Izbor motora i pretvarača za elektromotorni pogon

- Ukoliko se motor napaja direktno iz mreže, nema mogućnosti za podešavanje brzine. Promenljivo je opterećenje, što dovodi do male promene brzine
- Ukoliko je potreban rad u definisanom opsegu brzine, ili je potrebna regulacija brzine, momenta ili procesne veličine, potrebno je koristiti energetski pretvarač.
- Treba voditi računa o opsegu iznad nominalne brzine (oblast slabljenja polja).

Izbor motora

- Korak 1: Uslovi i osnovni tehnički podaci
- Korak 2: Preliminarni izbor u skladu sa aplikacijom
- Korak 3: Preliminarni izbor motora (svi koji zadovoljavaju)
- Korak 4: Preciziran izbor motora iz tabele u katalogu
- Korak 5: Izbor opcija i posebnih zahteva
- Korak 6: Provera dimenzija motora

- Izbor pretvarača se vrši posle izbora motora

Izbor motora

Korak prvi: Uslovi i osnovni tehnički podaci

- Potrebni ulazni podaci:
  - Napon i učestanost napajanja
  - Način rada (režim rada S1 …. S10)
  - Stepen mehaničke zaštite (IP)
  - Naznačena/nominalna brzina (broj pari polova) n_n [o/min]
  - Naznačena/nominalna snaga P_n [kW]
  - Naznačeni moment:

$$M_{en}\left[\mathrm{Nm}\right] = 9550 \cdot \frac{P_n\left[\mathrm{kW}\right]}{n_n\left[\mathrm{o/min}\right]} = \frac{P_n\left[\mathrm{W}\right]}{\omega_n\left[\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}\right]}$$

  - Oblik konstrukcije – način montaže i mehaničke sprege sa reduktorom i opterećenjem

Izbor motora

Korak drugi: Preliminarni izbor u skladu sa aplikacijom

- Temperatura ambijenta (manja ili veća od 40°C)
- Nadmorska visina ugradnje (manja ili veća od 1000 m)
- Eksplozivna sredina
- Drugi faktori smanjenja (derating) nazivnih/nominalnih podataka
  primeri:
  - visok stepen vlažnosti, kondenzacija, vibracije…

Izbor motora

Korak treći: Preliminarni izbor motora (svi koji zadovoljavaju)

Za izbor se razmatraju:

- Izbor klase efikasnosti
- Način hlađenja (sopstveno ili prinudno)
- Izbor mehaničke zaštite
- Nazivni podaci (snaga, brzina, moment)
- Veličina kućišta motora = osna visina

Napomena – standard definiše opseg temperature ambijenta od -20°C od +40°C

Izbor motora

Korak četvrti: Preciziran izbor motora iz tabele u katalogu

- Od mogućih motora definisanih u prethodnom koraku, bira se jedan iz kataloga izabranog proizvođača.

- Cena i rok isporuke nisu baš tehničko pitanje, ali mogu da igraju značajnu ulogu u izboru.

Izbor motora

Korak peti: Izbor opcija i posebnih zahteva

- Temperaturni senzor u namotajima
- Položaj priključne kutije
- Specifičnosti konstrukcije (modifikacije u odnosu na standardne), specijalni ležajevi, metalni ventilator, vratilo na dve strane, …
- Dodatna oprema (na pr. anti-kondenz. grejači)
- Kočnica na vratilu motora
- Senzor brzine ili pozicije
- Boja, debljina farbe, specijalni premaz…

Izbor motora

Korak šesti: Provera dimenzija motora

U katalozima proizvođača nalaze se kotirani crteži sa dimenzijama.

Na sajtovima proizvođača mogu se preuzeti i 3D modeli motora (ali nekad bez posebnih zahteva).

Proizvođači motora su obezbedili on-line sisteme za izbor koji pomažu u postupnom definisanju zahteva prilikom izbora motora.

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 su:
  - izolacija namotaja
  - izolacija kolektora kod mašina za jednosmernu struju
- Izolacija se napreže termički usled zagrevanja i mehanički pod dejstvom elektromagnetnih sila.

VEK TRAJANJA

Zagrevanje motora utiče na vek trajanja, pre svega izolacije, a time i motora. Vek trajanja može se približno odrediti empirijskom *Montsinger*-ovom jednačinom. Približno, vek trajanja se skraćuje za polovinu, za svakih 8°C iznad dozvoljene temperature.

NOMINALNA SNAGA

Ako motor u nominalnim uslovima (ω_{nom}, I_{nom}, U_{nom}, θ_{anom} itd.) razvija nominalnu snagu, porast temperature u stacionarnom stanju mora da bude:

