

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:

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

JEDNOČASOVNA SNAGA

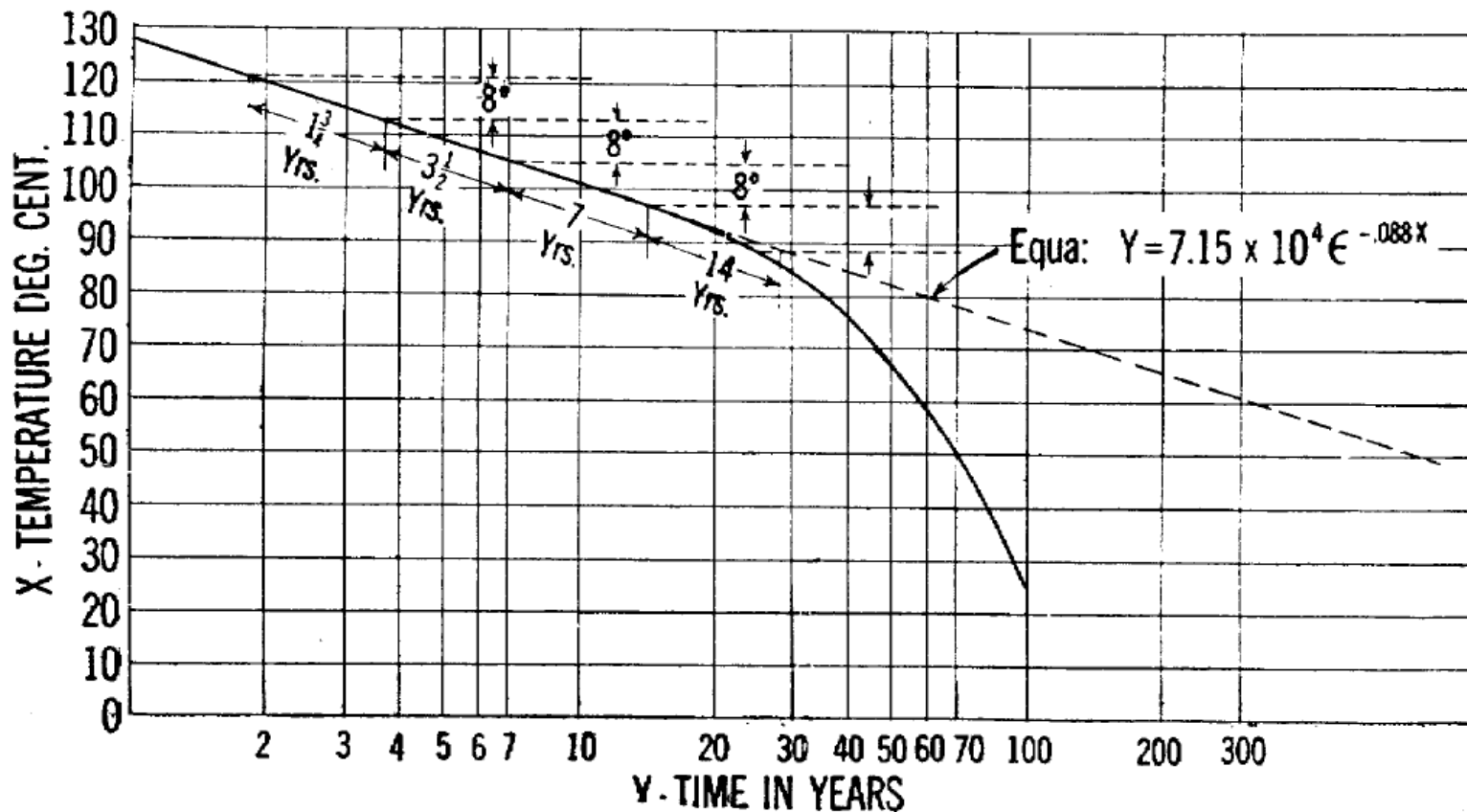
Ista definicija kao i za nominalnu snagu, s time što se dozvoljeni porast temperature dostiže za 1 čas.

PREOPTERETLJIVOST

Sposobnost preopterećenja po snazi, momentu ili struji (v). 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

$$\theta = \theta_a + \mathcal{I}$$

apsolutna temperatura ←

porast temperature (relativna temperatura)

→ temperatura ambijenta

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

Dozvoljeni porast temperature zavisi od klase izolacije.

Klasa izolacije	A	E	B	F	H
Dozvoljeni porast \mathcal{I}_{doz} [$^{\circ}\text{C}$]	60	70	80	100	125

Važno je naglasiti:

$$\theta_{doz} = \theta_{anom} + \mathcal{I}_{doz} = \theta_a + \mathcal{I}$$

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,

$$Q = P_{\gamma} = \frac{(1-\eta)}{\eta} \cdot P = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \cdot P \quad \text{izražava se u [W].}$$

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:

$$\mathcal{G}(t) = \frac{Q}{A} \cdot (1 - e^{-t/T}) + \mathcal{G}_0 \cdot e^{-t/T}$$

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

$T = C / A$ - vremenska konstanta zagrevanja

\mathcal{G}_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.

