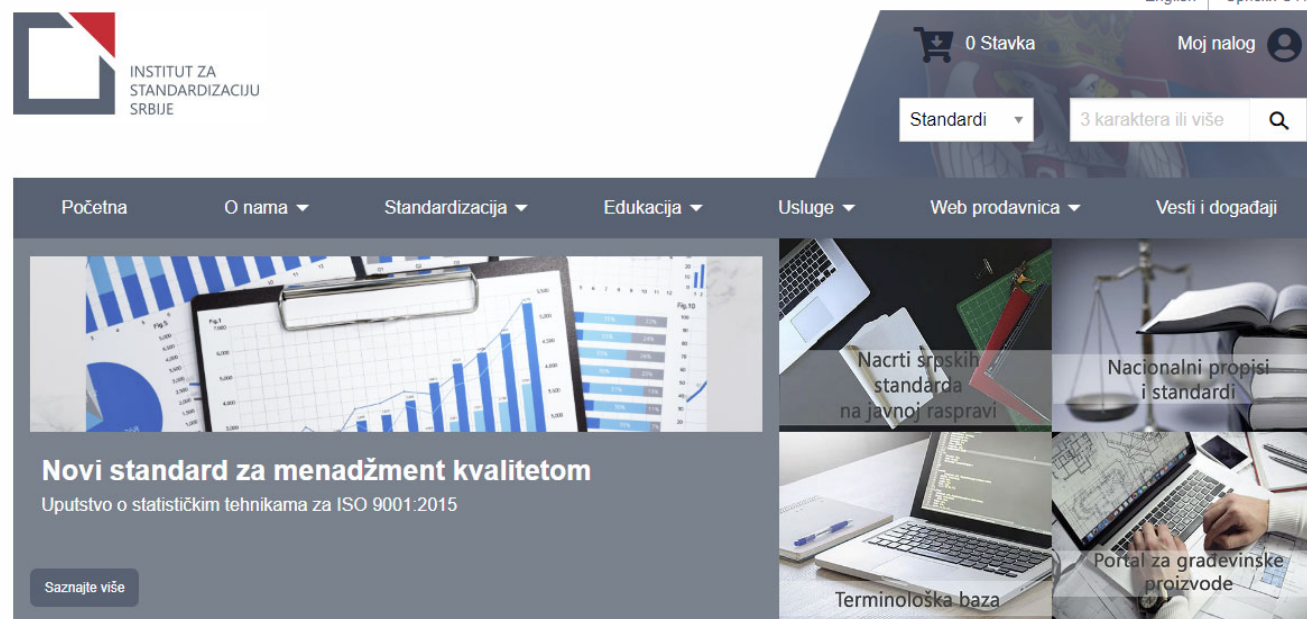
- **Sama upotreba energetske efikasne motora ne može uvek dovesti do povećane efikasnosti elektromotornog pogona!**
- Primer: standardni režimi rada sa različitim obimom intermitencije u pogonima gde je moment inercije motora dominantan u odnosu na moment inercije mehaničkog opterećenja.
- Analizirani su motori različitih klasa energetske efikasnosti koji imaju isto ugaono ubrzanje:
  - upotrebom naznačenih podataka o stepenu iskorišćenja motora, dobijeni rezultati pokazuju da u većini slučajeva motori IE4 imaju veći utrošak električne energije u odnosu na motore sa manjom klasom energetske efikasnosti (IE3, IE2).
  - Ovaj negativan efekat u pogledu potrošnje električne energije kod motora visoke klase IE4 sve više je izraženiji ukoliko je procentualno učešće perioda ubrzanja i usporenja u odnosu na period rada sa konstantnom brzinom veći u toku jednog radnog ciklusa.

- **Zbog važnosti uticaja momenta inercije motora standardi preporučuju da se energetske efikasne motore (IE4) mogu koristiti za uštedu energije u standardnom režimu rada S1, dok se za ostale standardne režime (S2-S10), ako se koriste motore IE4, mora voditi računa o mekom puštanju, odnosno smanjivanju ubrzanja motora produžavanjem vremena trajanja brzinske rampe.**
- Takođe, ni obavezna upotreba frekventnih pretvarača u kombinaciji sa kaveznom motorom ne mora značiti da će pogon imati veću efikasnost u odnosu na pogon sa direktnim puštanjem kaveznog motora. Ovo je posebno izraženo kod nereguliranih pogona koji rade u trajnom režimu pri brzinama bliskim naznačenoj brzini motora. Frekventni pretvarač ima sopstvene gubitke snage u toku rada i svojim nesinusnim naponom izaziva dodatne gubitke u motoru.
- Odgovarajući zaključci se mogu izvesti na osnovu analize podataka za dvopolne, četvoropolne i šestopolne kavezne asinhronne motore nazivne snage 75 [kW], za tri različite klase energetske efikasnosti (IE2, IE3, IE4).

# Standardi koji se odnose na efikasnost motora

- Efikasnost motora se do skoro merila i razvrstavala prema različitim standardima za efikasnost, u različitim zemljama sveta, koji su propisivali različite metode ispitivanja za utvrđivanje gubitaka pa je postojala značajna razlika u podacima za efikasnost kod proizvođača širom sveta.
- Barijera za uspešnu međunarodnu trgovinu je uklonjena pojavom IEC jedinstvenih standarda za merenje efikasnosti i klasifikaciju asinhronih motora:
  - IEC 60034-1 - Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance, 2010.
  - IEC 60034-2-1 - Rotating electrical machines - Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles), 2007.
  - IEC 60034-30-1:2014 - Rotating electrical machines - Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code), Standard SRPS EN 60034-30 (2008): 2013, Obrtne električne mašine — Deo 30: "Klase energetske efikasnosti jednobrzinskih, trofaznih, kaveznih asinhronih motora. "
- Pomenuti standardi su bez ikakvih modifikacija odobreni od strane CENELEC-a (Evropski komitet za elektrotehničku standardizaciju) kao evropski standardi. U našoj zemlji su na osnovu Zakona o standardizaciji usvojeni kao važeći srpski standardi.

\*Institut za standardizaciju Srbije ([https://iss.rs/sr\\_Cyrl/](https://iss.rs/sr_Cyrl/))



## Kako standardi mogu pomoći Vašoj kompaniji?

Bilo da želite da pratite i unapređujete kvalitet proizvoda, IT sistem bezbednosti, da implementirate sistem za reklamacije ili da korisnicima pružite dodatnu sigurnost, to možete učiniti koristeći standarde.

## Nacrti srpskih standarda na javnoj raspravi

Cilj javne rasprave je da se svim zainteresovanim stranama omogući da dostave primedbe i predloge na nacрте standarda. rok predviđen za javnu raspravu je 60 dana od dana pokretanja javne rasprave ili, kada to nalažu razlozi bezbednosti, zaštite zdravlja i životne sredine, može biti i kraći, ali ne kraći od 30 dana. Kompletne tekstove nacрта standarda možete pročitati na našem sajtu u vreme trajanja javne rasprave, a svoje primedbe možete dostaviti sekretaru nadležne komisije za standarde. Da biste to uradili, neophodno je da se prvo registrujete.

<p>naSRPS B.H8.396:2021</p> <p>ISS</p> <p>Standardna metoda ispitivanja sumpora pri analizi uzoraka uglja i koksa korišćenjem visoko - temperature cevne peći za sagorevanje</p> <p>40.20 Nacrt na javnoj raspravi 60 dana</p> <p>B082</p> <p>Saznaj više</p>	<p>naSRPS EN ISO 11239:2020</p> <p>ISS</p> <p>Informatika u zdravstvu – Identifikacija medicinskih proizvoda – Elementi i strukture podataka za jedinstvenu identifikaciju i razmenu regulisanih informacija o obrascima za farmaceutske doze, jedinicama predstavljanja, administrativnim tokovima i ambalaži</p> <p>40.20 Nacrt na javnoj raspravi 60 dana</p> <p>I215</p> <p>Saznaj više</p>
<p>naSRPS EN IEC 62676-5-1:2020</p> <p>ISS</p> <p>Sistemi video nadzora za upotrebu u bezbednosti (VSS); Deo 5-1: Metode ispitivanja okoline zbog kvaliteta performansi slike</p> <p>40.20 Nacrt na javnoj raspravi 60 dana</p> <p>N079</p> <p>Saznaj više</p>	<p>naSRPS EN ISO 4259-5:2020</p> <p>ISS</p> <p>Naftni i srodni proizvodi – Preciznost metoda merenja i rezultata – Deo 5: Statističko ocenjivanje biasa između dve različite metode koje tvrde da mere isto svojstvo materijala</p> <p>40.20 Nacrt na javnoj raspravi 60 dana</p> <p>B028-2</p> <p>Saznaj više</p>
<p>naSRPS EN ISO 14920:2020</p> <p>ISS</p> <p>Termičko raspršivanje — Raspršivanje i stapanje legura koje sadrže topitelj</p> <p>40.20 Nacrt na javnoj raspravi 60 dana</p> <p>C107</p> <p>Saznaj više</p>	<p>naSRPS EN ISO 3104:2020</p> <p>ISS</p> <p>Naftni proizvodi - Provedne i neprovedne tečnosti - Određivanje kinematičke viskoznosti i izračunavanje dinamičke viskoznosti</p> <p>40.20 Nacrt na javnoj raspravi 60 dana</p> <p>B028-2</p> <p>Saznaj više</p>

# IEC 60034-1 - Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance

- IEC/TC 2, Februar 2010. god., 12. izdanje, Identičan je sa evropskim standardom EN 60034-1:2010 (CLC/TC 2, 1.10.2010.) i standardom na srpskom jeziku **SRPS EN 60034-1:2011 - Obrtne električne mašine - Deo 1: Naznačene vrednosti i karakteristike**
- **Predmet i područje primene:**
  - sve obrtne električne mašine, osim one koje su obuhvaćene standardom IEC 60349.
- Definiše režime rada elektromotornog pogona, naznačene vrednosti, uslove radnog mesta (uslove ambijenta), električne radne uslove kao i toplotne performanse i ispitivanja.
- Standardi koji se odnose na efikasnost motora mogu se podeliti na dve grupe:
  - grupu koju čine standardi koji definišu metode za određivanje gubitaka snage i stepen iskorišćenja motora i
  - grupu koju čine standardi koji definišu energetske klase motora.

# Standardi za određivanje gubitaka snage i stepena iskorišćenja motora

- Najvažniji standardi koji propisuju metode za određivanje stepena iskorišćenja su IEC 60034-2 i IEEE 112 standard. Tokom revizije standarda IEC 60034-2 predloženo je da se revidiran standard razdvoji na tri dela:
  - prvi deo (**IEC 60034-2-1**) odnosi se na mašine koje su obuhvaćene standardom IEC 60034-1 i koje se normalno testiraju pod opterećenjem;
  - drugi deo (**IEC 60034-2-2**) se odnosi na velike mašine kod kojih nije ekonomično testiranje pomoću standardnih metoda i
  - treći deo (**IEC 60034-2-3**) se odnosi na testiranje mašina koje se napajaju iz energetske pretvarača.

Standard IEC 60034-2-1 (IEC/TC 2, 10.09. 2007.)

Rotating electrical machines - Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)

- Identičan je sa evropskim standardom EN 60034 -2-1 (CLC/TC 2, ratifikovan 01.11.2007.) i standardom **SRPS EN 60034-2-1:2008** (27.05.2008.): Obrtne električne mašine - Deo 2-1: Standardne metode ispitivanja za utvrđivanje gubitaka i stepena iskorišćenja (izuzimajući mašine za vučna vozila)
- **Predmet i područje primene:** mašine jednosmerne struje, sinhronne i asinhronne mašine. Principi koji su u njemu izloženi mogu da se primene i na druge tipove mašina kao što su obrtni pretvarači, komutatorske mašine (za naizmeničnu struju) i jednofazni asinhroni motori za koje se koriste i druge metode određivanja gubitaka.





Standard IEC 60034-2-2 (IEC/TC 2, 16.03. 2010.)  
Rotating electrical machines - Part 2-2: Specific methods for  
determining separate losses of large machines from tests -  
Supplement to IEC 60034-2-1

- Identičan je sa evropskim standardom EN 60034 -2-2 (CLC/TC 2, ratifikovan 01.06.2010.) i standardom **SRPS EN 60034-2-1:2011** (20.06.2011.): Obrtne električne mašine - Deo 2-2: Specifične ispitne metode za određivanje pojedinačnih gubitaka kod velikih mašina - Dodatak na IEC 60034-2-1
- **Predmet i područje primene:** velike obrtne električne mašine. Postavlja dodatne metode za određivanje pojedinačnih gubitaka i definiše stepen efikasnosti, kao dodatak standardu IEC 60034-2-1. Ove metode se primenjuju onda kada ispitivanje pod punim opterećenjem nije praktično izvodljivo, a rezultat je sa većom nesigurnošću.
- **Standard IEC 60034-2-3 (IEC/TC 2, novembar 2013.)**  
Rotating electrical machines - Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC motors.