$$\vartheta_{doz} = \vartheta_{max}$$

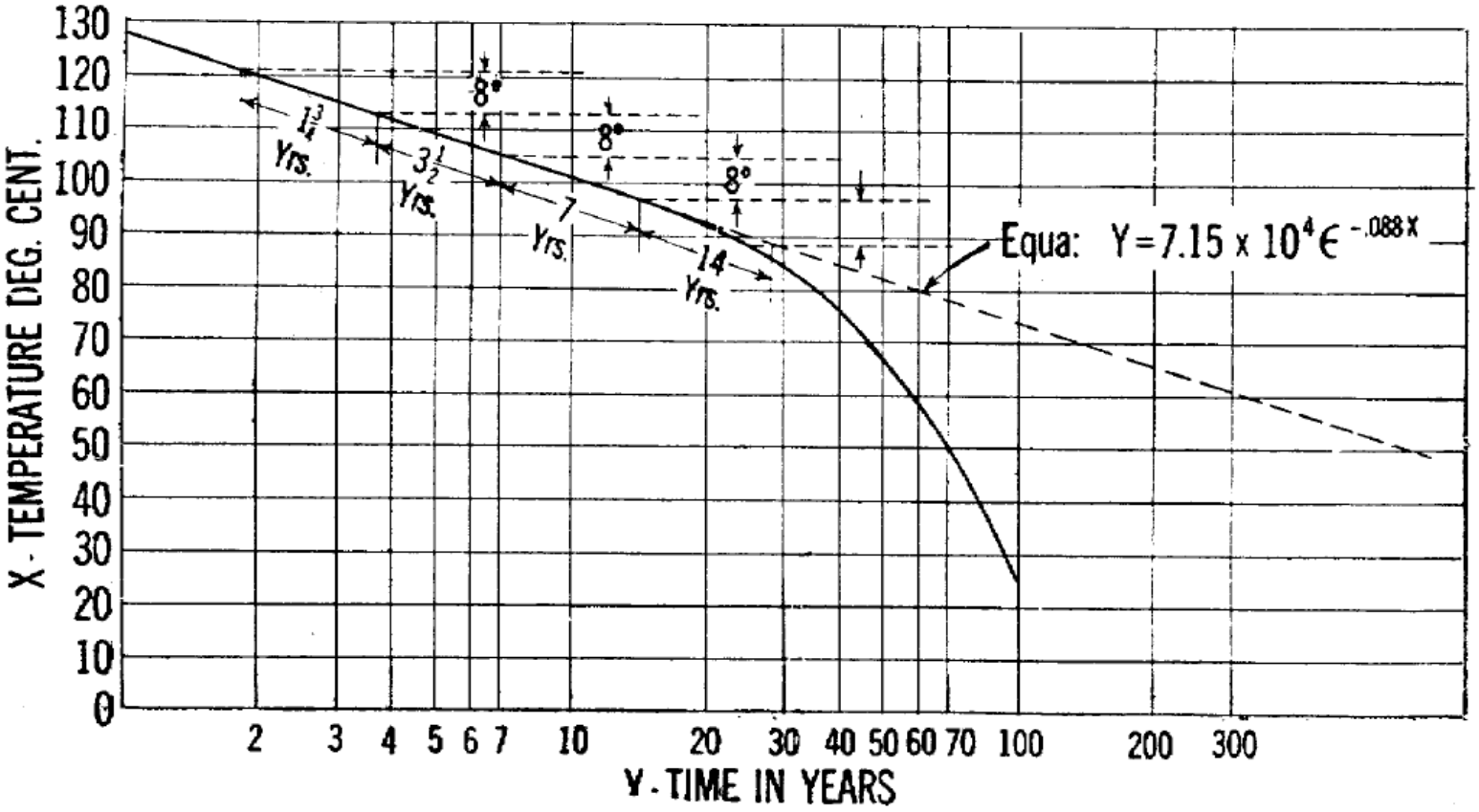
JEDNOČASOVNA SNAGA

Ista definicija kao i za nominalnu snagu, s time što se dozvoljeni porast temperature dostiže za 1 čas.

PREOPTERETLJIVOST

Sposobnost preopterećenja po snazi, momentu ili struji (ν). Preopterećenja su moguća samo za kratko vreme, tako da se ne prekorači *dozvoljeni porast temperature*.
Preopteretljivost se definiše kao vremenska funkcija, određena dozvoljenim vrednostima i trajanjima preopterećenja, potrebnog trajanja i vrednosti opterećenja manjeg od nominalnog (ciklus).

Ilustracija starenja izolacije



V.M.Montsinger, “Loading Transformers By Temperature”, Transactions A.I.E.E, 1930.

Rezultati ispitivanja starenja transformatora sa klasom izolacije A.

Temperatura namotaja

$$\theta = \theta_a + \vartheta$$

apsolutna temperatura

porast temperature (relativna temperatura)

temperatura ambijenta

Proračunska (nominalna) temperatura ambijenta po IEC-u je $\theta_{anom} = 40°\mathrm{C}$

Dozvoljeni porast temperature zavisi od klase izolacije.

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

Važno je naglasiti: $$\theta_{doz} = \theta_{anom} + \vartheta_{doz} = \theta_a + \vartheta$$

Približan proračun porasta temperature:

Pretpostavimo:

- gubici su stalni,
- mašina je homogena u pogledu zagrevanja.

Polazi se od diferencijalne jednačine zagrevanja:

$$Q \cdot dt = C \cdot d\vartheta + A \cdot \vartheta \cdot dt$$

gde je: Q – Količina razvijene toplote u jedinici vremena,

$$Q = P_\gamma = \frac{(1-\eta)}{\eta} \cdot P = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \cdot P$$

izražava se u [W].

C – Toplotni kapacitet motora [W s / °C], približno $C \approx c_{Fe} \cdot M$

pri čemu je c_{Fe} – specifični toplotni kapacitet gvožđa, a M – masa motora.

A – Specifična toplotna snaga, karakteristika hlađenja, količina toplote koja se preda okolini [W / °C]

Rešenje diferencijalne jednačine zagrevanja je:

$$\vartheta(t) = \frac{Q}{A} \cdot \left(1 - e^{-t/T}\right) + \vartheta_0 \cdot e^{-t/T}$$

Gde je: $\vartheta_{max} = Q / A$ - relativna temperatura stacionarnog stanja,

$T = C / A$ - vremenska konstanta zagrevanja

ϑ_0 - relativna temperatura u $t = 0$.

VREMENSKA KONSTANTA ZAGREVANJA

Red veličine od nekoliko desetina minuta do nekoliko časova.