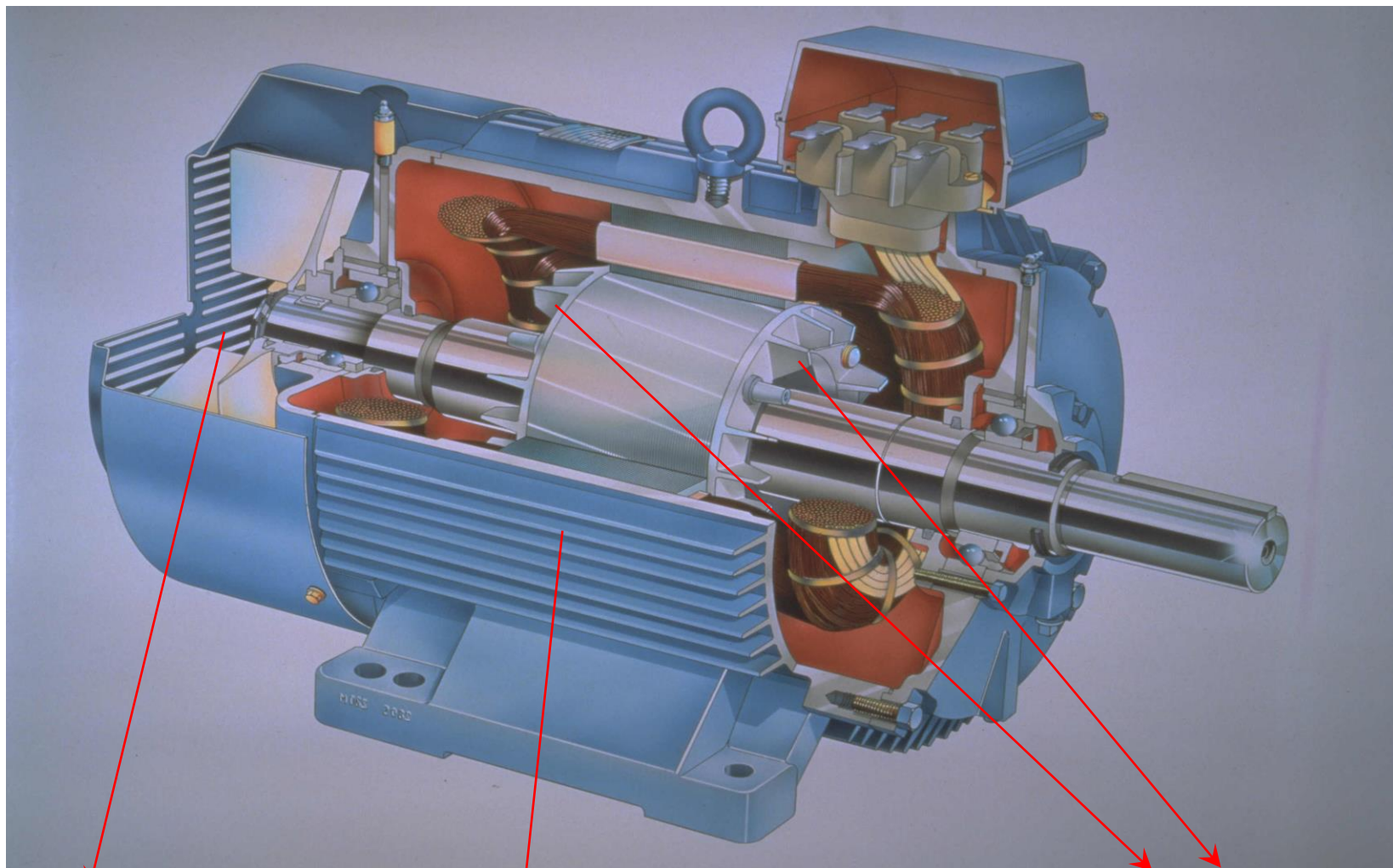
Ima stalnu vrednost ako su uslovi hlađenja (A) stalni.

RELATIVNA TEMPERATURA STACIONARNOG STANJA

Kod dobro izabranog motora:

$$\mathcal{G}_{max} \leq \mathcal{G}_{doz}.$$

Motor sa sopstvenim hlađenjem

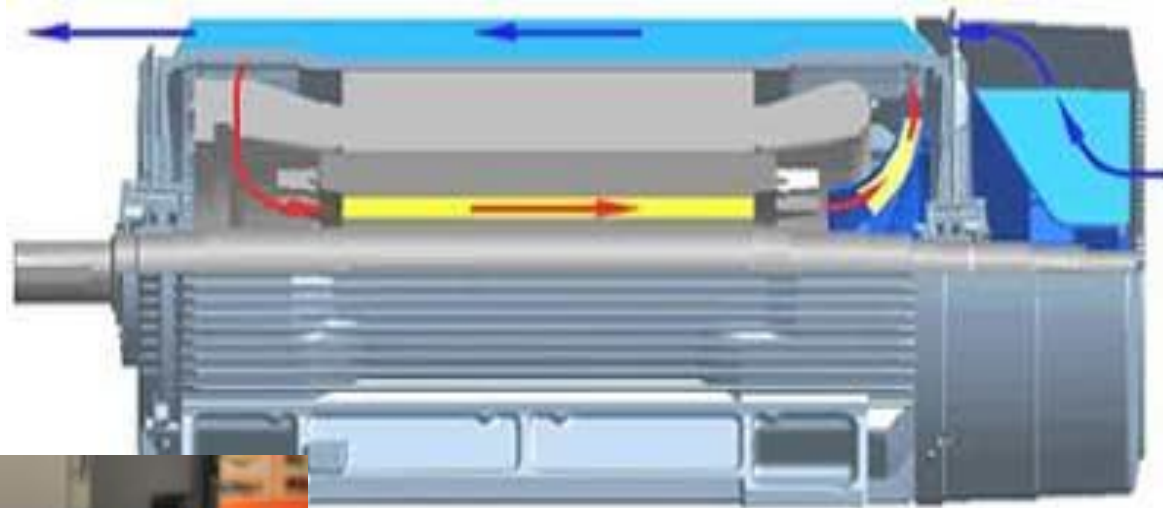


Spoljni ventilator

Radijatorska rebra

Unutrašnji ventilator

Sopstveno hlajenje vazduhom



Prinudno hlađenje vazduhom



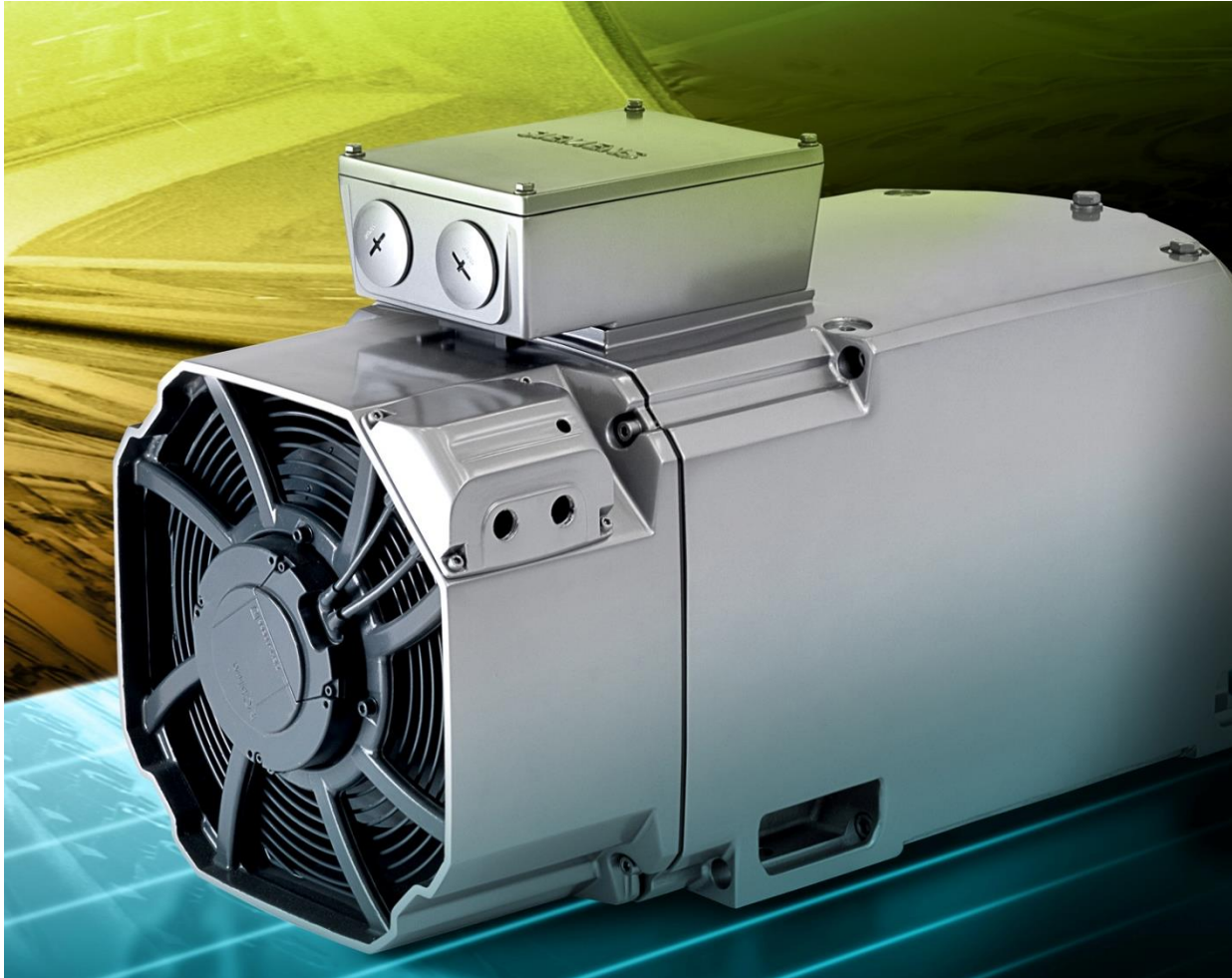
Motor ventilatora montiran na pogonskom kraju