# Klase energetske efikasnosti prema standardu IEC/EN 60034-30-1

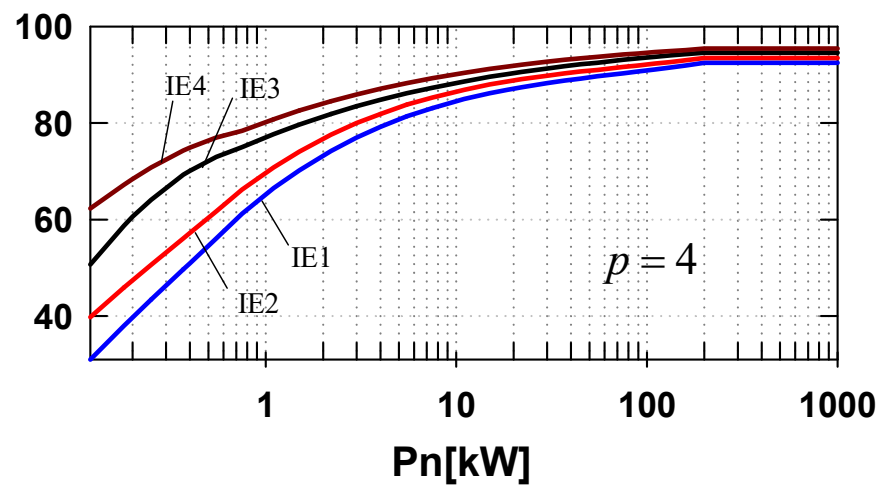
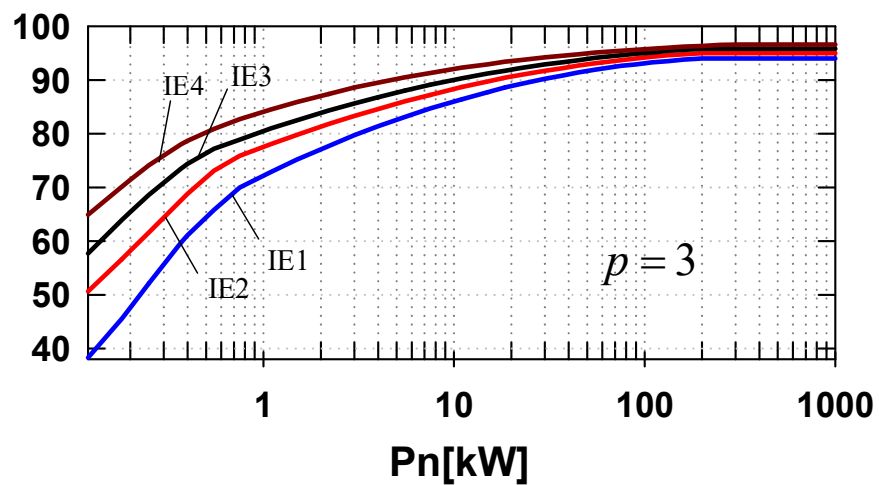
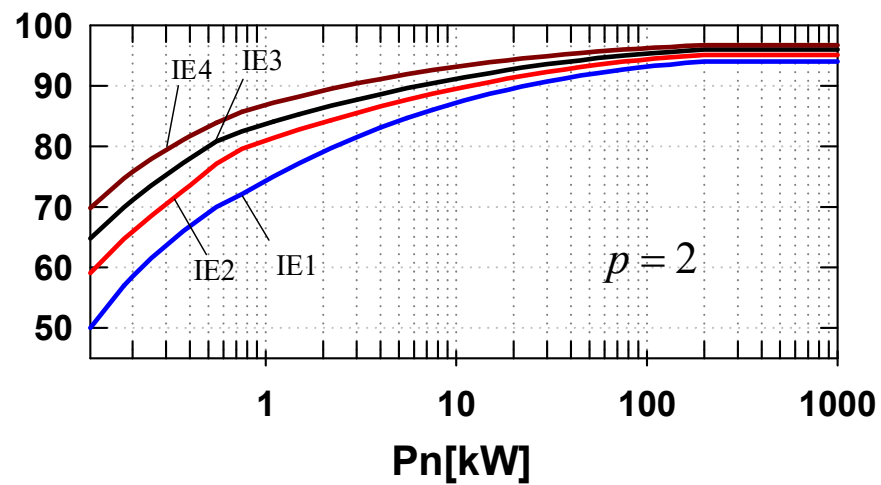
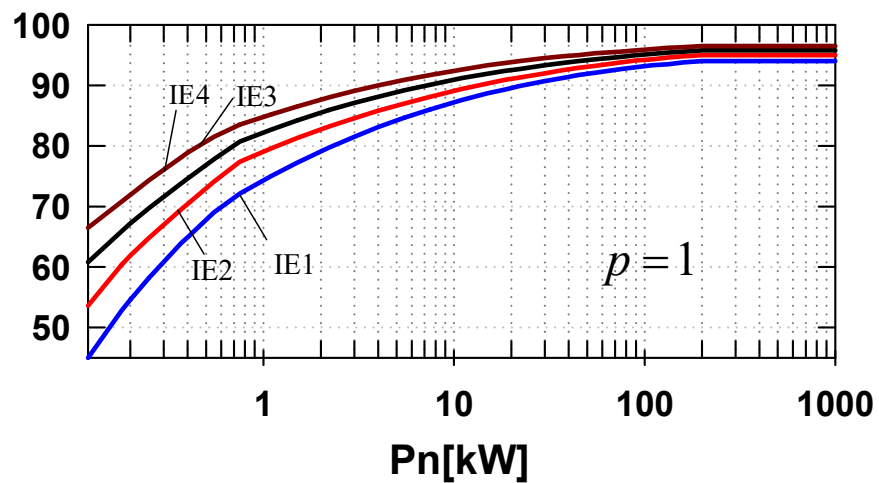
- Definisane su četiri klase energetske efikasnosti asinhronih kaveznih jednobrzinskih motora. Za svaku klasu energetske efikasnosti definisane su minimalne vrednosti stepena iskorišćenja, koje se određuju metodama ispitivanja definisanim u standardu IEC/EN 60034-2-1. Ovaj standard definiše sledeće četiri klase efikasnosti:
  - IE4 – super premium efikasnost
  - IE3 – premium efikasnost (od 1.1.2015. god. u neregulisanim pogonima ne smeju da se koriste motori niže efikasnosti)
  - IE2 – visoka efikasnost (od 1.1.2015. god. samo u regulisanim pogonima)
  - IE1 – standardna efikasnost (izbačeni iz upotrebe 16.6.2011. god.)
- Obuhvaćeni su motori koji se napajaju direktno iz mreže
  - u opsegu snaga od 120 W do 1000 kW,
  - jednobrzinski asinhroni kavezni motori (jednofazni i trofazni), 50 Hz i 60 Hz,
  - motori sa 2, 4, 6 i 8 polova,
  - nazivni napon do 1 kV,
  - motori sposobni da trajno rade pri nazivnoj snazi sa porastom temperature unutar granice koju definiše klasa izolacije namotaja,
  - motori koji mogu da rade u opsegu temperatura ambijenta od -20 °C do 60 °C.
- Standardom se zahteva od proizvođača motora da na natpisanoj pločici motora navedu naznačeni stepen iskorišćenja motora za 100 %, 75 % i 50 % od nazivnog opterećenja, kao i kojoj klasi energetske efikasnosti pripada motor.

CE		IE4					
3 ~ Motor		M3BP 315SMC 4 IMB3/IM1001					
							
2013				No.			
				Ins. cl. F		IP 55	
V	Hz	kW	r/min	A	cos $\varphi$	Duty	
690 Y	50	110	1490	112	0.85	S1	
400 D	50	110	1490	192	0.85	S1	
415 D	50	110	1491	188	0.84	S1	
IE4-96.8%(100%)-96.8%(75%)-96.5%(50%)							
Prod.code 3GBP312230-ADM							
				Nmax 2300 r/min			
6319/C3				 6316/C3		1000 kg	
ABB				IEC 60034-1			

Natpisna pločica motora sa naznačenim vrednostima stepena iskorišćenja za snage opterećenja

$$P_{100\%}=P_n; P_{75\%}=0,75P_n; P_{50\%}=0,50P_n \text{ i klasu energetske efikasnosti IE4}$$

Prema zahtevima u pogledu minimalne efikasnosti, tzv. Standardi minimalnih energetske performansi motora (Minimum Energy Performance Standards – EU MEPS), svi motori čija se nazivna snaga nalazi u opsegu od 7,5 kW do 375 kW, a koji se napajaju direktno iz mreže moraju od 01.01.2015. god. da imaju klasu energetske efikasnosti IE3, ili klasu IE2 – ukoliko se napajaju iz frekventnih pretvarača.



Stepen iskorišćenja u funkciji nazivne snage asinhronih motora za  
 $p = 1, 2, 3$  i  $4$ , prema IE/EN 60034-30-1

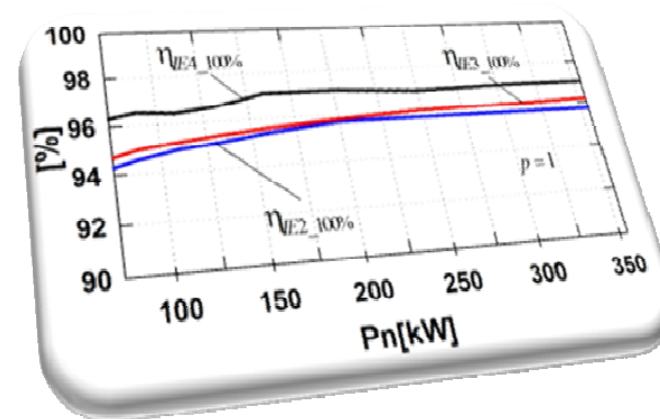
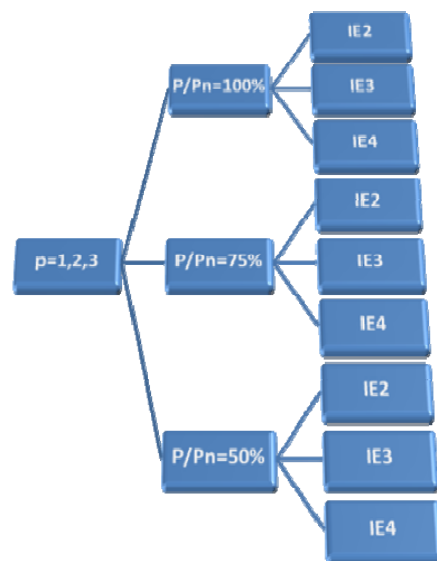
- **Klasa energetske efikasnosti motora je unapred standardom definisan geometrijski skup tačaka nazivnih vrednosti stepena iskorišćenja za nazivne snage motora.**
- Ovako definisana kriva linija predstavlja donju graničnu vrednost stepena iskorišćenja motora datih nazivnih snaga koju proizvođač motora mora postići da bi se dati motor mogao svrstati u određenu klasu energetske efikasnosti.
- Motori sa najvišom klasom energetske efikasnosti imaju veću masu a time i veći moment inercije od motora iste snage sa nižom klasom energetske efikasnosti.
- Veća inercija motora znači i veću dinamičku komponentu momenta opterećenja u toku ubrzanja regulisanih elektromotornih pogona.
- Zbog ovoga će potrebna mehanička snaga pogona u toku ubrzavanja motora sa većim momentom inercije biti veća od mehaničke snage pogona u toku ubrzavanja motorom sa manjim momentom inercije.
- Ovo dalje znači da će biti utrošen i veći iznos električne energije, čime se smanjuje energetska efikasnost čitavog pogona kao složene funkcionalne celine, iako je izabran motor sa najvišom klasom energetske efikasnosti.
- Upoređivanjem kataloških podataka o osnovnim električnim i mehaničkim karakteristikama motora za tri različite klase energetske efikasnosti možemo izvesti određene zaključke o tome na koje detalje treba obratiti pažnju pri projektovanju elektromotornih pogona sa motorima koji imaju veću klasu energetske efikasnosti.

# Kataloški podaci o energetski efikasnim asinhronim motorima

- Na osnovu kataloških podataka o asinhronim kaveznim motorima sa poboljšanim karakteristikama (Process performance) kompanije ABB (Low voltage Process performance motors according to EU MEPS, Catalog, November 2014 ), izvršena je analiza kaveznih asinhronih motora za tri klase energetske efikasnosti IE2, IE3 i IE4.
- Podaci se odnose na motore čije je kućište od livenog gvožđa (cast iron).
- Motori klase IE4 izrađuju se za sinhronne brzine 3000 [o/min], 1500 [o/min] i 1000 [o/min], u opsegu snaga od 75 [kW] do 355 [kW].
- Motori klase IE3 izrađuju se za sinhronne brzine 3000 [o/min], 1500 [o/min] i 1000 [o/min], u opsegu snaga od 0,75 [kW] do 355 [kW].
- Prema zahtevima u pogledu minimalne efikasnosti, tzv. standardi minimalnih energetske performansi motora (Minimum Energy Performance Standards – EU MEPS), svi motori čija se nazivna snaga nalazi u opsegu 0,75 [kW] do 375 [kW], a koji se napajaju direktno iz mreže moraju od 1.1.2017. godine imati klasu energetske efikasnosti IE3, ili klasu efikasnosti IE2 ukoliko se napajaju iz frekventnih pretvarača.
- Motori klase IE2 izrađuju se za sinhronne brzine 3000 [o/min], 1500 [o/min], 1000 [o/min], 750 [o/min] i 500 [o/min], u opsegu snaga od 0,37 [kW] do 900 [kW].

P <sub>n</sub> [kW]	Бр. полова p	Класа ЕЕ
75	2	IE2
	4	IE3
	6	IE4
110	2	IE2
	4	IE3
	6	IE4
132	2	IE2
	4	IE3
	6	IE4
160	2	IE2
	4	IE3
	6	IE4
200	2	IE2
	4	IE3
	6	IE4
250	2	IE2
	4	IE3
	6	IE4
315	2	IE2
	4	IE3
	6	IE4
355	2	IE2
	4	IE3
	6	IE4

Grafički prikaz katalogskih podataka (ABB)



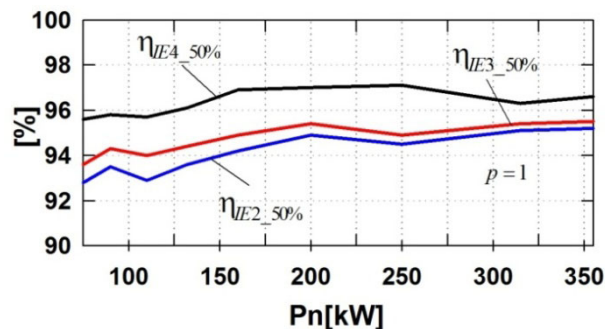
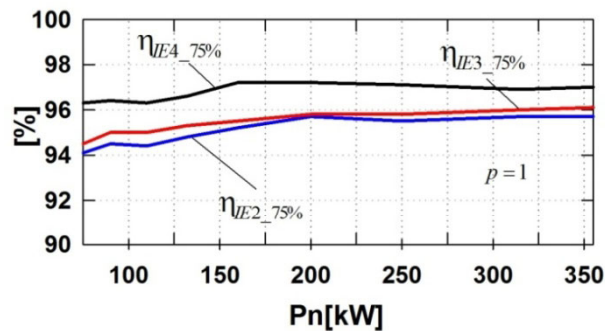
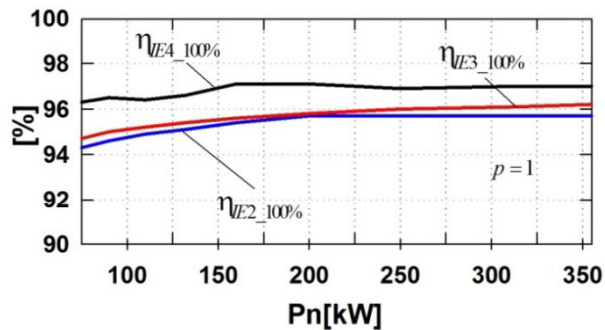
Nazivne snage asinhronih kaveznih motora  
koje su zajedničke za sve klase energetske efikasnosti,  
prema broju pari polova (ABB)

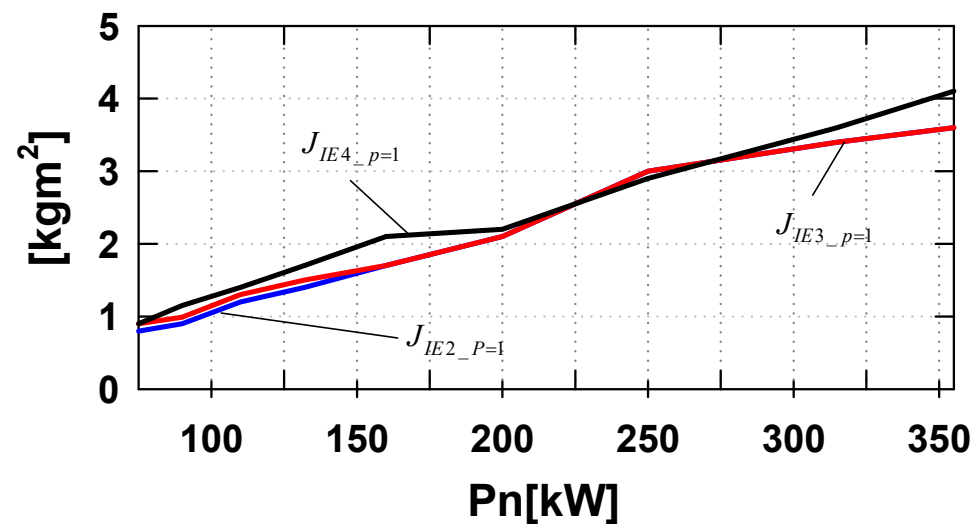


Stepen iskorišćenja asinhronih kaveznih dvopolnih motora ( $p=1$ ) u zavisnosti od nazivnih snaga za opterećenja  $P_{100\%}=P_n$ ;  $P_{75\%}=0,75 P_n$ ;  $P_{50\%}=0,50 P_n$  i klase energetske efikasnosti IE2, IE3 i IE4