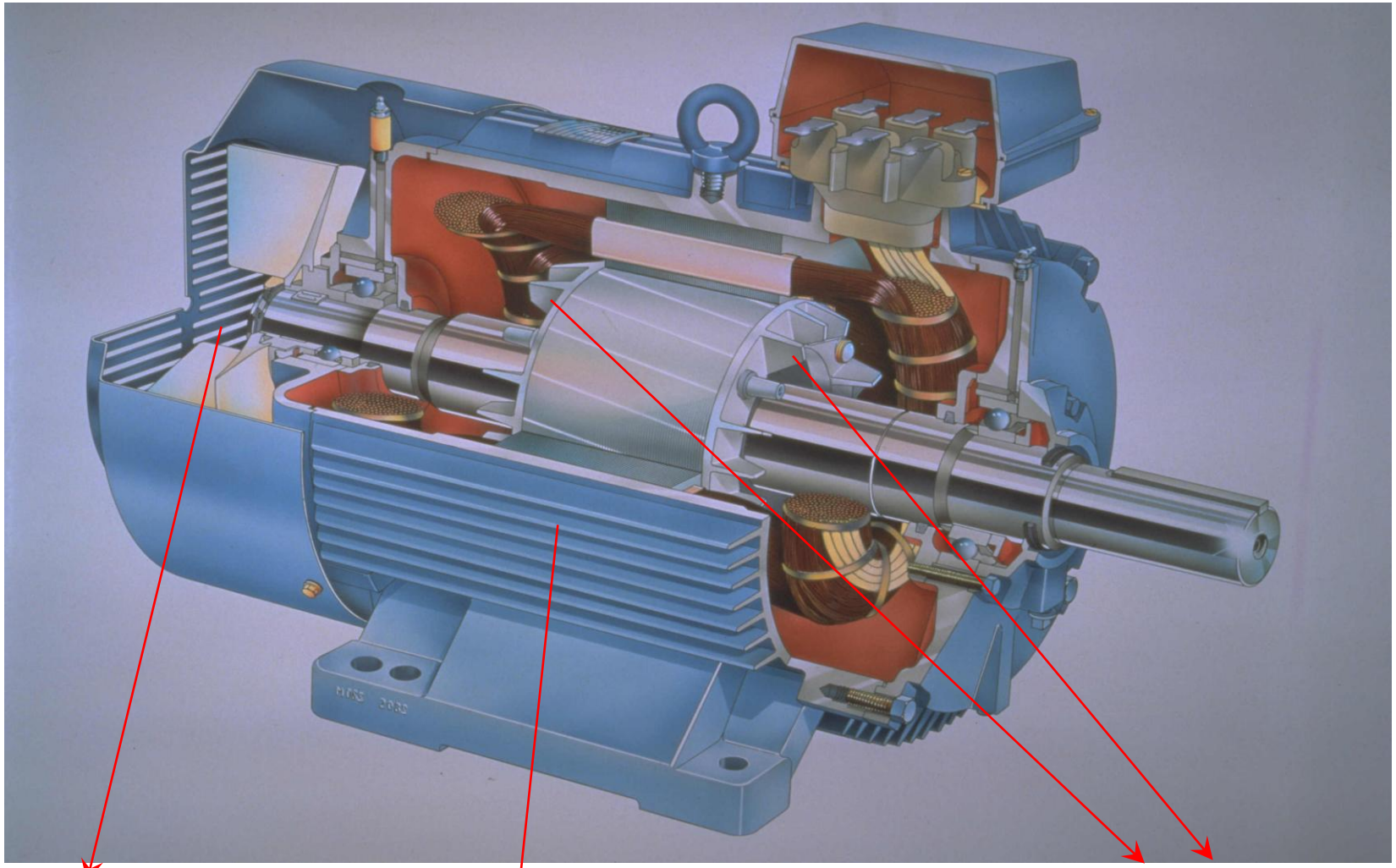
Najčešće između 30 min i 1 časa.

Ima stalnu vrednost ako su uslovi hlađenja (*A*) stalni.

RELATIVNA TEMPERATURA STACIONARNOG STANJA

Kod dobro izabranog motora: $\vartheta_{max} \leq \vartheta_{doz}$.