Motor ventilatora montiran na komutatorskom kraju



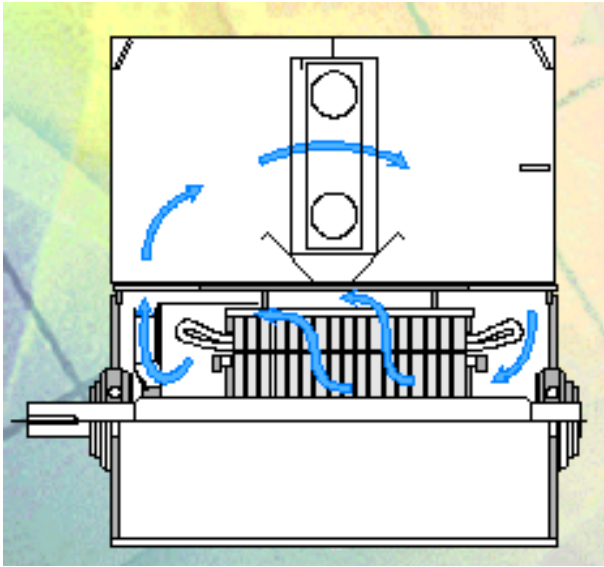
Motor sa prinudnim hlađenjem vazduhom



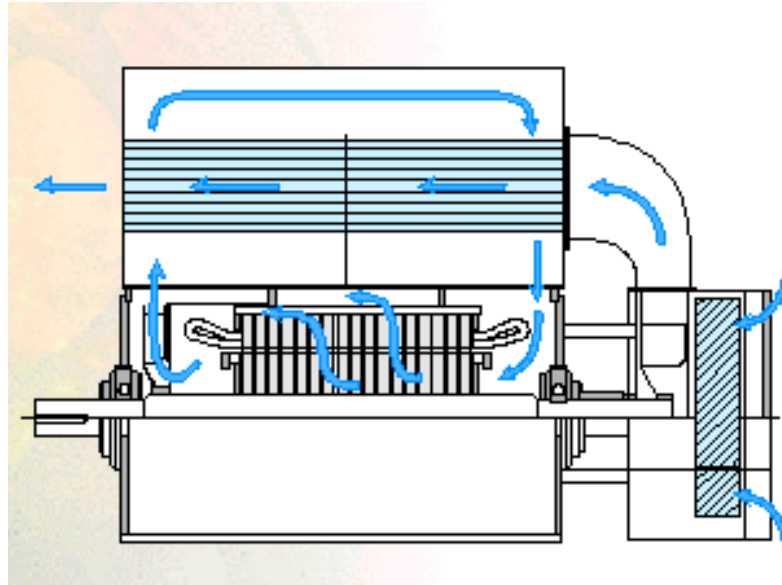
Motor sa prinudnim hlađenjem vodom



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

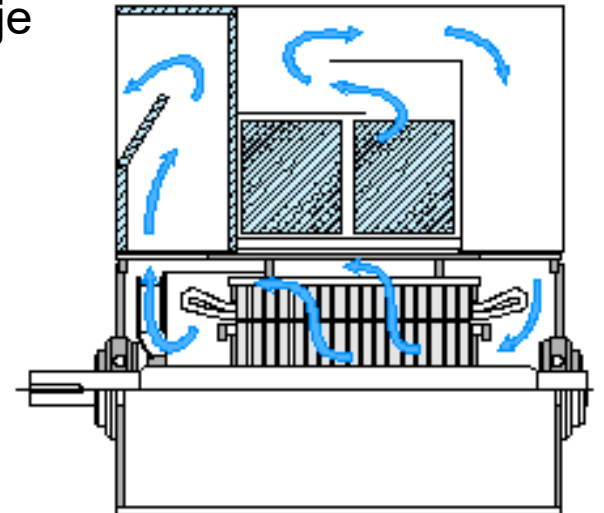


Hlađenje vodom i vazduhom



Prinudno hlađenje vazduhom

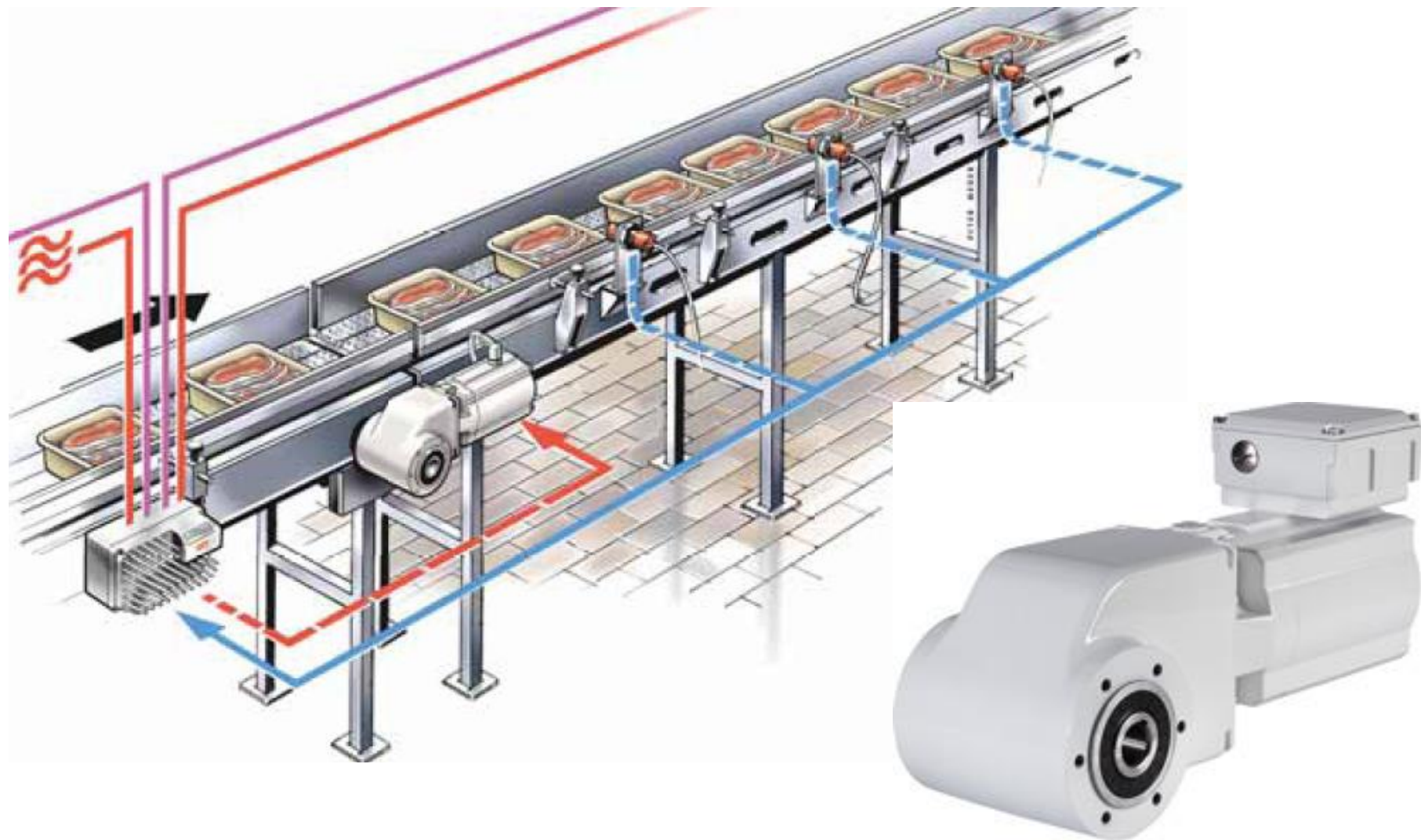
Zaštita od vode