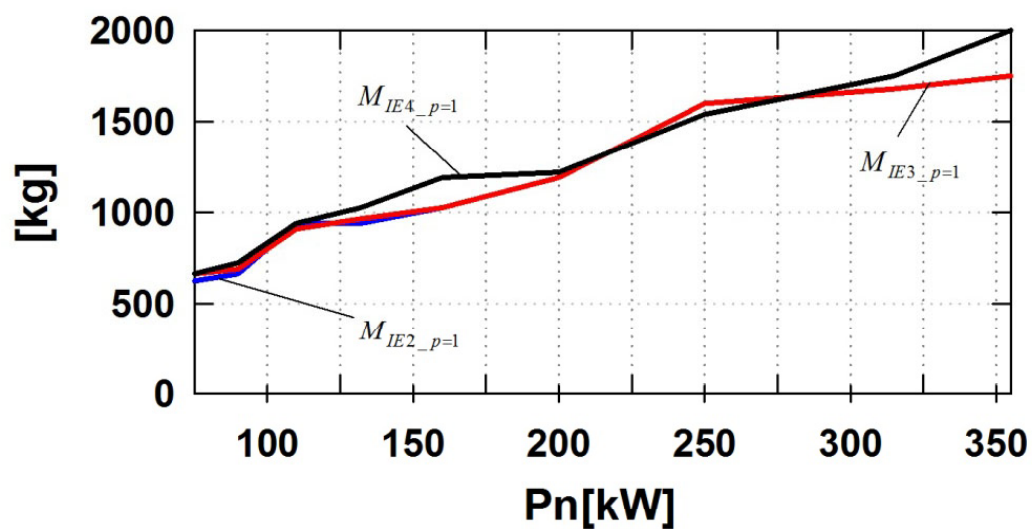
### Zaključak:

- Motori klase IE4 imaju značajno veći stepen iskorišćenja u odnosu na dvopolne motore istih nazivnih snaga klasa IE2 i IE3.
- Najveća razlika je pri opterećenju od 50 % nazivnog.
- Ako se posmatra moment inercije i težina motora može se uočiti da motori klase IE2 i IE3 imaju približno bliske vrednosti ovih veličina, dok motori klase IE4 imaju veće vrednosti u odnosu na klase IE2 i IE3.
- Povećana težina motora ukazuje na to da je više bakra, livenog gvožđa i magnetnih limova upotrebljeno za izradu motora klase IE4, što utiče na njihovu veću nabavnu cenu.
- Povećani moment inercije motora je posledica povećane mase motora i utiče na dodatne gubitke u toku radnih ciklusa gde postoje česta ubrzanja pogona.
- Dvopolni motori klase IE4 imaju veći moment inercije od motora klase IE2 i IE3, osim za slučaj motora nazivne snage 250 [kW].



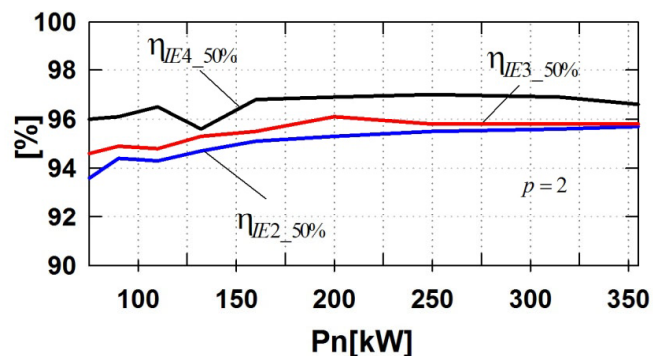
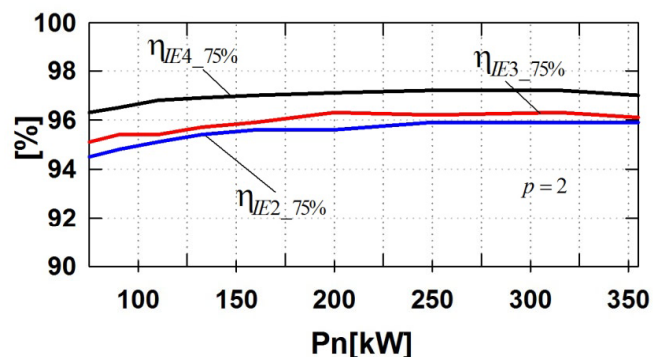
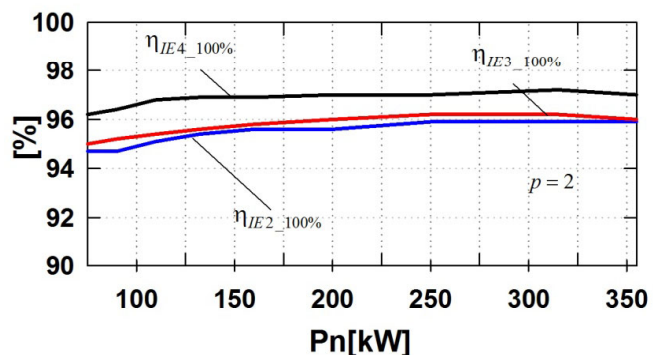


Moment inercije asinhronih kaveznih dvopolnih motora ( $p=1$ ) u zavisnosti od nazivnih snaga i klase energetske efikasnosti IE2, IE3 i IE4.



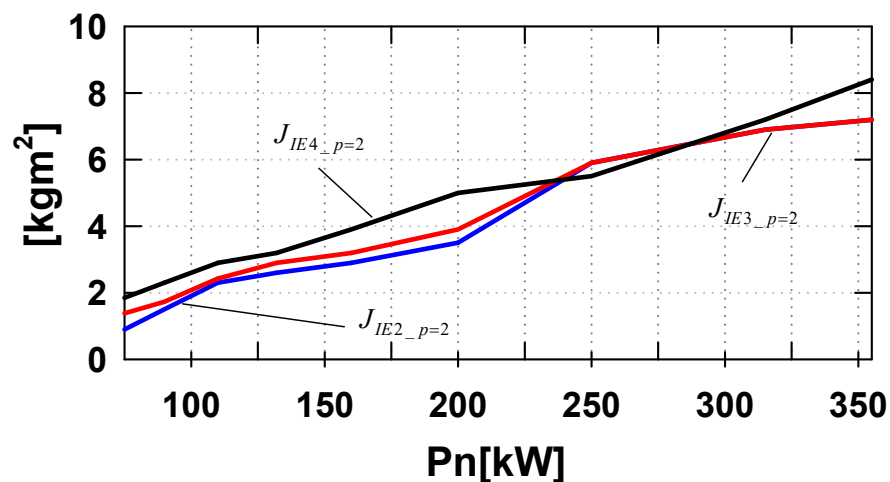
Težina asinhronih kaveznih dvopolnih motora ( $p=1$ ) u zavisnosti od nazivnih snaga i klase energetske efikasnosti IE2, IE3 i IE4.

Stepen iskorišćenja asinhronih kaveznih četvoropolnih motora ( $p=2$ ) u zavisnosti od nazivnih snaga za opterećenja  $P_{100\%}=P_n$ ;  $P_{75\%}=0,75 P_n$ ;  $P_{50\%}=0,50 P_n$  i klase energetske efikasnosti IE2, IE3 i IE4

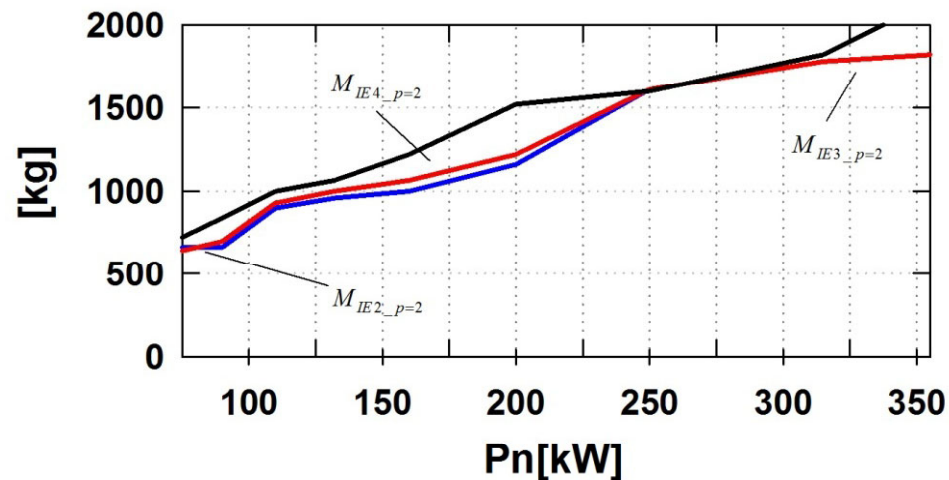


### Zaključak:

- Motori klase IE4 imaju značajno veći stepen iskorišćenja u odnosu na četvoropolne motore istih nazivnih snaga klasa IE2 i IE3.
- Najveća razlika je pri opterećenju od 75 % nazivnog.
- Moment inercije i težina motora može se uočiti da motori klase IE2 i IE3 imaju približno bliske vrednosti ovih veličina, dok motori klase IE4 imaju veće vrednosti u odnosu na klase IE2 i IE3, osim u slučaju motora snage 250 kW.
- Motor nazivne snage 250 kW IE4 klase, u odnosu na motore iste snage niže klase energetske efikasnosti IE2 i IE3 :
  - ima manji moment inercije.
  - imaju približno istu masu za sve tri klase energetske efikasnosti.
  - ima manju vrednost osne visine vratila, a time i manju vrednost prečnika rotora. Kako moment inercije motora zavisi od kvadrata prečnika rotora, pri približno istim težinama, dobija se manji moment inercije za motor klase IE4. Konstruktor motora je potrebnu snagu motora sa manjim prečnikom rotora dobio na račun povećanja aksijalne dužine motora. Slovní simbol "L" u oznaci motora, nakon broja koji označava osnu visinu rotora, prema standardu (IEC 60072-1) pokazuje da posmatrani motor ima veću aksijalnu dužinu u odnosu na motore koji u oznakama sadrže slovne simbole "S" i "M".



Moment inercije asinhronih kaveznih četvoropolnih motora (p=2) u zavisnosti od nazivnih snaga i klase energetske efikasnosti IE2, IE3 i IE4.

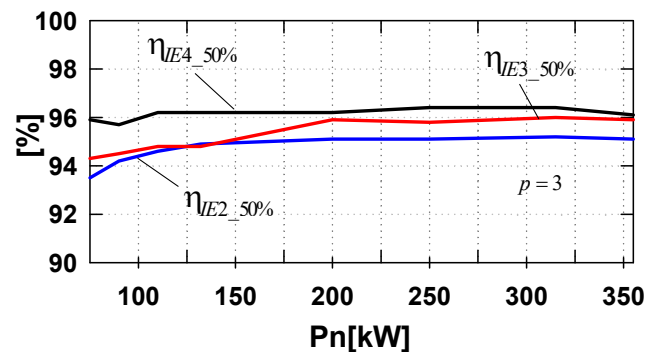
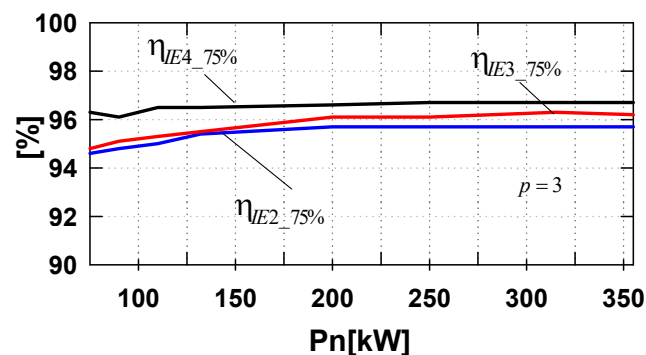
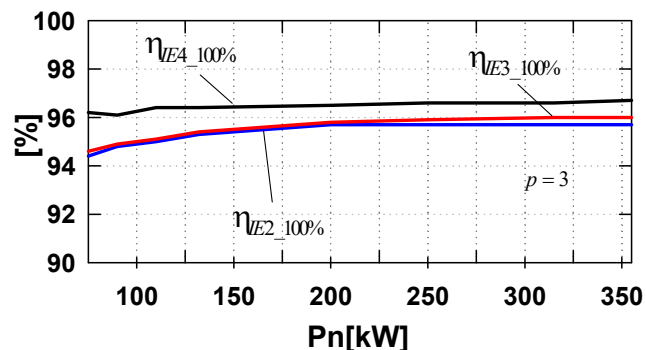


Težina asinhronih kaveznih četvoropolnih motora (p=2) u zavisnosti od nazivnih snaga i klase energetske efikasnosti IE2, IE3 i IE4.

Снага [kW]	Ознака	Бр. Обрта [o/min]	Степен искоришћења			Фактор снаге	In [A]	Ip/In	Tn [Nm]	Tp/Tn	Tm/Tn	J [kgm <sup>2</sup> ]	Тежина [kg]	Класа ЕЕ
			100%	75%	50%									
250	M3BP 355 SMA 4	1,488	95.90	95.90	95.50	0.86	437	7.1	1,604	2.3	2.7	5.9	1,610	IE2
250	M3BP 355 SMA 4	1,491	96.20	96.20	95.80	0.86	436	6.4	1,601	2.1	2.9	5.9	1,610	IE3
250	M3BP 315 LKC 4	1,491	97.00	97.20	97.00	0.87	427	7.8	1,601	2.3	3	5.5	1,600	IE4

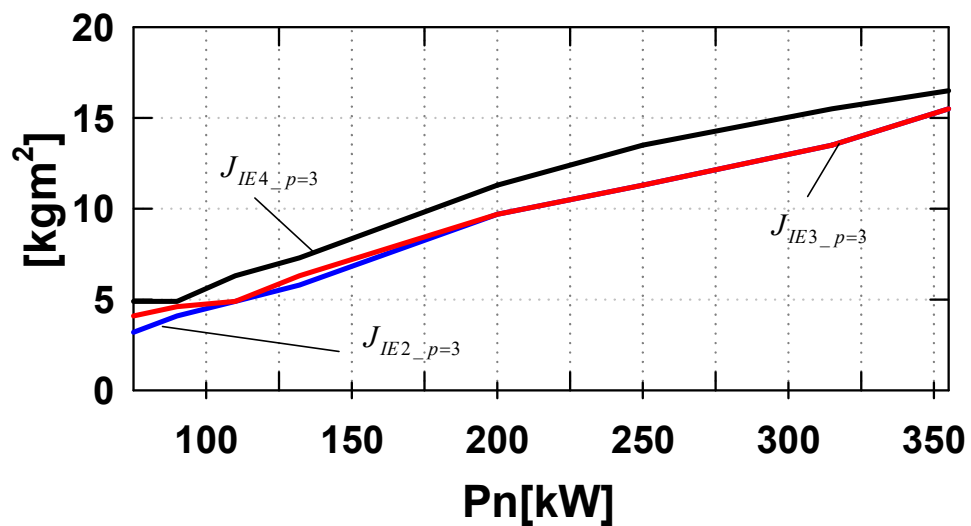
Poređenje tri četvoropolna motora nazivne snage 250 [kW] i različitih klasa en. ef. IE2, IE3 i IE4

Stepen iskorišćenja asinhronih kaveznih šestopolnih motora ( $p=3$ ) u zavisnosti od nazivnih snaga za opterećenja  $P_{100\%}=P_n$ ;  $P_{75\%}=0,75 P_n$ ;  $P_{50\%}=0,50 P_n$  i klase energetske efikasnosti IE2, IE3 i IE4

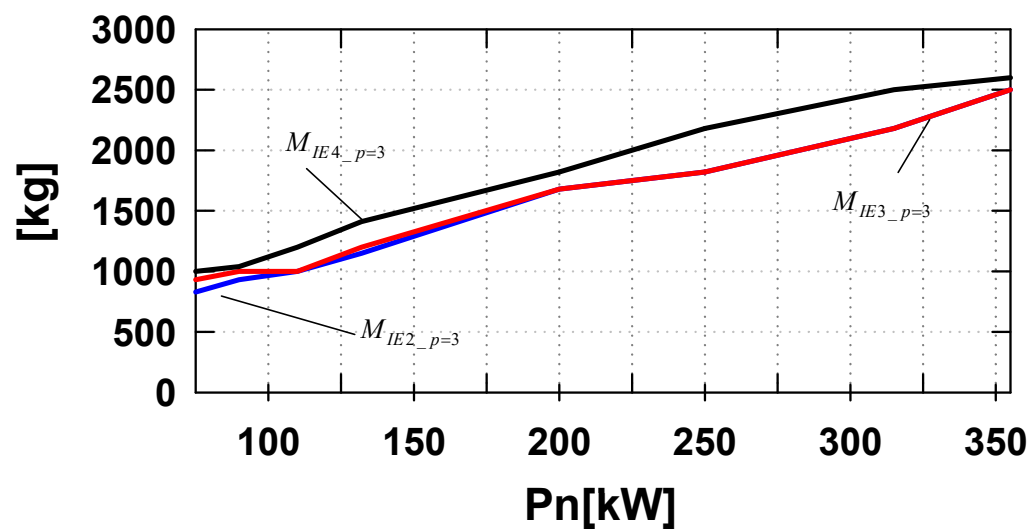


### Zaključak:

- Motori klase IE4 imaju značajno veći stepen iskorišćenja u odnosu na četvoropolne motore istih nazivnih snaga klase IE2 i IE3.
- Najveća razlika je pri opterećenju od 100 % nazivnog.
- Moment inercije i težina motora: može se uočiti da motori klase IE2 i IE3 imaju približno bliske vrednosti ovih veličina, dok motori klase IE4 imaju veće vrednosti u odnosu na klase IE2 i IE3.
- Šestopolni motori imaju najizraženiju razliku između klase IE4 i klase IE2 i IE3 u pogledu mase i momenta inercije.