Motor sa sopstvenim hlađenjem

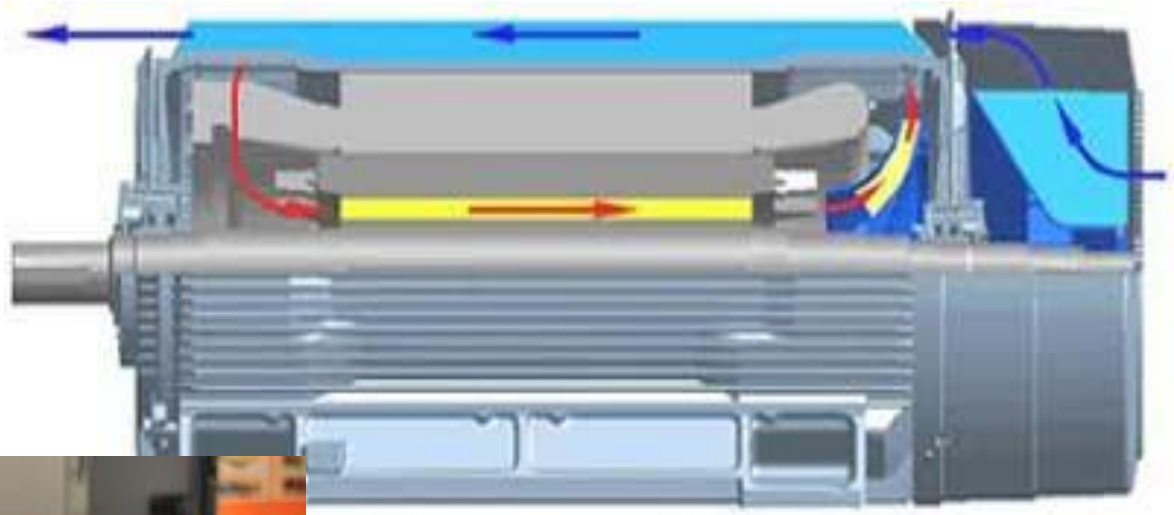


Spoljni ventilator

Radijatorska rebra

Unutrašnji ventilator

Sopstveno hlađenje vazduhom





Prinudno hlađenje vazduhom



Motor ventilatora montiran na pogonskom kraju



Motor ventilatora montiran na komutatorskom kraju

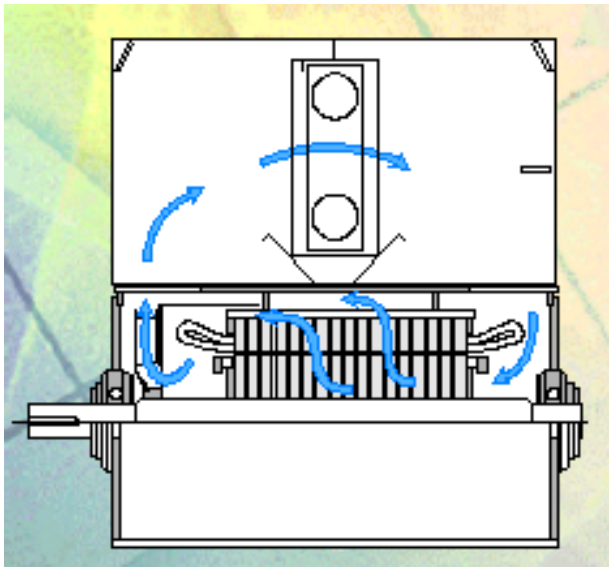
Motor sa prinudnim hlađenjem vazduhom



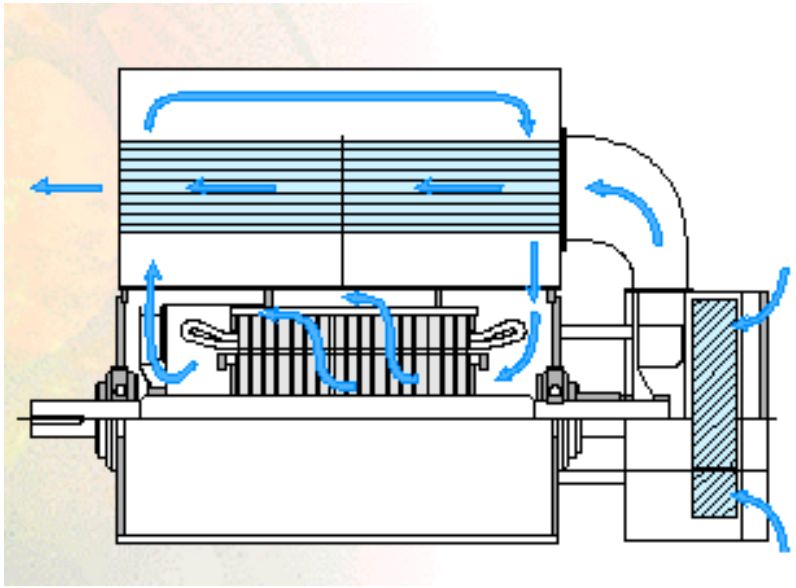
Motor sa prinudnim hlađenjem vodom



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

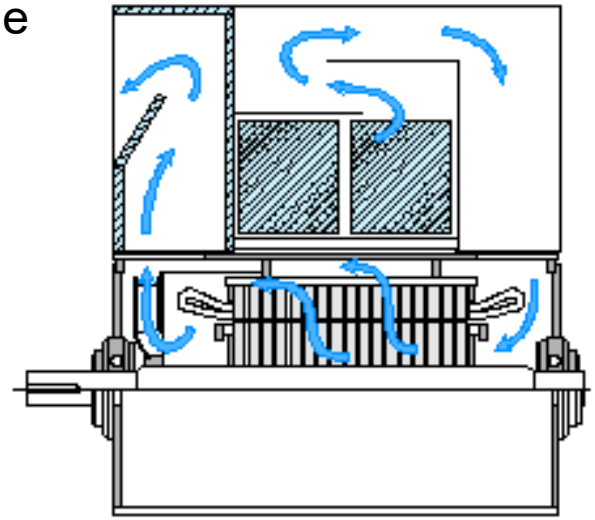


Hlađenje vodom i vazduhom



Prinudno hlađenje vazduhom

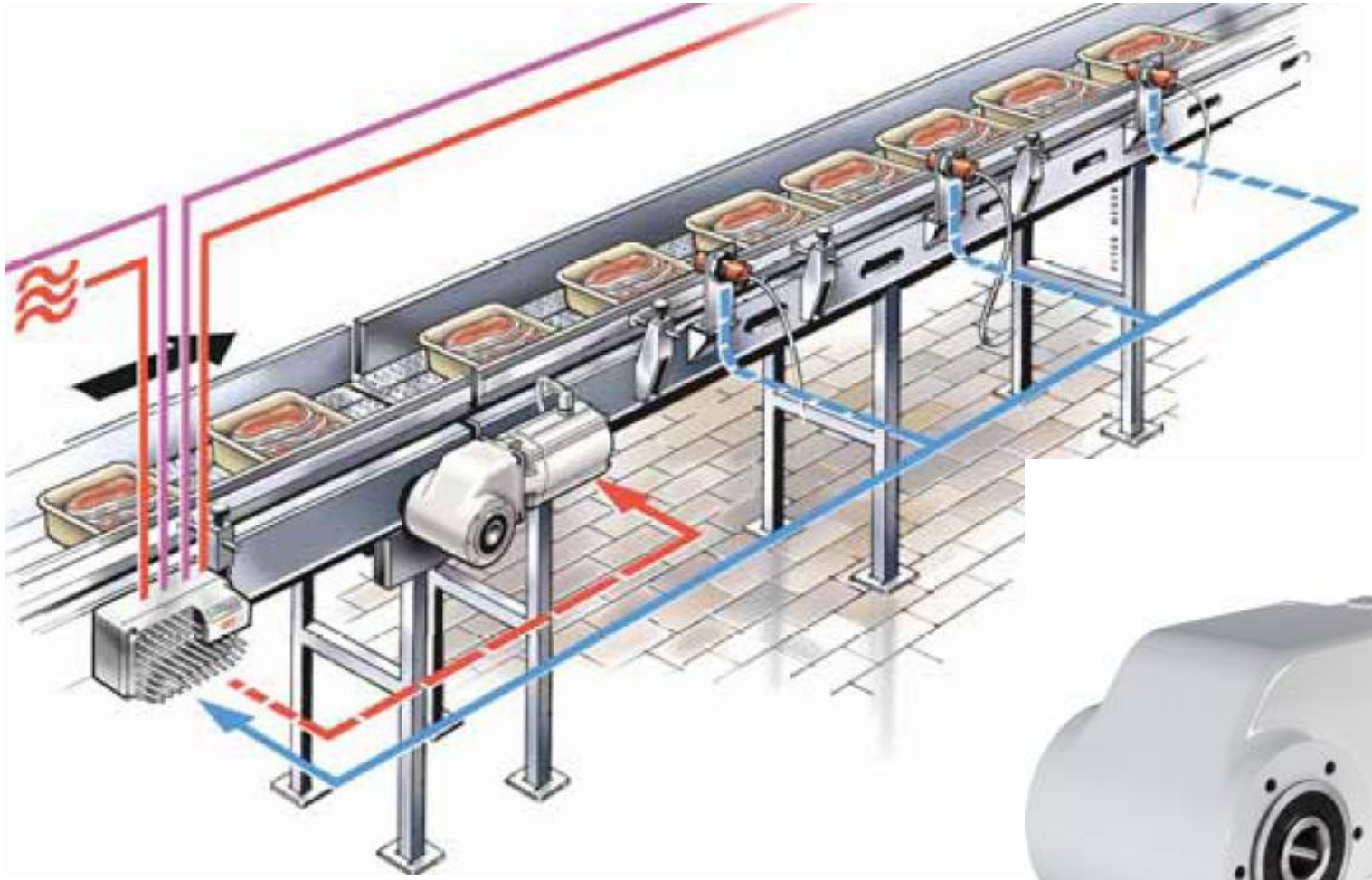
Zaštita od vode



Cevi za prinudno hlađenje vazduhom



Motor bez ventilatora za hlađenje – primena u prehrambenoj industriji





HLAĐENJE MOTORA

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