Cevi za prinudno hlađenje vazduhom



Motor bez ventilatora za hlađenje – primena u prehrambenoj industriji



HLAĐENJE MOTORA

U režimu hlađenja je: $d\mathcal{G} < 0$

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

$$\mathcal{G}(t) = \mathcal{G}_{poč} e^{-t/T'}$$

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:

$$T \leq T'$$

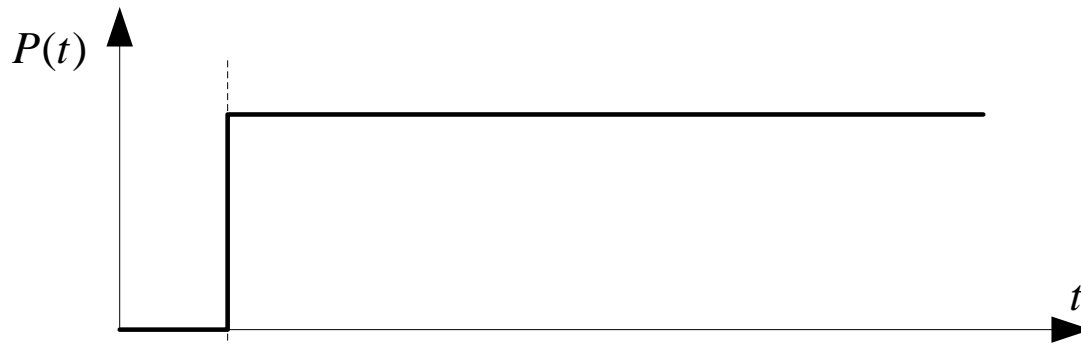
Odvođenje toplote je manje zbog smanjenog strujanja vazduha.