Moment inercije asinhronih kaveznih šestopolnih motora ( $p=3$ ) u zavisnosti od nazivnih snaga i klase energetske efikasnosti IE2, IE3 i IE4.



Težina asinhronih kaveznih šestopolnih motora ( $p=3$ ) u zavisnosti od nazivnih snaga i klase energetske efikasnosti IE2, IE3 i IE4.

# Moment inercije u elektromotornom pogonu

- U toku polaska motora, elektromagnetni moment motora mora da bude u svakom trenutku jednak ukupnom momentu opterećenja, koji se sastoji iz statičke i dinamičke komponente:

$$m_e = m_{st.} + m_{din.} = m_m + J_{sv} \frac{d\omega}{dt}$$

- Gde su:

$J_{sv} = J_m + J'_{opt.}$  - ukupni moment inercije, sveden na vratilo motora

$J_m$  - moment inercije motora

$J'_{opt.}$  - moment inercije mehaničkog opterećenja sveden na vratilo motora

$\frac{d\omega}{dt} [rad / s^2]$  - ugaono ubrzanje vratila motora

$\omega [rad / s]$  - ugaono brzina vratila motora

$$m_{din.m} = J_{sv} \frac{d\omega}{dt} = (J_m + J'_{opt.}) \frac{d\omega}{dt} = m_{din.m} + m_{din.opt}$$



- Dinamička komponenta momenta motora:

$$m_{din.m} = J_m \frac{d\omega}{dt}$$

- Posmatrano za istu nazivnu snagu motora i isti broj polova, masa i moment inercije motora rastu sa porastom klase energetske efikasnosti:

$$M_{IE4} > M_{IE3} > M_{IE2}$$

$$J_{m IE4} > J_{m IE3} > J_{m IE2}$$

- Ako za jedno mehaničko opterećenje treba napraviti izbor između tri motora, tri različite klase energetske efikasnosti, iste nazivne snage i istog broja polova, sa istim ubrzanjem,

$$P_{IE2} = P_{IE3} = P_{IE4} \quad P_{n.IE2} = P_{n.IE3} = P_{n.IE4} \quad \eta_{IE2} < \eta_{IE3} < \eta_{IE4}$$

- Potrebno je uporediti dinamičke komponente momenata opterećenja motora za klase energetske efikasnosti motora IE2, IE3 i IE4:

$$\left. \begin{aligned} m_{din.m IE2} &= J_{m IE2} \frac{d\omega}{dt} \\ m_{din.m IE3} &= J_{m IE3} \frac{d\omega}{dt} \\ m_{din.m IE4} &= J_{m IE4} \frac{d\omega}{dt} \end{aligned} \right\}$$

- Relacije koje važe između momenata inercije motora iste nazivne snage, a različitih klasa energetske efikasnosti, kao i pretpostavka o konstantnoj vrednosti ugaonog ubrzanja, važiće u svim daljim razmatranjima, a mogu se napisati kao :

$$\frac{d\omega}{dt} = \text{const.}, J_{m \text{ IE4}} > J_{m \text{ IE3}} > J_{m \text{ IE2}}$$

- Na osnovu prethodnog sledi da je dinamička komponenta momenta opterećenja koja potiče od momenta inercije samog motora, najveća kod motora sa najvećom klasom energetske efikasnosti IE4, zatim sledi motor sa klasom IE3, dok je najmanja kod motora klase IE2 :

$$\left. \begin{aligned} J_{m \text{ IE4}} \frac{d\omega}{dt} &> J_{m \text{ IE3}} \frac{d\omega}{dt} > J_{m \text{ IE2}} \frac{d\omega}{dt} = \\ \frac{d\omega}{dt} &= \text{const.} \\ m_{\text{din.m IE4}} &> m_{\text{din.m IE3}} > m_{\text{din.m IE2}} \end{aligned} \right\}$$

- Brzina raste linearno u toku ubrzanja:

$$\omega(t) = \alpha \cdot t = \frac{d\omega}{dt} \cdot t$$

- Potrebna mehanička snaga u posmatranom primeru je:

$$P_{m\_din.m}(t) = m_{din.m} \cdot \omega(t) = m_{din.m} \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot t = J_m \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \cdot t$$

- Mehanička energija koja je potrebna da se savlada moment inercije motora u toku polaska iznosi:

$$W_{m\_din.m} = \int_0^{t_{pol}} m_{din.m} \cdot \omega(t) dt = J_m \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \int_0^{t_{pol}} t dt = J_m \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \frac{t_{pol}^2}{2}$$

- Za posmatrani slučaj sa tri motora različitih klasa energetske efikasnosti, istih nazivnih snaga, istog broja polova, sa istim ubrzanjem i istim periodom trajanja procesa polaska, može se dobiti:

$$\left. \begin{aligned} W_{m\_din.m\_IE2} &= J_{m\_IE2} \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \frac{t_{pol}^2}{2} \\ W_{m\_din.m\_IE3} &= J_{m\_IE3} \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \frac{t_{pol}^2}{2} \\ W_{m\_din.m\_IE4} &= J_{m\_IE4} \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \frac{t_{pol}^2}{2} \end{aligned} \right\}$$

- Na osnovu prethodnog razmatranja sledi da je mehanička energija potrebna za savladavanje momenta inercije samog motora najveća kod motora sa najvišom klasom energetske efikasnosti IE4, zatim sledi motor sa klasom IE3, dok je najmanja kod motora klase IE2 :

$$W_{m\_din.m\_IE4} > W_{m\_din.m\_IE3} > W_{m\_din.m\_IE2}$$

- Utrošena električna energija pri polasku motora jednaka je :

$$\left. \begin{aligned} W_{el\_din.m\_IE2} &= \frac{W_{m\_din.m\_IE2}}{\eta_{IE2}} = \frac{J_{m\_IE2}}{\eta_{IE2}} \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \frac{t_{pol}^2}{2} \\ W_{el\_din.m\_IE3} &= \frac{W_{m\_din.m\_IE3}}{\eta_{IE3}} = \frac{J_{m\_IE3}}{\eta_{IE3}} \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \frac{t_{pol}^2}{2} \\ W_{el\_din.m\_IE4} &= \frac{W_{m\_din.m\_IE4}}{\eta_{IE4}} = \frac{J_{m\_IE4}}{\eta_{IE4}} \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \frac{t_{pol}^2}{2} \end{aligned} \right\}$$

- Odnos utrošenih električnih energija za klase IE4 i IE3 iznosi:

$$\frac{W_{el\_din.m\_IE4}}{W_{el\_din.m\_IE3}} = \frac{\frac{W_{m\_din.m\_IE4}}{\eta_{IE4}}}{\frac{W_{m\_din.m\_IE3}}{\eta_{IE3}}} = \frac{\frac{J_{m\_IE4}}{\eta_{IE4}} \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \frac{t_{pol}^2}{2}}{\frac{J_{m\_IE3}}{\eta_{IE3}} \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \frac{t_{pol}^2}{2}} = \frac{J_{m\_IE4}}{J_{m\_IE3}} \frac{\eta_{IE3}}{\eta_{IE4}}$$

- Kako je:

$$J_{m\_IE4} > J_{m\_IE3}, \frac{J_{m\_IE4}}{J_{m\_IE3}} > 1$$

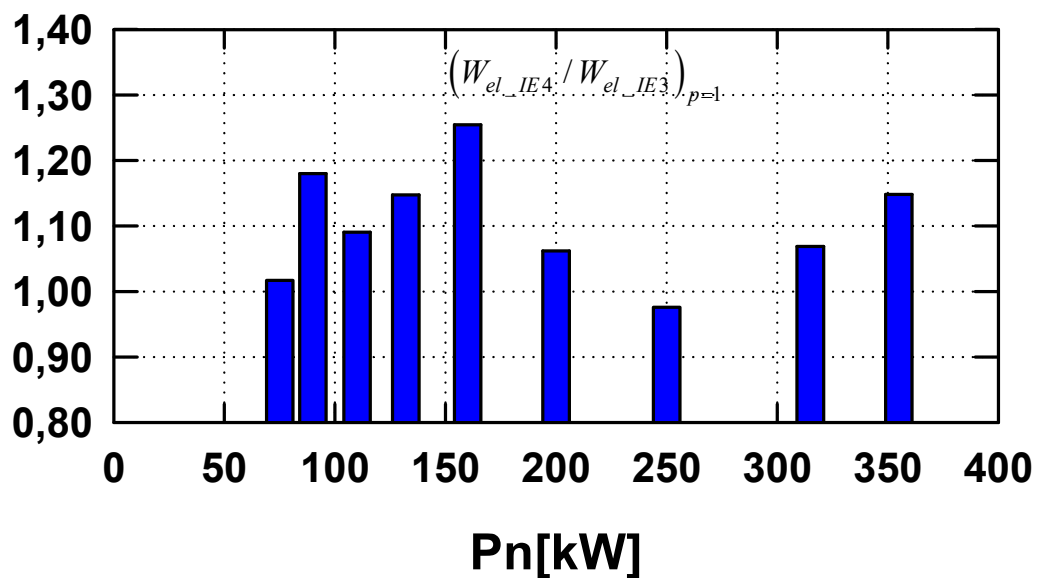
$$\eta_{IE4} > \eta_{IE3}, \frac{\eta_{IE3}}{\eta_{IE4}} < 1$$

- Ako važi da je  $\frac{J_{m\_IE4}}{J_{m\_IE3}} - 1 > 1 - \frac{\eta_{IE3}}{\eta_{IE4}}$  onda je u većini slučajeva:

$$\frac{W_{el\_din.m\_IE4}}{W_{el\_din.m\_IE3}} > 1$$

p=1															
Снага	IE3				IE4				Однос				W <sub>el_IE4</sub> /W <sub>el_IE3</sub>		
[kW]	Степен искоришћ.			J <sub>IE3</sub>	Степен искоришћ.			J <sub>IE4</sub>	η <sub>IE3</sub> /η <sub>IE4</sub>			J <sub>IE4</sub> /J <sub>IE3</sub>	100%	75%	50%
75	94.7	94.5	93.6	0.9	96.3	96.3	95.6	0.9	0.98	0.98	0.98	1.00	1.02	1.02	1.02
90	95	95	94.3	1	96.5	96.4	95.8	1.15	0.98	0.99	0.98	1.16	1.18	1.18	1.18
110	95.2	95	94	1.3	96.4	96.3	95.7	1.4	0.99	0.99	0.98	1.08	1.09	1.09	1.10
132	95.4	95.3	94.4	1.5	96.6	96.6	96.1	1.7	0.99	0.99	0.98	1.13	1.15	1.15	1.15
160	95.6	95.5	94.9	1.7	97.1	97.2	96.9	2.1	0.98	0.98	0.98	1.24	1.25	1.26	1.26
200	95.8	95.8	95.4	2.1	97.1	97.2	97	2.2	0.99	0.99	0.98	1.05	1.06	1.06	1.07
250	96	95.8	94.9	3	96.9	97.1	97.1	2.9	0.99	0.99	0.98	0.97	0.98	0.98	0.99
315	96.1	96	95.4	3.4	97	96.9	96.3	3.6	0.99	0.99	0.99	1.06	1.07	1.07	1.07
355	96.2	96.1	95.5	3.6	97	97	96.6	4.1	0.99	0.99	0.99	1.14	1.15	1.15	1.15

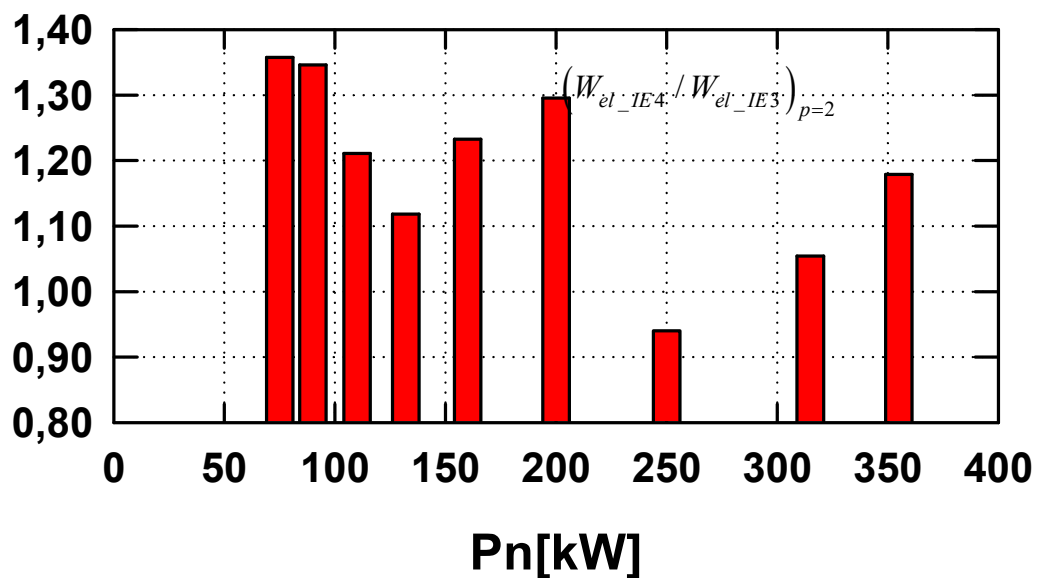
Odnos utrošenih električnih energija pri pokretanju dvopolnih motora iste nazivne snage, a različitih klasa energetske efikasnosti IE4 i IE3