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

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

Gde je:

$T' = C / A'$ - vremenska konstanta hlađenja

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

Kod motora sa sopstvenim hlađenjem, odnos vremenske konstante zagrevanja i hlađenja je:

$$T \leq T'$$

Odvođenje toplote je manje zbog smanjenog strujanja vazduha.

Tipovi pogona sa stanovišta zagrevanja

Standardom EN (SRPS) 60034-1:2010 definisani su:

S1 – Trajni pogon

S2 – Kratkotrajni pogon

S3 – Intermitentni periodični pogon

S4 – Intermitentni periodični pogon sa uticajem zaletanja

S5 – Intermitentni periodični pogon sa uticajem zaletanja i električnog kočenja

S6 – Trajni periodični pogon (nema perioda mirovanja i beznaponskog stanja)

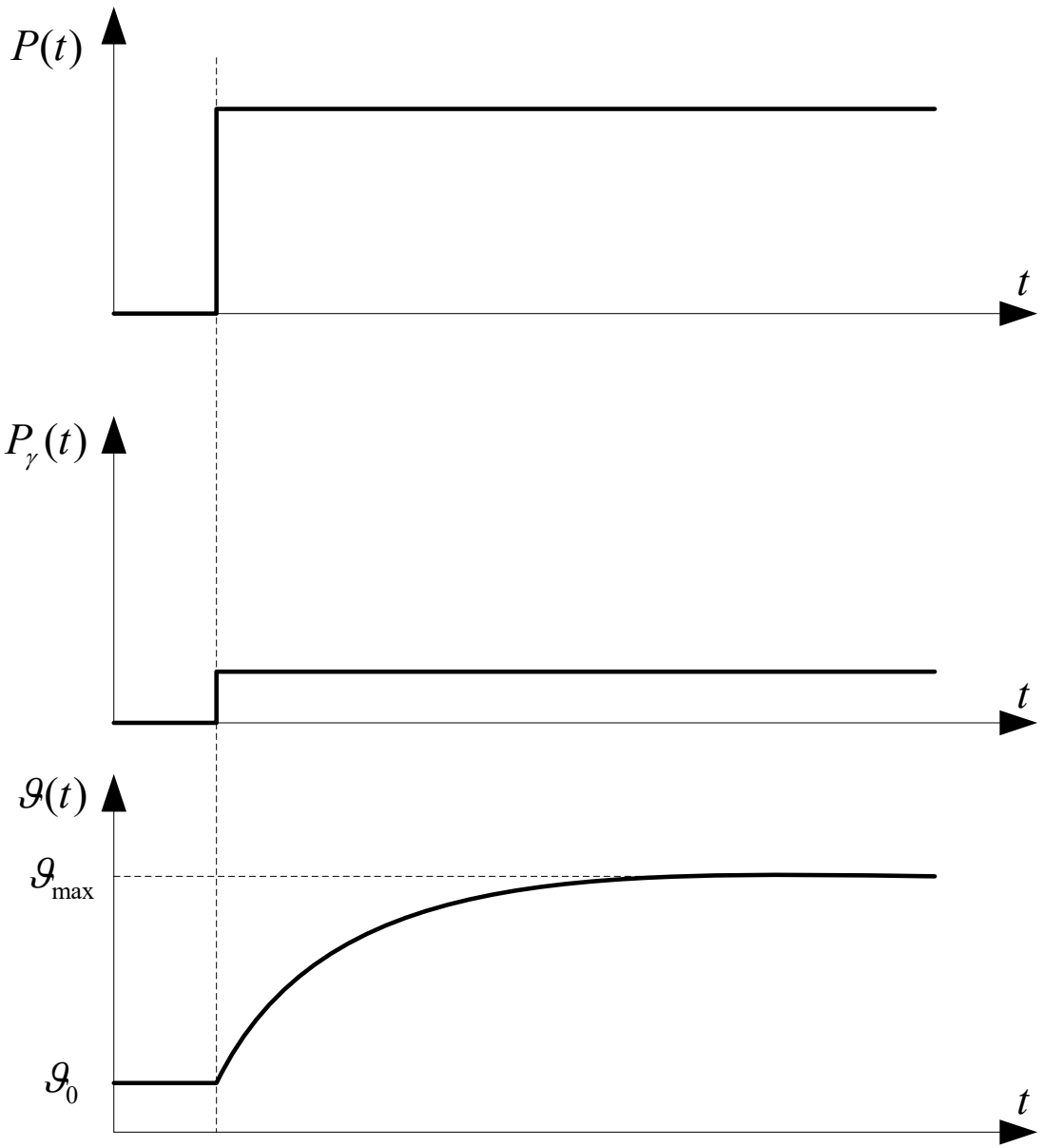
S7 – Trajni periodični pogon sa uticajem zaletanja i električnog kočenja