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

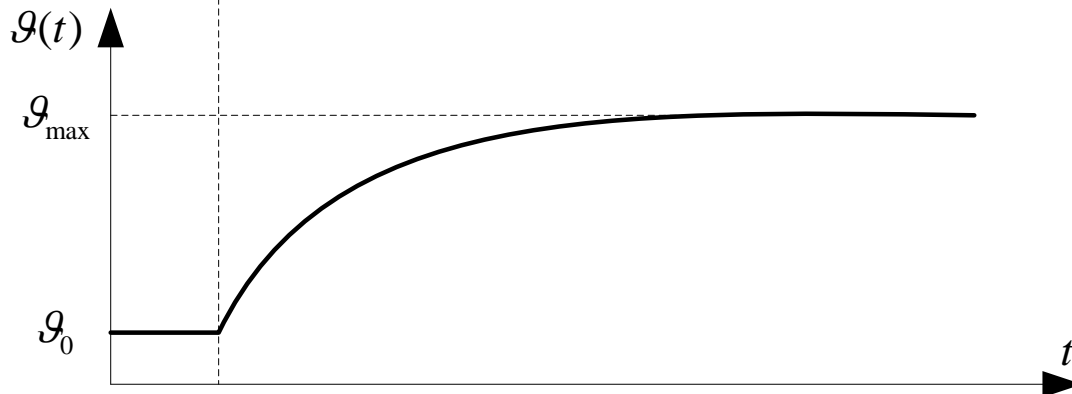
S1 - trajni pogon



$P(t)$ - Promena opterećenja u vremenu



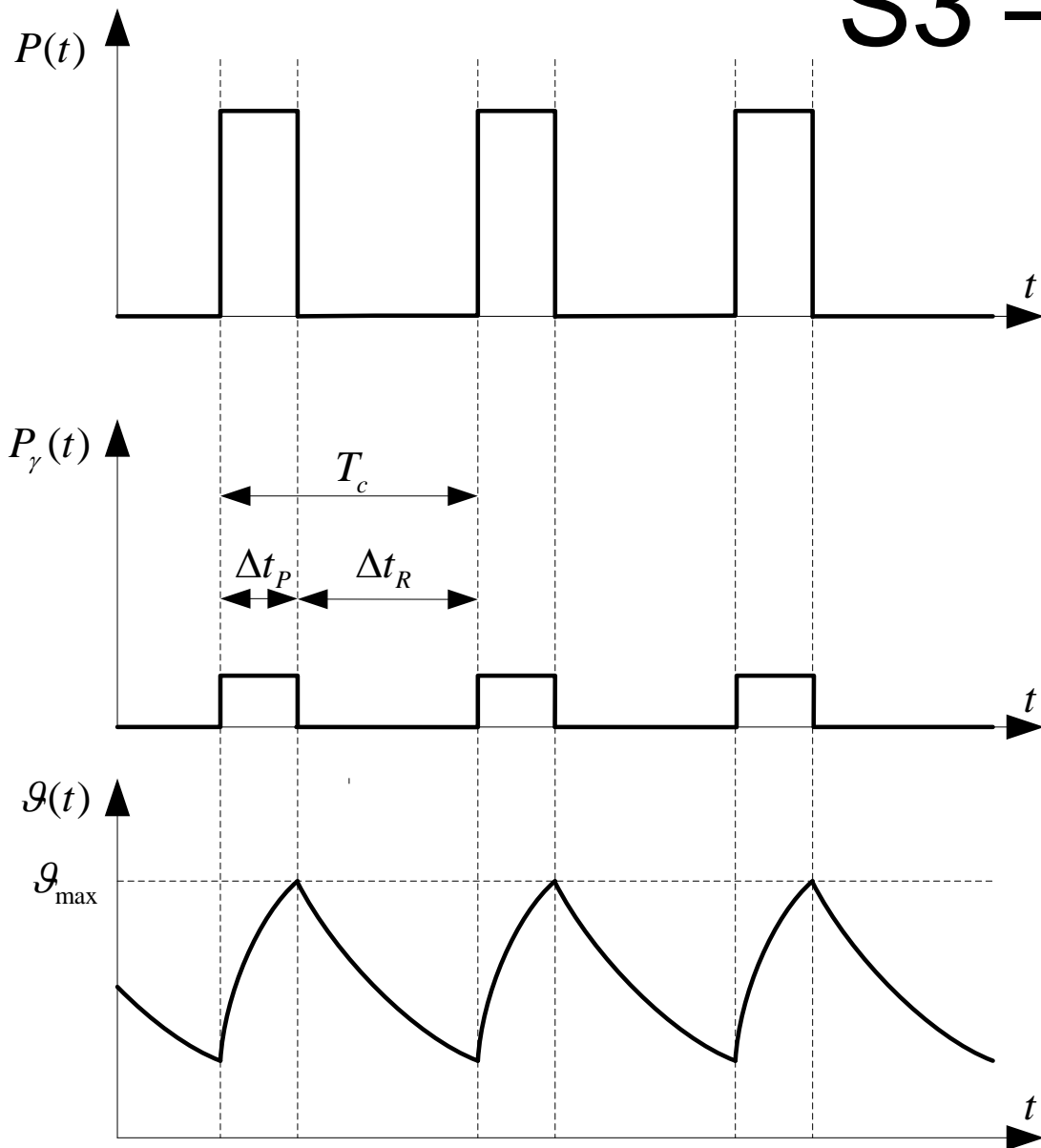
$P_\gamma(t)$ - Promena snage gubitaka u vremenu