Grafički prikaz odnosa utrošenih električnih energija pri pokretanju dvopolnih motora iste nazivne snage, a različitih klasa energetske efikasnosti IE4 i IE3

p=2															
Снага	IE3				IE4				Однос				$W_{el\_IE4}/W_{el\_IE3}$		
[kW]	Степен искоришћ.				Степен искоришћ.				$\eta_{IE3}/\eta_{IE4}$			$J_{IE4}/J_{IE3}$	100%	75%	50%
75	95	95.1	94.6	1.4	96.2	96.3	96	1.85	0.99	0.99	0.99	1.34	1.36	1.36	1.36
90	95.2	95.4	94.9	1.7	96.4	96.5	96.1	2.3	0.99	0.99	0.99	1.33	1.35	1.34	1.35
110	95.4	95.4	94.8	2.4	96.8	96.8	96.5	2.9	0.99	0.99	0.98	1.19	1.21	1.21	1.21
132	95.6	95.7	95.3	2.9	96.9	96.9	95.6	3.2	0.99	0.99	1.00	1.10	1.12	1.12	1.11
160	95.8	95.9	95.5	3.2	96.9	97	96.8	3.9	0.99	0.99	0.99	1.22	1.23	1.23	1.24
200	96	96.3	96.1	3.9	97	97.1	96.9	5	0.99	0.99	0.99	1.28	1.30	1.29	1.29
250	96.2	96.2	95.8	5.9	97	97.2	97	5.5	0.99	0.99	0.99	0.93	0.94	0.94	0.94
315	96.2	96.3	95.8	6.9	97.2	97.2	96.9	7.2	0.99	0.99	0.99	1.04	1.05	1.05	1.06
355	96	96.1	95.8	7.2	97	97	96.6	8.4	0.99	0.99	0.99	1.17	1.18	1.18	1.18

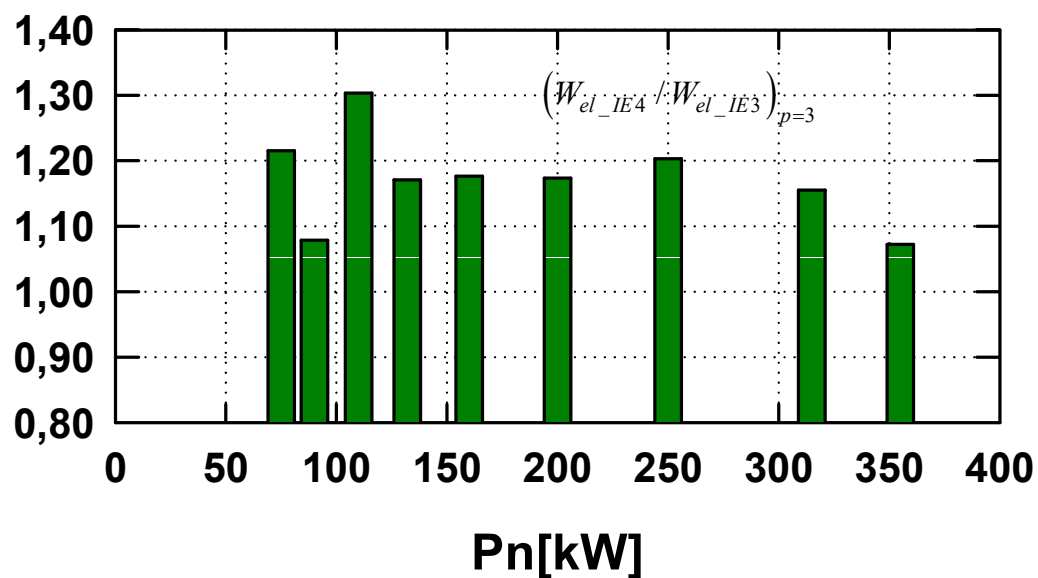
Odnos utrošenih električnih energija pri pokretanju četvoropolnih motora iste nazivne snage, a različitih klasa energetske efikasnosti IE4 i IE3



Grafički prikaz odnosa utrošenih električnih energija pri pokretanju četvoropolnih motora iste nazivne snage, a različitih klasa energetske efikasnosti IE4 i IE3

p=3															
Снага	IE3				IE4				Однос				W <sub>el</sub> _IE4/W <sub>el</sub> _IE3		
[kW]	Степен искоришћ.			J <sub>IE3</sub>	Степен искоришћ.			J <sub>IE4</sub>	$\eta_{IE3}/\eta_{IE4}$			J <sub>IE4</sub> /J <sub>IE3</sub>	100%	75%	50%
75	94.6	94.8	94.3	4.1	96.2	96.3	95.9	4.9	0.98	0.98	0.98	1.20	1.22	1.21	1.22
90	94.9	95.1	94.5	4.6	96.1	96.1	95.7	4.9	0.99	0.99	0.99	1.07	1.08	1.08	1.08
110	95.1	95.3	94.8	4.9	96.4	96.5	96.2	6.3	0.99	0.99	0.99	1.29	1.30	1.30	1.30
132	95.4	95.5	94.8	6.3	96.4	96.5	96.2	7.3	0.99	0.99	0.99	1.16	1.17	1.17	1.18
160	95.7	96	95.7	7.9	96.7	96.8	96.4	9.2	0.99	0.99	0.99	1.16	1.18	1.17	1.17
200	95.8	96.1	95.9	9.7	96.5	96.6	96.2	11.3	0.99	0.99	1.00	1.16	1.17	1.17	1.17
250	95.9	96.1	95.8	11	96.6	96.7	96.4	13.5	0.99	0.99	0.99	1.19	1.20	1.20	1.20
315	96	96.3	96	14	96.6	96.7	96.4	15.5	0.99	1.00	1.00	1.15	1.16	1.15	1.15
355	96	96.2	95.9	16	96.7	96.7	96.1	16.5	0.99	0.99	1.00	1.06	1.07	1.07	1.07

Odnos utrošenih električnih energija pri pokretanju šestopolnih motora iste nazivne snage, a različitih klasa energetske efikasnosti IE4 i IE3



Grafički prikaz odnosa utrošenih električnih energija pri pokretanju šestopolnih motora iste nazivne snage, a različitih klasa energetske efikasnosti IE4 i IE3



- Bez obzira na klasu energetske efikasnosti motora, električna energija potrebna za savladavanje ukupnog momenta inercije pri pokretanju, srazmerna je:

$$W_{el\_pol.} = \frac{W_{m\_din.m\_IE\_x} + W_{m\_s}}{\eta_{IE\_x}} = \frac{J_{m\_IE\_x} + J_{opt}}{\eta_{IE\_x}} \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 \frac{t_{pol}^2}{2}$$

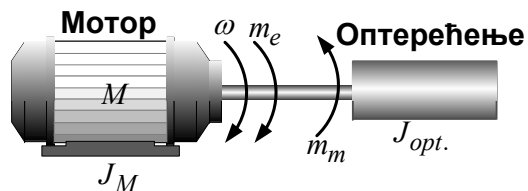
- Na kraju procesa pokretanja, nakon dostizanja konstantne brzine, ova električna energija prelazi u kinetičku energiju obrtnih masa i srazmerna je :

$$W_{kin.e} = \left( J_{m\_IE\_x} + J_{opt} \right) \frac{\omega_n^2}{2}$$

- Veći moment inercije motora sa višom klasom energetske efikasnosti, nema uticaja na povećanje potrošnje električne energije u pogonima koji rade u trajnom režimu rada S1. Međutim, u pogonima u kojima se ciklično ponavljaju periodi ubrzanja i usporenja, kao što su radni režimi od S3 do S10, inercija mehaničkog opterećenja, kao i inercija samog motora, moraju se uzeti u obzir pri projektovanju elektromotornog pogona.

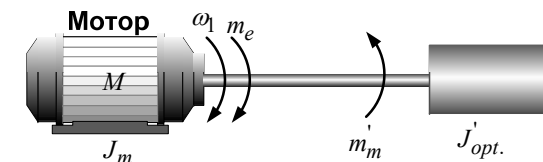
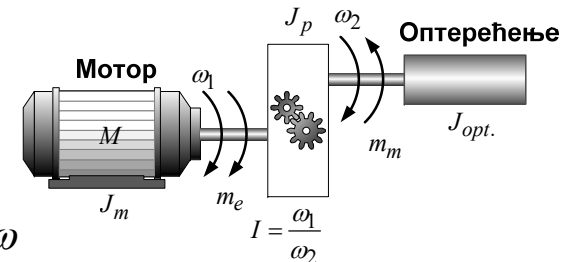
# Moment inercije opterećenja

- Za analizu energetske efikasnosti kompletnog elektromotornog pogona, pored momenta inercije motora različitih klasa energetske efikasnosti, neophodno je uzeti u obzir dinamičku komponentu momenta opterećenja, koja potiče od momenta inercije mehaničkog opterećenja.
- Na dinamičku komponentu momenta opterećenja ne može da utiče klasa energetske efikasnosti motora. Vrlo često je u elektromotornim pogonima ova komponenta opterećenja veća od dinamičke komponente momenta motora.
- Za zadatu vrednost ubrzanja, jedini način da se smanji dinamička komponenta koja potiče od opterećenja pogona je ugradnja reduktora, mehaničkih prenosnika u elektromotornom pogonu između motora i mehaničkog opterećenja.



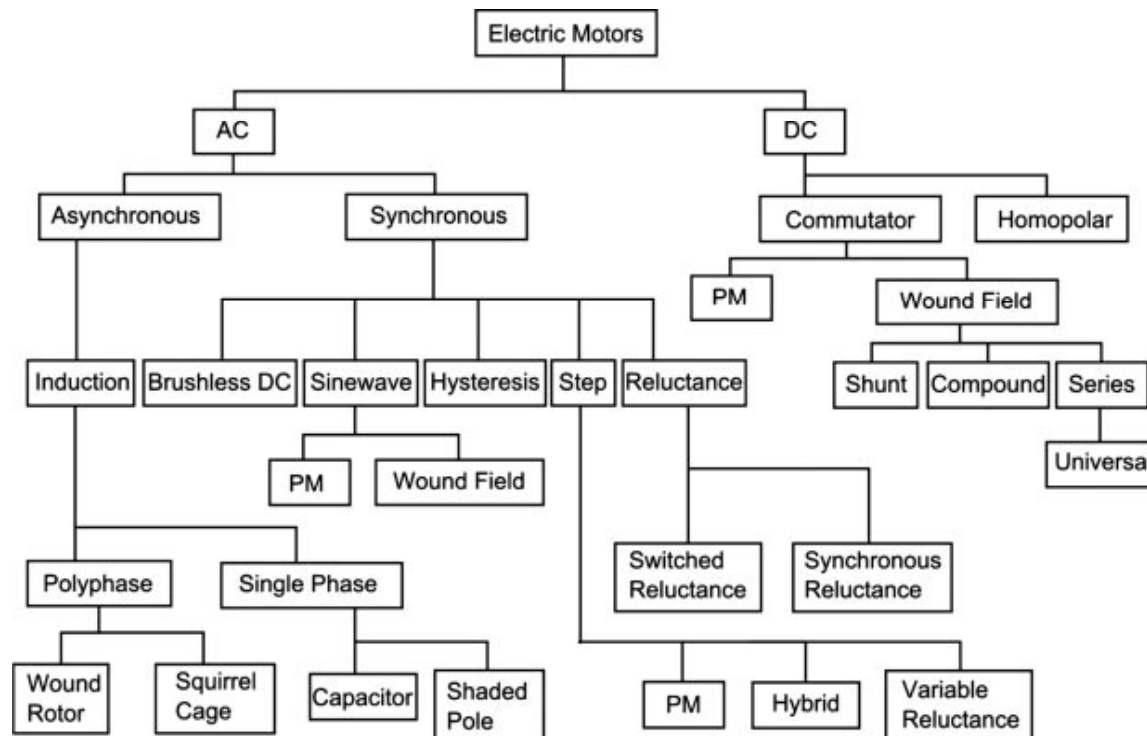
$$m_{din.opt} = J_{opt.} \frac{d\omega}{dt}$$

$$m_{din.opt} = J_{opt.} \frac{d\omega}{dt} = \frac{J_{opt.}}{I^2} \frac{d\omega}{dt}$$

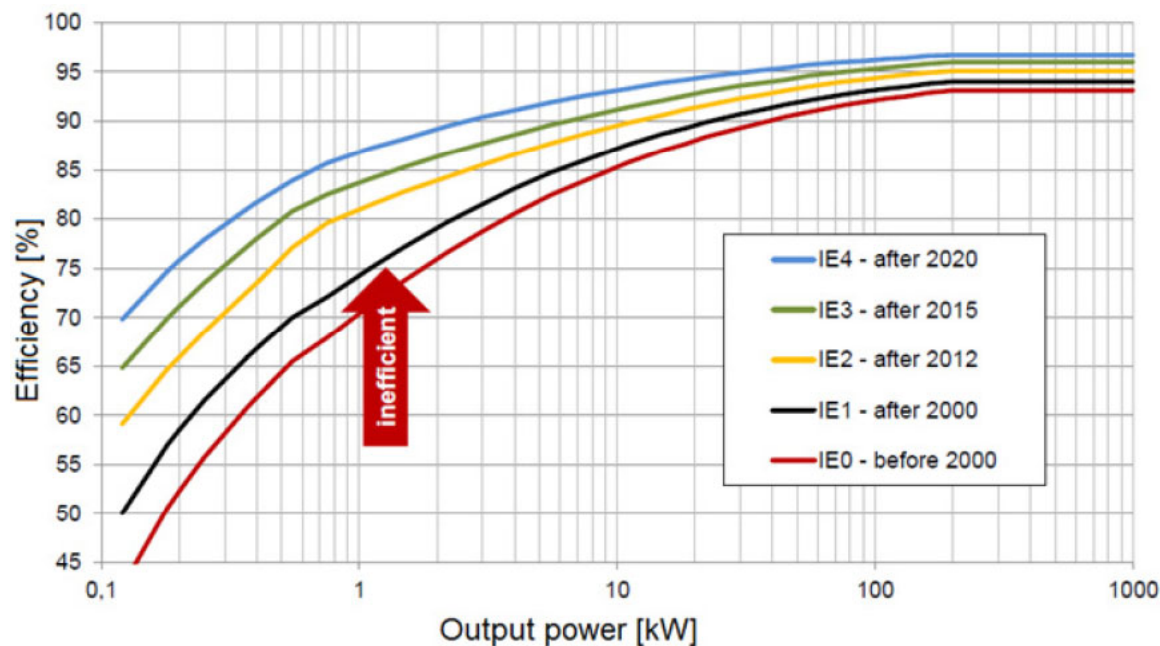


# Poboljšanja koja se uvode u cilju postizanja veće efikasnosti motora u elektromotornom pogonu

- Poslednjih decenija, velika pažnja je posvećena i mnogo truda je uloženo u povećanje energetske efikasnosti (tehnologiji i standardizaciji) asinhronih motora.
- Međutim, promenom graničnih uslova (ekoloških, povećanih cena energije, materijala, kao i zahteva u pogledu minimalne efikasnosti) i drugi tipovi motora dobijaju na značaju, kao što su sinhroni motori sa permanentnim magnetima na rotoru.