S8 – Trajni periodični pogon sa međusobno zavisnim promenama opterećenja i brzine

S9 – Pogon sa ne-periodičnim promenama opterećenja i brzine

S10 – Pogon sa unapred određenim stalnim opterećenjima i brzinama

S1 - trajni pogon



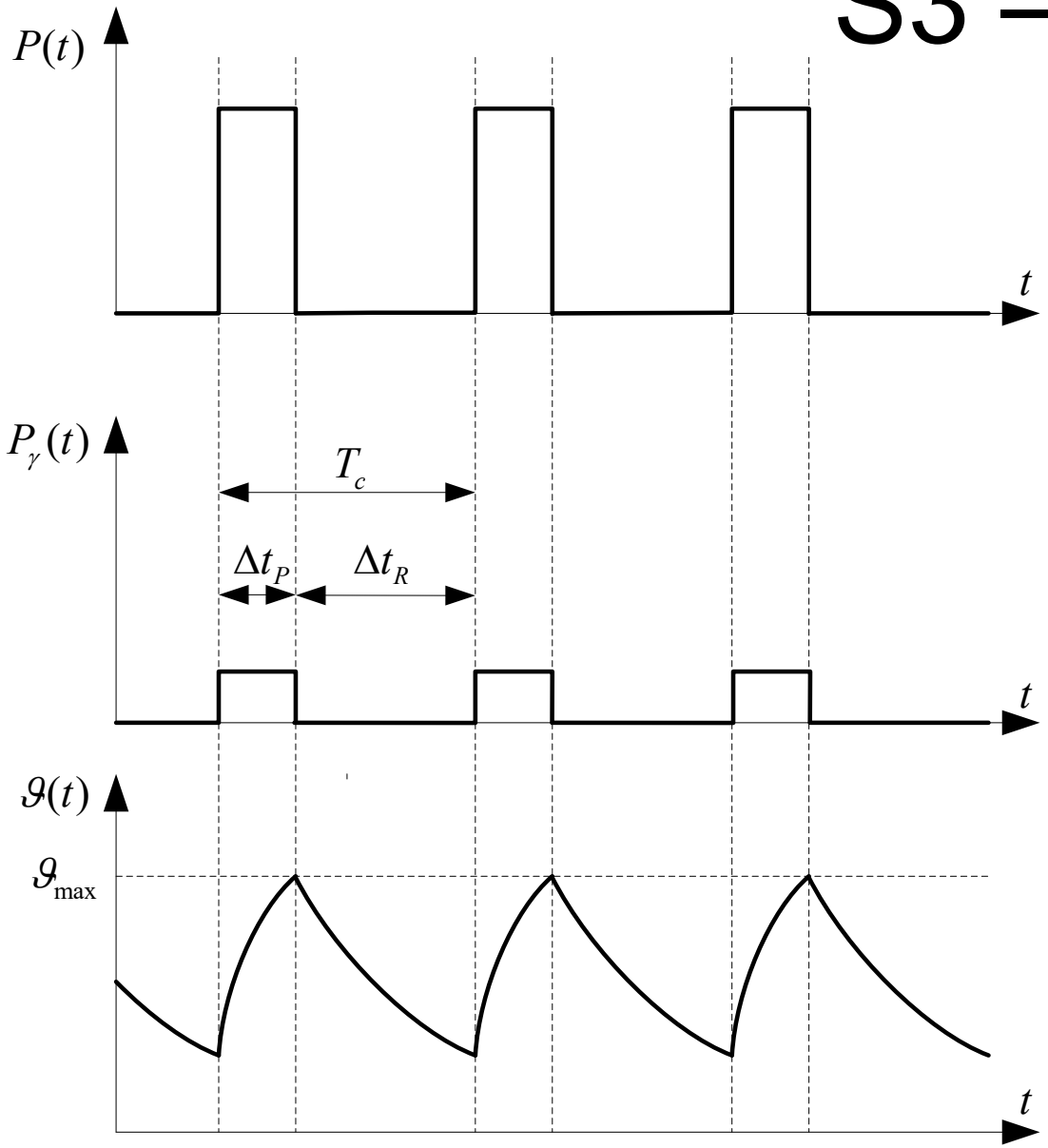
$P(t)$ - Promena opterećenja u vremenu

$P_\gamma(t)$ - Promena snage gubitaka u vremenu

$\vartheta(t)$ - Promena temperature u vremenu

$$\vartheta_{\max} = \vartheta_{\text{dozvoljeno}}$$

S3 – intermitentni pogon



T_c – Trajanje ciklusa

Δt_P – vreme rada pri punom opterećenju

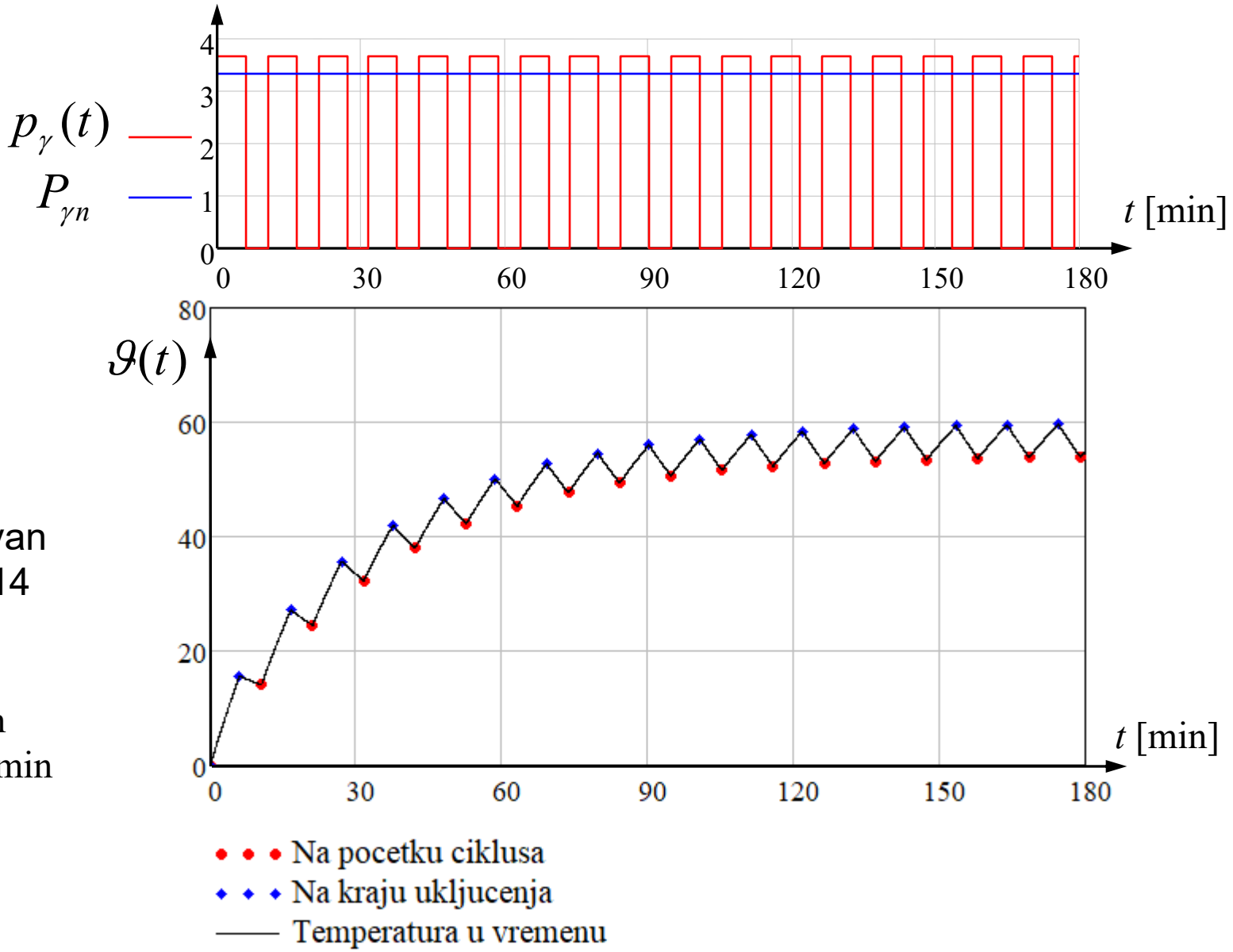
Δt_R – vreme beznaposnkog stanja i mirovanja

$$\varepsilon[\%] = \frac{\Delta t_P}{T_c}$$