$\mathcal{G}(t)$ - Promena temperature u vremenu

$$\mathcal{G}_{\max} = \mathcal{G}_{\text{dozvoljeno}}$$

S3 – intermitentni pogon



T_c – Trajanje ciklusa

Δt_P – vreme rada pri punom opterećenju

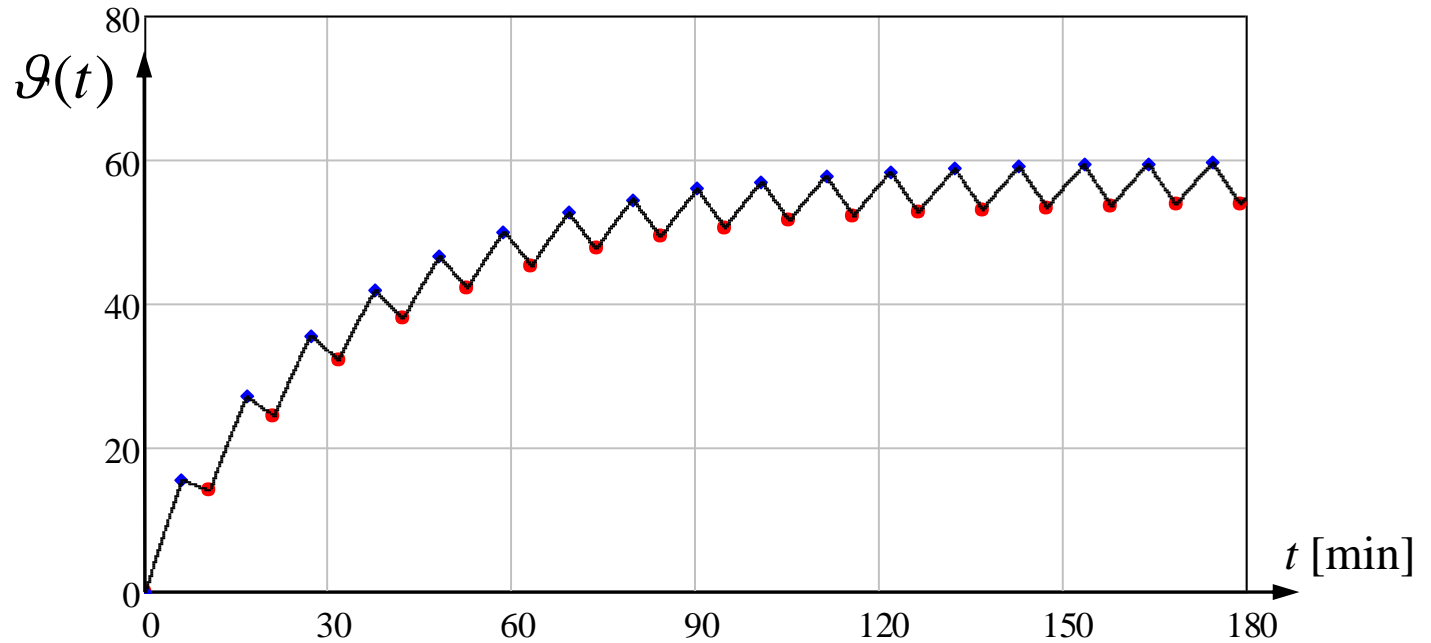
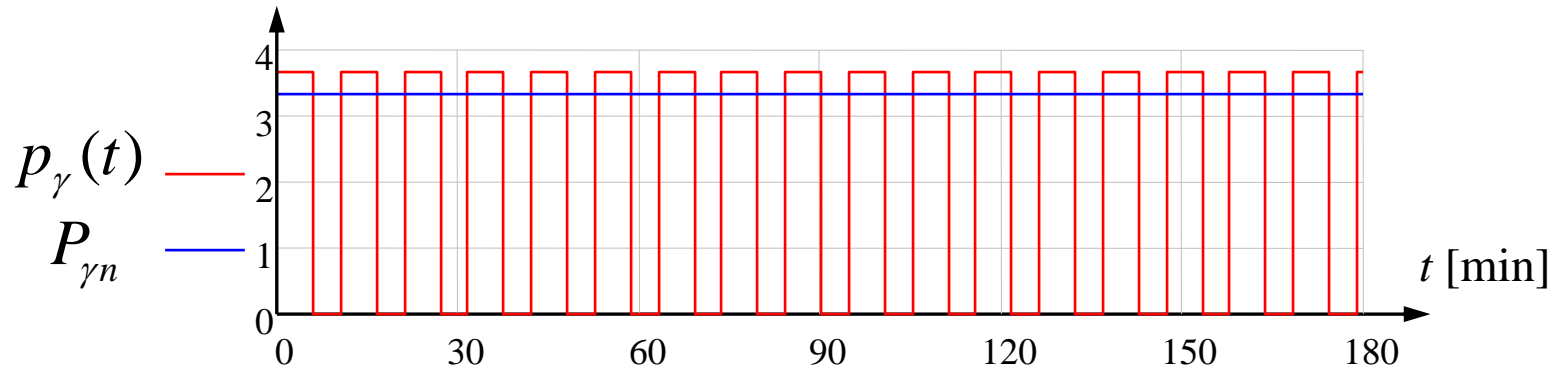
Δt_R – vreme beznaposnog stanja i mirovanja