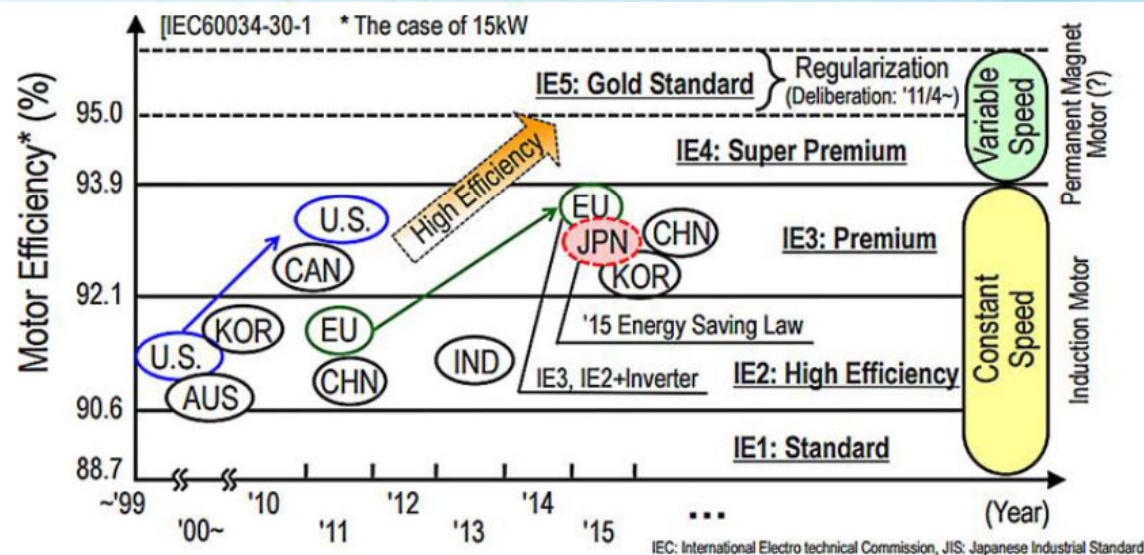


Podela motora prema načinu rada



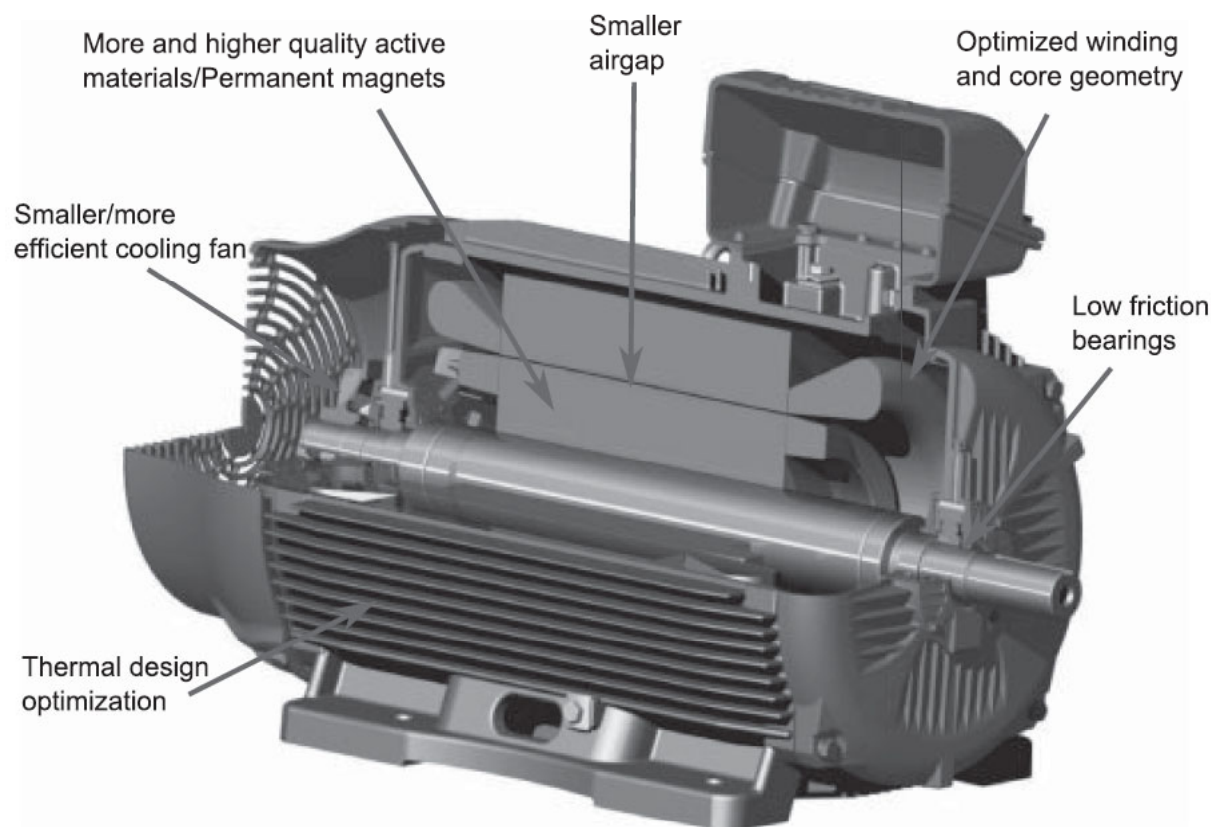
Gerard-Adre Capolino, “Energy efficiency improvement for electrical machines: a challenge”, predavanje po pozivu na 5. Međunarodnoj konferenciji EFEA 2018, Rim, 24-26.septembar 2018.

Sledeća verzija IEC standarda predstaviće klasu IE5, poznatu kao Ultra Premium Efficiency. Gubici energije se smanjuju za 20% ili više između klasa, što znači da će motor IE5 imati smanjenje gubitka od 20% u odnosu na motor IE4. Ultra Premium Efficiency klasa još nije navedena u standardima, ali neki proizvođači su već razvili motore koji će biti usaglašeni.



# Tehnologija izrade energetski visokoefikasnih električnih motora

- Poboljšanja u pogledu materijala, projektovanja i proizvodne tehnologije.



Poprečni presek asinhronog motora visoke klase energetske efikasnosti sa prikazanim mogućnostima za dodatna poboljšanja

- Moguća poboljšanja se svrstavaju u dve kategorije:
  - Gubici snage u motoru se moraju smanjiti za istu izlaznu mehaničku snagu
  - Karakteristične veličine koje definišu performanse motora, kao što su polazni moment, prevalni moment, faktor snage i struja kratkog spoja (polazna struja), moraju ostati u prihvatljivom opsegu vrednosti.
- Gubici snage u motoru se mogu smanjiti jednostavnim dodavanjem aktivnih materijala boljih karakteristika pri projektovanju motora.
- Dodavanjem materijala pri izradi magnetnog dela, kao i namotaja motora dovodi do povećanja osnovnih dimenzija motora i u skladu sa tim smanjenja elektromagnetne indukcije i gustine struje, a time i gubitaka u gvožđu i bakru za istu izlaznu snagu. Takođe, smanjenju elektromagnetne indukcije i gustine struje, doprinosi i upotreba gvožđa sa visokim kvalitetom laminacije, kao i upotreba bakra umesto aluminijuma pri izradi namotaja. Problem – cena.
- Projekat motora visoke klase en. efikasnosti je optimalno rešenje u pogledu efikasnosti i proizvodne cene (optimizacija geometrije i komponenata).
- Krajnji faktor koji utiče na en.efikasnost motora je konstruktivni i proizvodni proces, koji podrazumeva uske granice tolerancije.

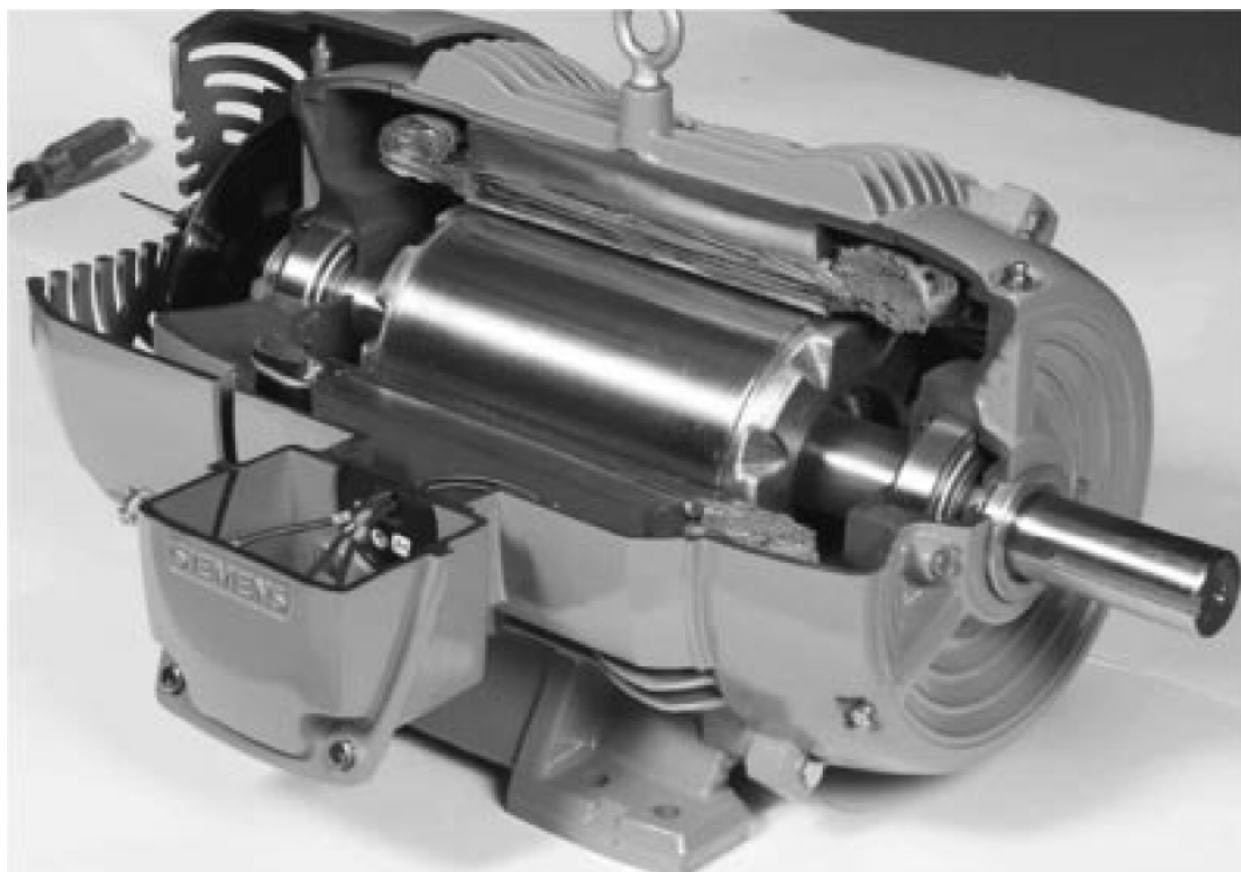
# Savremeni materijali – magnetni materijali

- Gubicu u gvožđu i gubici u bakru su međusobno povezane veličine, jer je moment koji razvija motor na svome vratilu proporcionalan proizvodu aktivne komponente struje rotora i fluksa. Povećanjem nezasićene vrednosti elektromagnetne indukcije upotrebom materijala sa većom magnetnom permeabilnošću, omogućiće se rad motora sa većom elektromagnetnom indukcijom i manjom aktivnom komponentom struje rotora – povećaće se gubici u gvožđu, pri smanjenim gubicima u bakru. Optimalna vrednost – zadatak optimizacije u procesu projektovanja.
- Motori imaju promenljiv smer fluksa, zbog čega se koriste neorjentisani feromagnetski materijali, najčešće legura čelika sa silicijumom. Novije legure koje se koriste su:
  - Legura nikla i gvožđa i legura kobalta i gvožđa
  - “Soft – magnetic” kompoziti
  - Amorfni i “nano-crystalline” magnetni materijali
- **ZAKLJUČAK: Visoko efikasni magnetni materijali imaju sledeće karakteristike:**
  - **Veliku vrednost elektromagnetne indukcije (velika permeabilnost): smanjeni gubici u bakru statora**
  - **Mala provodnost: smanjena vrednost gubitaka usled vihornih struja**
  - **Meko gvožđe – mala vrednost koercitivne komponente magnetnog polja – smanjeni gubici usled histerezisa.**



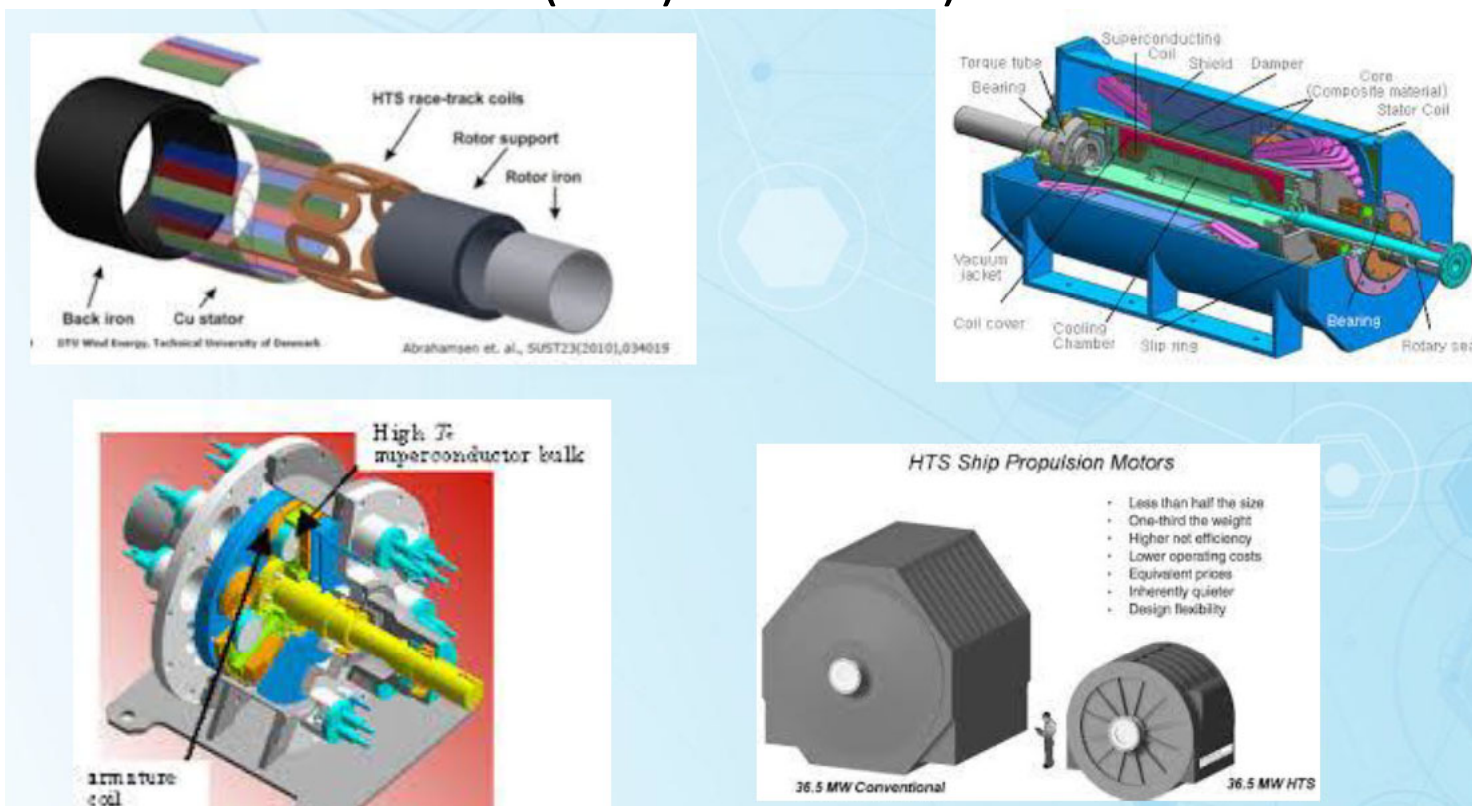
## Savremeni materijali za rotorski namotaj

- Gubicu u bakru rotora su po veličini na drugom mestu kod asinhronih motora, a zavise od faktora koji određuju otpornost namotaja:
  - Provodnost materijala od koga je napravljen kavez na rotoru
  - Poprečnog preseka provodnika i
  - Dužine provodnika.
- Izbor visoko provodnih materijala u serijskoj proizvodnji motora je ograničen cenom proizvodnje. Rotorski kavez asinhronih motora manje i srednje snage se pravi ulivanjem tečnog aluminijuma u žlebove pod pritiskom – zadovoljavajuće rešenje u pogledu efikasnosti, provodnosti i cene.
- U poslednjoj deceniji je upotreba bakra, koji ima 70% veću provodnost, dobila na značaju zbog preporuka MEPS-a. Na taj način se smanjuju Džulovi gubici i potiče se niža radna temperatura, što dalje utiče na manje dimenzije ventilatora i povećanje radnog veka motora. Radi se o tehnologiji koja se već primenjuje kod motora veće snage. Problem kod motora manje snage je visoka temperatura topljenja bakra, zbog čega nije mogla da se primenjuje tehnologija ulivanja tečnog bakra u žlebove rotora pod pritiskom do skoro, ali je došlo do novog problema – visoka cena bakra.
- Direktna zamena aluminijumskog namotaja bakarnim dovodi do izvesnih problema u performansama motora, koji se dalje rešavaju primenom različitih legura bakra i drugačijim dizajnom rotorskih žlebova.