$\vartheta(t)$ - Promena temperature u vremenu

Oznaka intermitencije ε [%]: S3 15%, S3 25%, S3 40%, S3 60%

S3 – Intermitentni pogon



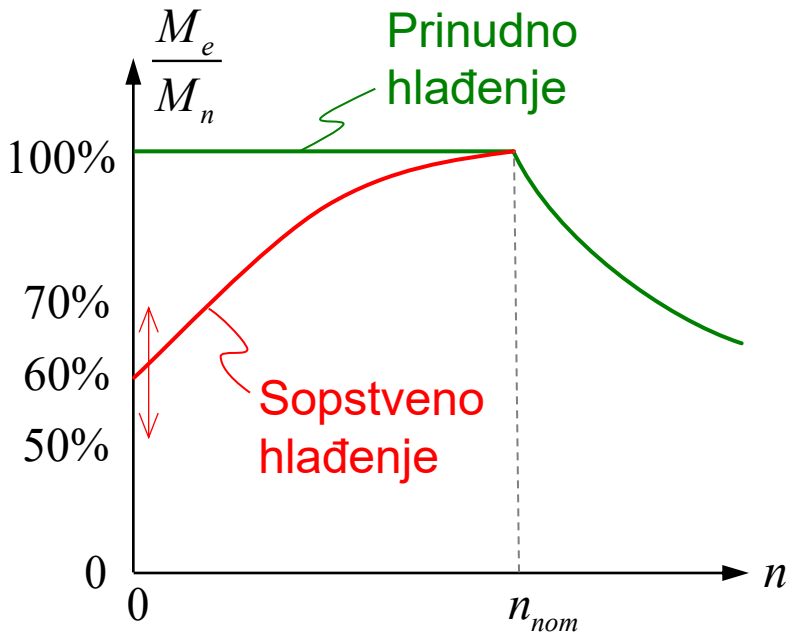
Modifikovan zadatak 14 iz Zbirke:

$t_u = 6$ min

$t_0 = 4{,}53$ min

Rad motora sa sopstvenim hlađenjem pri smanjenoj brzini

- Na manjoj brzini obrtanja od nominalne, kod motora sa sopstvenim hlađenjem, brzina ventilatora je manja, zbog čega je strujanje vazduha smanjeno.
- Smanjuje se mogućnost odvođenja toplote sa motora konvekcijom.
- Trajno dozvoljeno opterećenje se mora smanjiti zbog otežanih uslova hlađenja.
- Rešenje može biti izbor motora sa prinudnim hlađenjem ili povećanje nominalne snage motora.