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

$g(t)$ - Promena temperature u vremenu

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

S3 – Intermitentni pogon



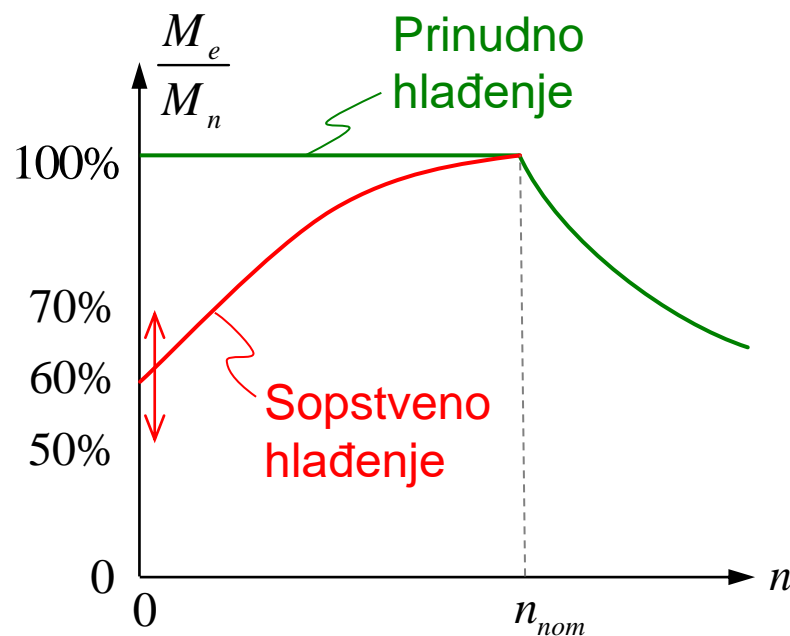
Modifikovan
zadatak 14
iz Zbirke:

$$t_u = 6 \text{ min}$$
$$t_0 = 4,53 \text{ min}$$

- • • Na pocetku ciklusa
- ♦ ♦ ♦ Na kraju ukljucenja
- Temperatura u vremenu

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 katalogima daju tačne karakteristike (krive) trajno dozvoljenog opterećenja za pogone sa promenljivom brzinom obrtanja.

ZAGREVANJE ENERGETSKOG PRETVARAČA

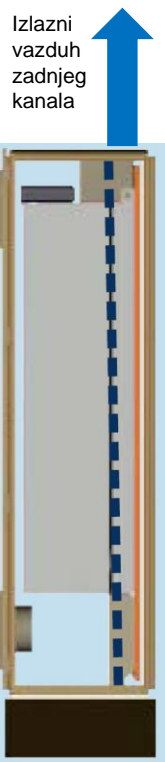
- Kondukциони i komutacioni gubici u poluprovodničkim elementima. Dodati gubici od upravljačke elektronike oslobađaju se u istom kućištu.
- Hladnjak sa prinudnim hlađenjem (ili kontrolisanim hlađenjem u zavisnosti od temperature), često aluminijumski sa rebrima. Ventilator hladnjaka se napaja iz upravljačke 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.
- Zaštita poluprovodnika aktivira zaštitnu funkciju ograničenja struje, pa preopterećenja treba predvideti unapred, ukoliko su potrebna.

Opcije za smeštaj opreme u ormanu

Zadnji kanal za hlađenje



Orman sa ventilacionim otvorima



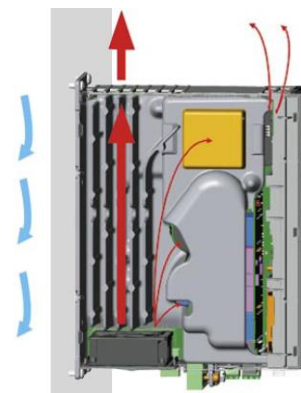
Izlazni vazduh prednjeg dela ormana

Ulazni vazduh prednjeg dela ormana

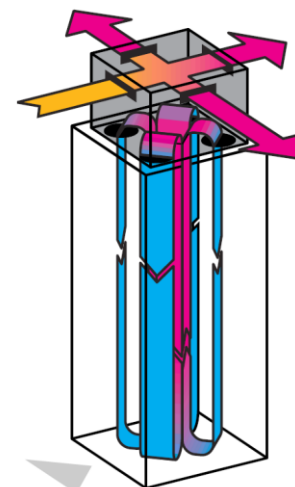
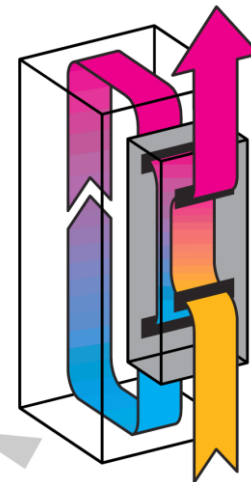
Ulazni vazduh zadnjeg kanala



Odvojen hladnjak od elektronike



Klimatizacija ormana ili prostorije



Decentralizovani ili integrisani pretvarači sa motorom

Decentralizovani pretvarač, smešten van ormara 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**