Asinhroni motor visoke klase efikasnosti sa ulivenim  
tečnim bakrom u žlebove rotora

## Mašine sa superprovodnicima (high-temperature superconductor (HTS) machines)



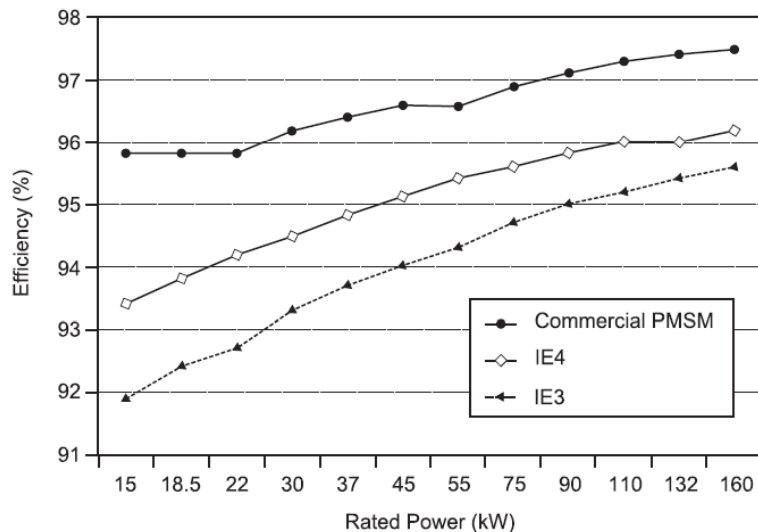
Gerard-Adre Capolino, "Energy efficiency improvement for electrical machines: a challenge", predavanje po pozivu na 5. Međunarodnoj konferenciji EFEA 2018, Rim, 24-26.septembar 2018. Prednosti HTS mašina: veći momenat za manje dimenzije i kompaktniju konstrukciju (veća gustina snage), veća efikasnost (manji gubici), veća preopteretljivost, manja buka i vibracije. Nedostaci: cena i neophodan kriogeni sistem hlađenja, koji je potrebno povezati sa rotirajućim delom.

# Primena permanentnih magneta

- Zamenom kaveza permanentnim magnetima na rotoru dobija se značajno povećanje efikasnosti.
- U zavisnosti od strukture namotaja na statoru i talasnog oblika napona napajanja (trapezoidalni ili sinusoidalni) dobijaju se brushless DC (BLDC) ili sinhroni motori sa permanentnim magnetima na rotoru (PMSM), respektivno.
- Najčešće se koriste tri materijala za permanentne magnete:
  - NdFeB: neodymium iron boron (metali retke zemlje);
  - SmCo: samarium cobalt (metali retke zemlje);
  - Feriti (keramički materijal).
- Povećana efikasnost motora nije jedini cilj koji treba postići, već i odgovarajuća cena i performanse motora, zbog čega projektovanje motora visoke efikasnosti postaje problem optimizacije sa brojnim ograničenjima u pogledu geometrije i materijala – za rešavanje se koriste FEM softverski alati (moguće je simulirati ponašanje motora u električnom, magnetnom, mehaničkom i termičkom pogledu).

- Kriterijumska funkcija u procesu određivanja optimalnog rešenja je postizanje maksimalne efikasnosti motora pri smanjenoj vrednosti upotrebljenog aktivnog materijala, pri čemu se veličine koje karakterišu performanse motora održavaju u prihvatljivom opsegu:
  - Dužina jarma i prečnik: Moment motora je proporcionalan aksijalnoj dužini i kvadratu prečnika rotora, dok gubici u gvožđu zavise od elektromagnetne indukcije. Savremeni motori visoke klase efikasnosti imaju manje gubitke pri istoj, ili čak manjoj zapremini motora.
  - Geometrija rotorskog kaveza: Oblik rotorskih šipki određuje gubitke u rotoru usled klizanja. Smanjenje gubitaka više od 1% je moguće bez ugrožavanja polaznih karakteristika asinhronog motora i povećanih troškova za materijal. Zakošenjem rotorskih šipki postiže se smanjena talasnost momenta izazvana prostornim i vremenskim harmonicima.
  - Dužina vazdušnog zazora: Oko 70% struje magnećenja je proporcionalno fluksu u vazdušnom zazoru motora, a 30% fluksu u magnetnom kolu motora. Smanjenjem vazdušnog zazora može se značajno smanjiti struja magnećenja motora, ali se na ovaj način postavljaju veći zahtevi u pogledu geometrijskih tolerancija i tehnika proizvodnje.
  - Oblik statorskih žlebova: Radi se o nalaženju optimalnog rešenja, kojim će se obezbediti manja gustina struje u provodnicima statora i sprečiti zasićenje zubaca. Takođe se mogu redukovati gubici usled rasutog fluksa, kao i talasnost momenta usled prostornih harmonika u žlebu.
- Samo se ograničen broj konstruktivnih parametara motora dobija nekim optimalnim algoritmom, dok se ostale dimenzije i parametri ograničavaju na fiksne vrednosti, jer je računarsko vreme potrebno da se izvrši neki algoritam optimizacije proporcionalno kvadratu broja promenljivih čija se optimalan vrednost određuje.

- Asinhroni motori predstavljaju rezultat zrele tehnologije: jeftina izrada, robusna konstrukcija i visoka efikasnost. Ova tehnologija je dostigla svoje fizičke granice, u smislu šta je moguće postići po razumnoj ceni.
- Razmatraju se nove tehnologije: Sinhroni motori sa permanentnim magnetima (PMSM) i prekidački reluktantni motori (SRM).
- SRM za primenu u vučnim aplikacijama sa promenljivom brzinom (električni ili hibridni automobili). Složeno upravljanje.
- PMSM imaju veliki broj značajnih prednosti u odnosu na AM:
  - Veći stepen korisnog dejstva: permanentni magneti obezbeđuju fluks u motoru; praktično ne postoji struja magnećenja u statorskom namotaju i ne indukuju se struje u rotoru, zbog čega su smanjeni gubici u bakru. Dodatno, zbog rada na sinhronoj brzini, promena fluksa koja izaziva gubitke u gvožđu rotora, osim harmonika, jednaka je nuli.
  - Veću gustinu snage: Smanjenje gubitaka, a samim tim i manje zagrevanje motora, omogućili su povećanje struje statora i momenta motora, za istu radnu temperaturu. Na ovaj način je moguće obezbediti istu snagu i moment na izlazu za manje dimenzije kućišta, čime je značajno smanjena težina i zapremina PMSM.
  - Veći opseg radnih brzina sa konstantnim momentom: PM motori su efikasniji od asinhronih u istom opsegu brzina, posebno pri manjim brzinama. Zbog toga su smanjeni gubici snage i dimenzije ventilatora, i omogućen rad sa konstantnim momentom u celom opsegu brzina.
  - Održavanje: Ležajevi se hlade, tako da se produžava radni vek i periodi između dva podmazivanja.
  - Inercija: Smanjena težina rotora predstavlja prednost PMSM u dinamički zahtevnim aplikacijama.
- PMSM tehnologija nije nova – do sada se uglavnom koristila za servo motore ili u specijalnim vučnim aplikacijama sa malom brzinom i velikim momentom opterećenja.



Efikasnost komercijalnih dvopolnih PMSM-a  
u poređenju sa motorima klase IE3 i IE4  
prema preporukama MEPS-a

#### Nedostaci PMSM:

- Ne mogu se direktno priključiti na mrežu, čak i u slučaju aplikacija sa konstantnim brzinama.
- Neophodan im je invertor sa vektorskim upravljanjem (FOC), čime se povećavaju ukupni gubici i cena.

-LSPMSM (line start permanent magnet synchronous motor): to je hibrid između asinhronog motora i PMSM – ima i permanentne magnete na rotoru i kavez na površini rotora, koji obezbeđuje polazni i dinamički moment, kada se motor priključi na mrežu. Kada se sinhronizuje na mrežu, motor nastavlja da radi sa nultim klizanjem, nezavisno od opterećenja, tako da ne postoje gubici u kavezu rotora. Efikasnost mu je za 1-2% veća od IE4 asinhronih motora, ali je gustina snage ista, tako da ima iste dimenzije kućišta kao odgovarajući AM.

- Ova tehnologija je već osvojena kod mnogih proizvođača motora – posebno za manje i srednje snage, gde se nudi kao direktna zamena za asinhronne motore u aplikacijama sa konstantnom brzinom.

- Moguća je primena U/f upravljanja, ali će efikasnost biti smanjena, zbog gubitaka u rotorskom kavezu usled pojave harmonika na prekidačkoj učestanosti invertora u talasnom obliku struje.

## DANNFOSS ECO Design (InMotion, VLT® magazin, September 2010)

- **Evropska unija je nedavno usvojila Eko-dizajn direktivu koja zahteva bolju energetska efikasnost motora – uključujući i sisteme za njihovo napajanje i upravljanje. Zahtevi efikasnosti elektro motora će biti strožiji, tako da će od 2011. godine svi motori morati da ispune IE2 zahteve, a od 2015. godine, za napajanje svih motora u industrijskom sektoru koji ispunjavaju IE2 moraće da se koriste frekventni pretvarači, ili da ispune IE3 zahteve efikasnosti.**
- Procenjuje se da na prostoru Evropske unije postoji oko 85 miliona velikih elektromotora i da oni koriste 30 do 40% ukupne potrošnje električne energije u Evropi. Kada svi motori budu ispunili zahteve energetske efikasnosti – ili budu napajani i upravljani iz frekventnih pretvarača – potrošnja električne energije motora će se smanjiti za 20 – 30%, zaključak je studije sprovedene od strane EU komisije. Ovo odgovara 7% ukupne potrošnje električne energije u EU, ili celokupnoj godišnjoj potrošnji električne energije u Švedskoj.
- Imajući u vidu veću cenu motora u klasi efikasnosti IE3, u odnosu na cenu motora u klasi IE2, očekujemo da će se deo tržišta opredeliti za upotrebu frekventnih pretvarača.
- Usvojena Direktiva Evropske unije tiče se elektromotora u opsegu snage od 0,75 kW – 375 kW, jer potrošnja energije ovih elektromotora predstavlja 70% energije potrošene u industrijskom sektoru. Ukupna potrošnja industrijskog sektora je 1.067.000.000.000 kWh – što prouzrokuje emisiju 427.000.000 tona CO<sub>2</sub>.
- Očekuje se da će ukupna potrošnja električne energije motora u industrijskom sektoru porasti do 1.250.000.000.000 kWh do 2020. godine, a do tada bi emisija gasova koji stvaraju efekat staklene bašte trebalo da se smanji za 20%.
- Direktiva Eko-dizajn trebalo bi da se sprovodi u sledećim koracima:
  - Počev od 16.06.2011            0,75 – 375 kW            IE2
  - Od 01.01.2015                7,5 – 375 kW            IE3 ili IE2 + VSD
  - Od 01.01.2017                0,75 – 375 kW



## Sistematska ušteda energije: DANFOSS EC+

- **DANFOSS EC+:** U oblasti klimatizacije, grejanja i hlađenja (HVAC) termin „EC motor“ se najčešće koristi za „specifičan tip motora“, što većina korisnika povezuje sa kompaktnom konstrukcijom i visokom energetsom efikasnošću.
- EC motori se baziraju na korišćenju elektronske komutacije (engl. Electronic commutation, EC) umesto konvencionalnih komutatora sa grafitnim četkicama kakvi su se koristili kod jednosmernih motora. Proizvođači ovog tipa motora zamenjuju rotorski namotaj sa permanentnim magnetima i ugrađuju elektronska komutaciona kola. Magneti podižu efikasnost, dok elektronski komutator eliminiše mehaničko habanje grafitnih četkica. Pošto je princip rada zasnovan na principu rada jednosmernog motora, EC motori se nazivaju i jednosmerni motori bez četkica (engl. BrushLess DC, BLDC). Upotreba ovih motora je najčešća u području malih snaga, do nekoliko stotina vati. **U HVAC aplikacijama, ovi motori su najčešće sa spoljnim rotorom i pokrivaju širok opseg snage, danas čak i do oko 6kW.** Zahvaljujući ugrađenim permanentnim magnetima, PM motorima nije potreban poseban pobudni namotaj. Međutim, potrebna im je elektronika koja proizvodi obrtno polje (elektronski komutator). Rad ovih motora direktno priključenih na mrežu u principu nije moguć, a ukoliko je moguć, motori imaju nisku efikasnost. Da bi upravljao motorom, kontroler (na pr. frekventni pretvarač) mora u svakom trenutku da raspolaže informacijom o trenutnom položaju rotora. Upravljanje se može realizovati na dva načina, sa ili bez povratne veze po trenutnoj poziciji rotora, dobijene pomoću senzora ili enkodera.
- Osnovna razlika između različitih tipova motora sa permanentnim magnetima je u talasnom obliku kontra elektromotorne sile (EMS). Kada radi kao generator, na krajevima namotaja motora sa permanentnim magnetima indukuje se napon, koji se naziva EMS. Da bi se obezbedilo optimalno upravljanje PM motorom, pretvarač koji upravlja motorom mora da prilagodi talasni oblik izlaznog napona pretvarača što približnije talasnom obliku kontra EMS. U slučaju jednosmernih motora bez četkica (BLDC), proizvođači koriste pravougaoni talasni oblik napona prilagođen trapeznom talasnom obliku kontra EMS. Trofazni asinhroni motori sa standardnim ugradnim merama i veličinama kućišta, navedenim u standardima IEC EN 50487 ili IEC 72 se danas koriste u velikom broju aplikacija. Međutim, većina PM motora je projektovana na drugi način. Servo motori su tipičan primer. Koriste se kompaktna kućišta i izduženi rotori da bi se postigle bolje dinamičke performanse u regulaciji brzine i pozicije.