Proizvođači opreme u katalozima daju tačne karakteristike (krive) trajno dozvoljenog opterećenja za pogone sa promenljivom brzinom obrtanja.

IZBOR ENERGETSKOG PRETVARAČA

- Napon napajanja, napon motora (moraju biti usaglašeni).
- Snaga motora, uključujući i preopterećenje (trajanje i moment preopterećenja).
- Pretvarač se bira da može da „podnese“ najveću struju koja se može javiti, makar i vrlo kratko.
- Zaštita poluprovodnika aktivira zaštitnu funkciju ograničenja struje, pa preopterećenja treba predvideti unapred.
- Snaga ili moment motora potreban u trajnom radu (uvažavajući cikluse opterećenja).
- Proveriti raspoloživ prostor za smeštaj pretvarača, uključujući i adekvatnu količinu vazduha potrebnu za hlađenje
- Zagrevanje pretvarača u nastavku…

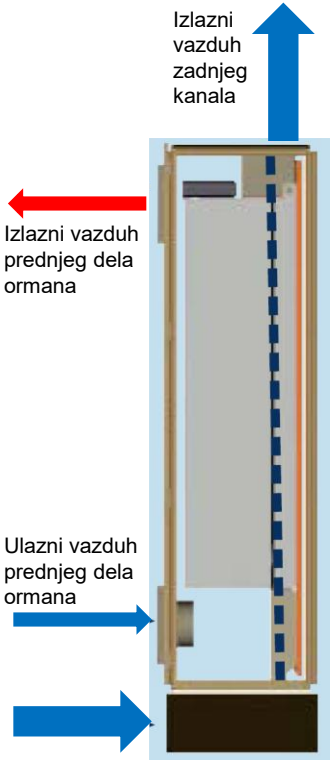
ZAGREVANJE ENERGETSKOG PRETVARAČA

- Kondukcioni i komutacioni gubici u poluprovodničkim elementima. Dodati gubici od upravljačke elektronike oslobađaju se u istom kućištu.
- Hladnjak sa prinudnim hlađenjem (ili kontrolisanim hlađenjem u zavisnosti od temperature), često aluminijumski sa rebrima. Ventilator hladnjaka se napaja iz upravljačke elektronike pretvarača.
- Značajno manje vrednosti vremenske konstante zagrevanja i hlađenja od vremenskih konstante motora, zbog manje mase.
- Smeštaj opreme diktira da pretvarač bude unutar prostorije, ili u elektro ormanu. Treba voditi računa o odvođenju toplote iz prostorije ili ormana. Mogu se koristiti decentralizovani pretvarači ili integrisani pretvarači na kućištu motora.
- Integrisani upravljački (i zaštitni) sistem pretvarača meri temperaturu poluprovodnika i hladnjaka, čime štiti pretvarač od pregrevanja (tako što isključi napajanje motora)

Opcije za smeštaj opreme u ormanu

Zadnji kanal za hlađenje



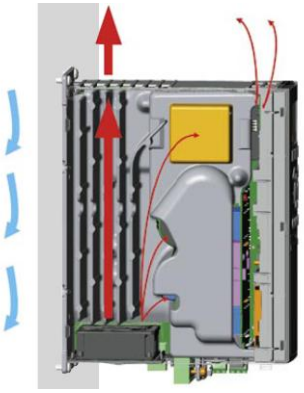


Orman sa ventilacionim otvorima



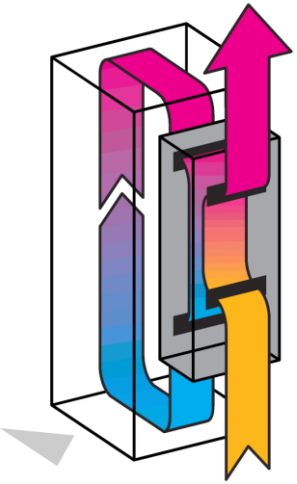


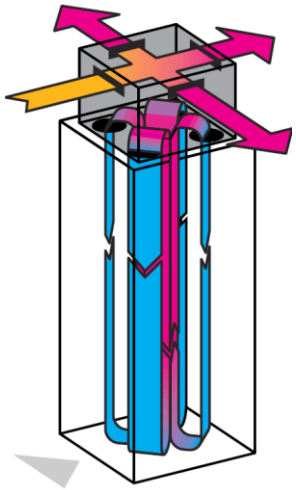
Odvojen hladnjak od elektronike





Klimatizacija ormana ili prostorije





Decentralizovani ili integrisani pretvarači sa motorom

Decentralizovani pretvarač, smešten van ormana u blizini motora

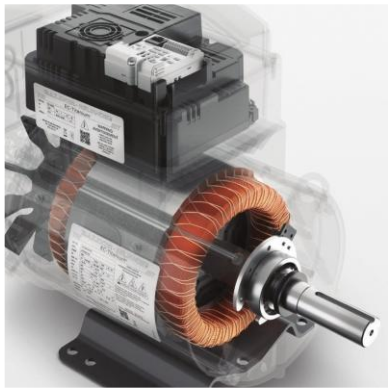






Integrisan pretvarač smešten na kućište motora









IEEE Intl. Future Energy Challenge



U finalu takmičenja 2005. tim studenata sa ETF je osvojio prvo mesto.

Tako je započeta serija uspeha koju nastavlja **H-Bridges**