- Da bi se omogućilo korišćenje motora sa stalnim magnetima u postojećim sistemima, na tržištu se sada mogu naći PM motori sa standardnim ugradnim merama prema IEC standardu. Sada je moguće zameniti stari model standardnog trofaznog asinhronog motora u postojećem sistemu, novim, efikasnijim tipom motora.
- Trenutno postoje dve mogućnosti ugradnje PM motora sa standardizovanim dimenzijama prema IEC-u:
  - 1. ista veličina kućišta
  - 2. optimizovana veličina kućišta

#### **I mogućnost:**

##### ***Ista veličina kućišta***

PM/EC i trofazni AM imaju istu veličinu kućišta.

##### **Primer:**

Trofazni AM snage 3kW može se zameniti EC/PM motorom iste veličine kućišta.

#### **II mogućnost:**

##### ***Optimizovana veličina kućišta***

PM/EC motor i trofazni motor imaju istu nominalnu snagu. Pošto su PMSM motori po pravilu sa manjim dimenzijama kućišta u odnosu na trofazne asinhronne motore, koristi se motor sa manjom standardnom veličinom

kućišta.

##### **Primer:**

Trofazni AM snage 3kW može se zameniti EC/PM motorom čija veličina kućišta odgovara trofaznom asinhronom motoru snage 1,5kW.

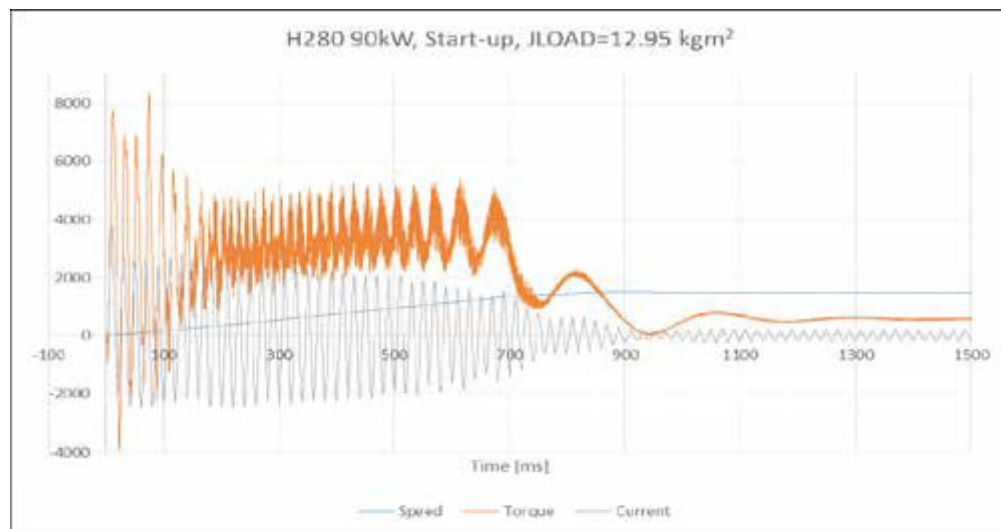
## **Tehnologija izrade motora na granici IE5 klase efikasnosti: motor bez magneta za rad pogona sa konstantnom brzinom (ABB)**



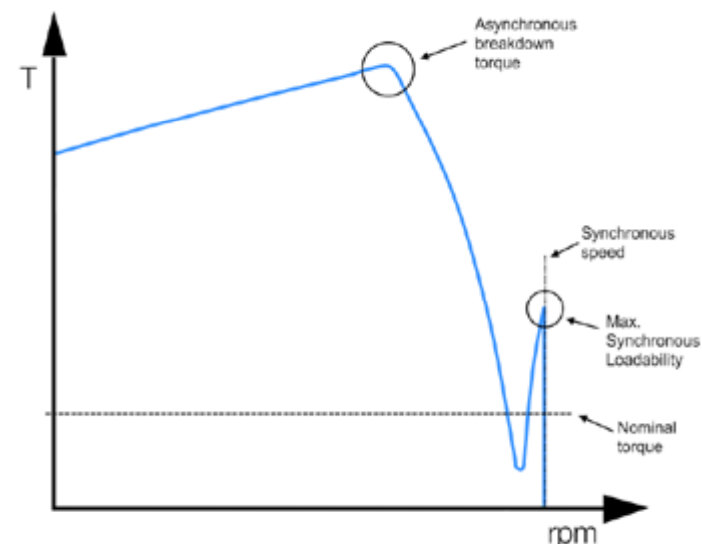
### **Sinhroni reluktantni motor za mrežno napajanje (DOLSynRM)**

Ovaj motor spolja izgleda kao asinhroni motor, ali mu je princip rada drugačiji. Unutar rotora se nalazi kavez koji služi za pokretanje motora. Na kraju zaletanja reluktantni moment zakreće motor na sinhronu brzinu. Kada se motor obrće sinhronom brzinom kavez postaje „nevidljiv“ u električnom smislu jer se u kavezu ne indukuje elektromotorna sila, a samim tim nema ni struje. To znači da u rotoru nema gubitaka vezanih za kavez, što zauzvrat omogućava visoku ukupnu efikasnost tokom normalnog rada.

## Tehnologija izrade motora na granici IE5 klase efikasnosti: motor bez magneta za rad pogona sa konstantnom brzinom (ABB)



Start sinhronog reluktantnog motora



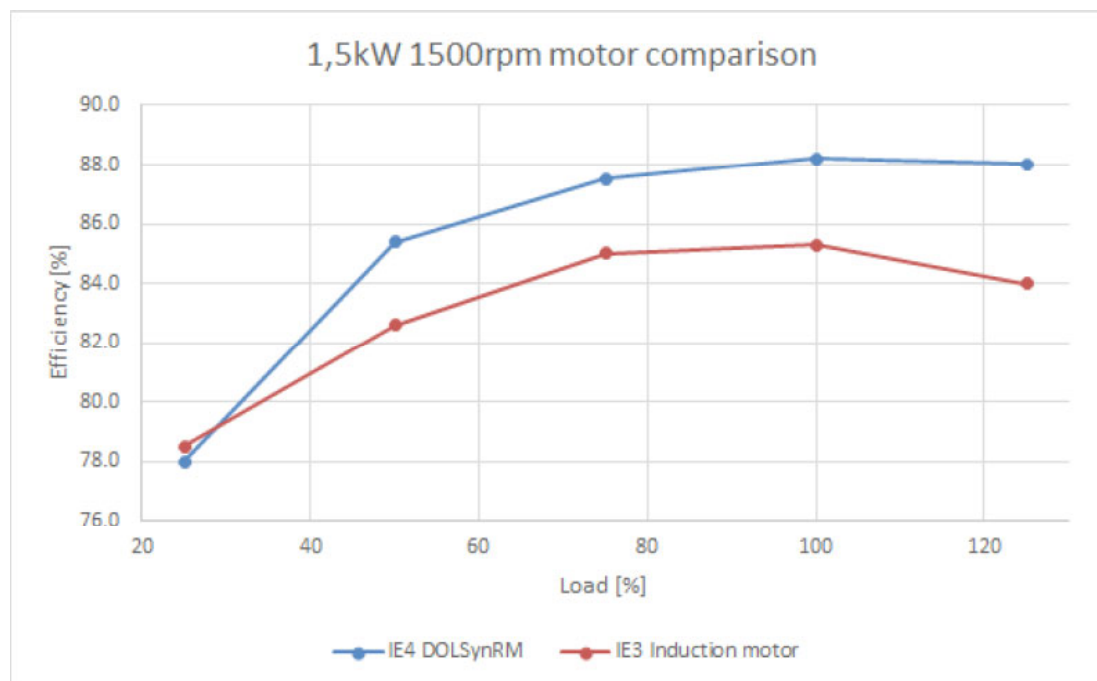
Mehanička karakteristika  
sinhronog reluktantnog motora

Ovaj motor je vrlo osjetljiv na moment inercije, kao i na sam moment opterećenja, tako da može da ostane u fazi oscilacija u slučaju da ova veličina ima veliku vrednost. Pumpe, ventilatori, kompresori i sl. mogu da startuju bez problema.

## Tehnologija izrade motora na granici IE5 klase efikasnosti: motor bez magneta za rad pogona sa konstantnom brzinom (ABB)

P [kW]	Frame size	f [Hz]	Speed [rpm]	U [V]	I [A]	Eta [%]	PF
1.5	90	50	1500	400	3.84	88.2	0.64

IE4



IE5

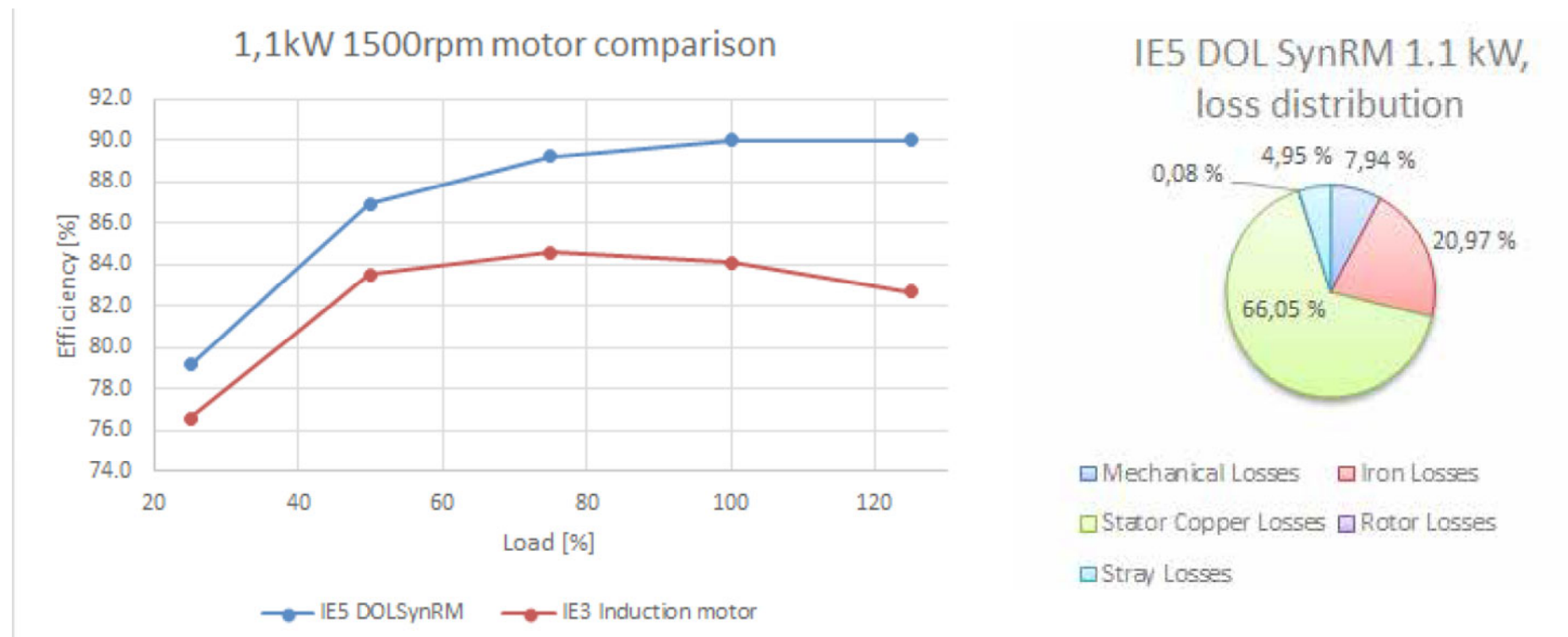
Poređenje karakteristika efikasnosti: asinhroni motor - sinhroni reluktantni motor

P [kW]	Frame size	f [Hz]	n[rpm]	U [V]	I [A]	Eta [%]	PF
1.1	90	50	1500	400	2.82	90.0 %	0.63

## Poređenje između klasičnog AM-a i DOLSnRM

Tipične vrednosti za polazni momnat i struju:

	$T_L$ [pu]	$I_s$ [pu]
DOLSynRM	3.1 - 4.4	6.6 - 8.5
IM	1.8 - 3.8	5.5 - 8.5



Poređenje karakteristika efikasnosti: asinhroni motor - sinhroni reluktantni motor

## Praktična razmatranja pri zameni klasičnog AM-a sa DOLSnRM

### DOLSnRM :

-Veća brzina i veća snaga na vratilu motora (prikazano tabelarno)

Power kW	IE3 induction motor rpm	Speed increase to 1500 rpm	Efficiency difference IE4 - IE3	Shaft power increase due to speed increase	
				Pump/ fan	Constant torque
1.5	1440	4.2 %	2.9 %	13 %	4.2 %
15	1474	1.8 %	1.8 %	5 %	1.8 %
90	1487	0.9 %	0.9 %	3 %	0.9 %

- Iz tabele se vidi da se snaga na vratilu, koja je direktno povezana sa potrošnjom i tokom energije, povećava više nego efikasnost motora. Efekat je najznačajniji kod kvadratne mehaničke karakteristike kao što su pumpe i ventilatori. Ovo je važno u aplikacijama gde se povećani protok ne može iskoristiti, već se mora dispirati primenom prigušnih ventila. Ovaj efekat neće biti od značaja u aplikacijama gde je u sistemu uključen rezervoar, a motorom se upravlja start / stop funkcijom. Primeri za to su industrijski sistemi za komprimovani vazduh ili pumpa koja pumpa vodu u rezervoar.

- DOLSinRM motori obično imaju nešto niži faktor snage u odnosu na AM, što znači da je struja motora malo veća od struje AM-a, čak i ako je efikasnost veća. Za korisnika ovo generalno nije problem, zato što je danas većina fabrika obično ima ugrađenu kompenzaciju reaktivne snage.

# Literatura

- Jeftenić, B., Štatkić, S., Bebić, M., Ristić. L., poglavlje “Višemotorni regulisani pogoni i energetska efikasnosti u praksi” u monografiji „Energetska efikasnost elektromotornih pogona”, Tehnički fakultet Čačak, 2012, str. 219-337, ISBN 978-86-7776-147-9.
- Lemmens, J. and Deprez, W. (2012) Electric Motors, in Electrical Energy Efficiency: Technologies and Applications (eds A. Sumper and A. Baghini), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.  
doi: 10.1002/9781119990048.ch7
- Štatkić, S., Bebić, M., Ristić. L., Jeftenić, B., “Praktikum za primenu energetske efikasnosti kaveznih asinhronih motora u elektromotornim pogonima” u monografiji „Energetska efikasnost elektromotornih pogona”, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici , 2016, ISBN 978-86-920211-0-7.
- “Sistematska ušteda energije EC+ je pametan izbor za elektromotorne pogone u HVAC aplikacijama”, Danfoss, [files.danfoss.com › download › Drives › DKDDPB88A345\\_EC\\_Plus\\_LR](https://files.danfoss.com/download/Drives/DKDDPB88A345_EC_Plus_LR)
- “Magnet-free motor technology for fixed speed applications reaching “IE5” efficiency level”, Article - September 2015, [https://library.e.abb.com › public › Article\\_ Magnet-free motor technology...](https://library.e.abb.com/public/Article_Magnet-free_motor_technology...)
- <https://ec.europa.eu/jrc/en/energy-efficiency>
- Anibal T. de Almeida, Joao Fong, Hugh Falkner, Paolo Bertoldi, “Policy options to promote energy efficient electric motors and drives in the EU”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 74 (2017), pp. 1275–1286



# Korisni linkovi

- <http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge>
- <https://www.motorsystems.org/webinar-1>
- <https://youtu.be/-j9jifh7OdY>
- <https://youtu.be/MjGnLnhQ49U>
- <https://www.motorsystems.org/motor-systems-tool>