

Energetski efikasni elektromotorni pogoni

Master studijski program, prvi semestar

ESPB = 6

P=3 V=2

Predavanja:

Dr Leposava Ristić

Dr Milan Bebić

Dr Mirjana Stamenić (Mašinski fakultet u Beogradu)

Vežbe:

Dr Leposava Ristić i Dr Milan Bebić sa saradnicima Laboratorije za elektromotorne pogone

Kontakt:

pogoni@etf.rs

www.pogoni.etf.rs

Sadržaj i obim

- Uvod.
- Pregled mogućnosti za povećanje energetske efikasnosti u elektromotornim pogonima.
- Energetski efikasni asinhroni motori u elektromotornim pogonima.
- Energetski optimalno upravljanje pogonima sa asinhronim motorom.
- Harmonici u pogonskim sistemima.
- Aktivni filter. Aktivni ispravljač.
- Optimizacija procesa: pogoni sa pumpom.
- Optimizacija procesa: pogoni sa tračnim transporterima.
- Optimizacija procesa: pogon premotača.
- Energetski optimalno upravljanje pogonima sa sinhronim motorom sa permanentnim magnetima
- Energetski efikasni pogoni sa višefaznim motorima
- Energetski menadžment.

Kako su zamišljena

.... prezentacije gradiva

- U obliku posebno izabranih i pripremljenih predavanja.
- Predavanja su posebne celine.
- Teme bi bile iz zanimljivijih oblasti primene pogona.
- Praktična aktuelnost teme jedan od najvažnijih kriterijum izbora teme.

.... predavanja i vežbe

- Izabrana predavanja bi držali profesori sa iskustvom u određenoj oblasti pogona.
- Predavanja bi se bazirala na naučnim i praktičnim iskustvima profesora.
- Vežbe u učionici i laboratoriji bi davale osnovu za izradu završnog rada.

Literatura

- Sva predavanja su dostupna u PowerPointu, na sajtu <http://www.pogoni.etf.rs>.
- Pored PowerPointa koristiće se i drugi načini prezentacija.
- Literatura:
 - Sve što je navedeno u spisku literature na kraju svake prezentacije (predavanja).
 - Dopunska literatura je moguća kod izrade semestralnog rada.

Način polaganja

Semestralni rad

- Teorijska analiza sa primenom simulacije na računaru.
- Eksperimentalna analiza sa obradom i analizom rezultata.

Svaki od urađenih radova se može nastaviti i doraditi kao Master rad!!!!!!!!!!!!

**Pregled mogućnosti za
povećanje energetske
efikasnosti u
elektromotornim pogonima**

Električna energija

- Električna energija je najplemenitiji, a samim tim i najskuplji vid energije.



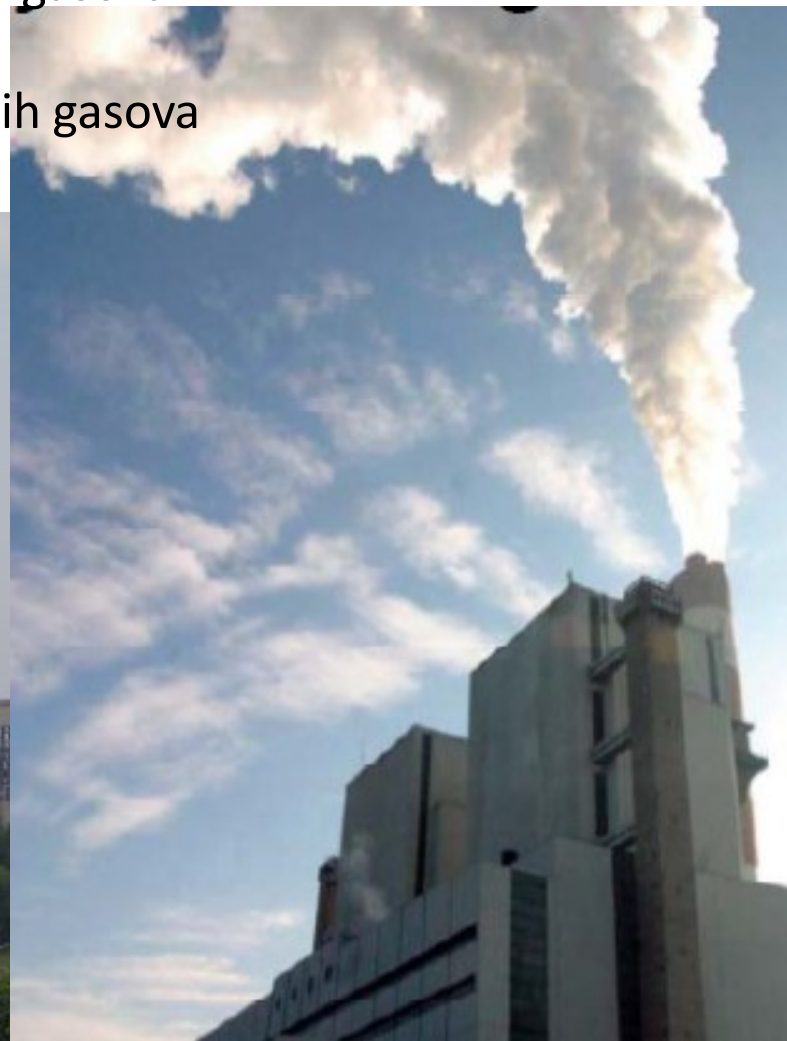
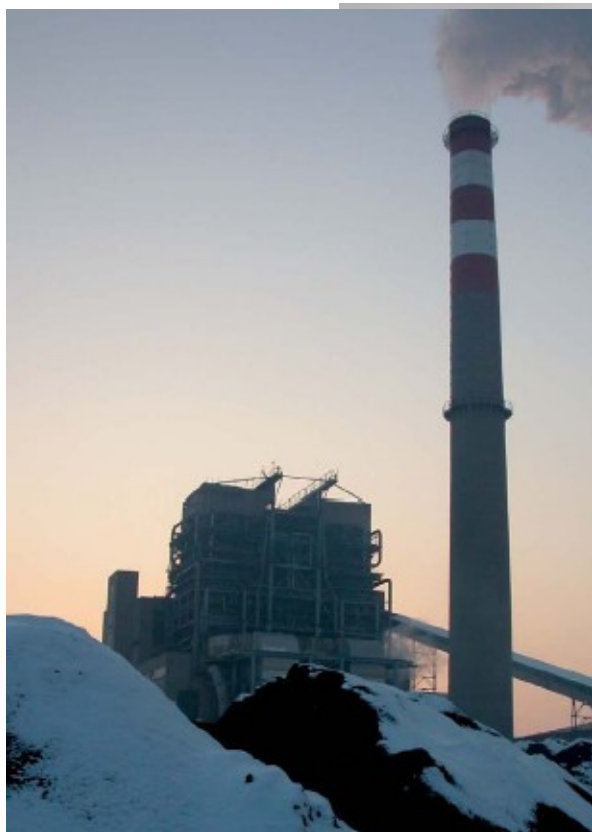
Proizvodnja električne energije je složen proces koji u mnogim slučajevima podrazumeva dodatne objekte kapitalnog značaja



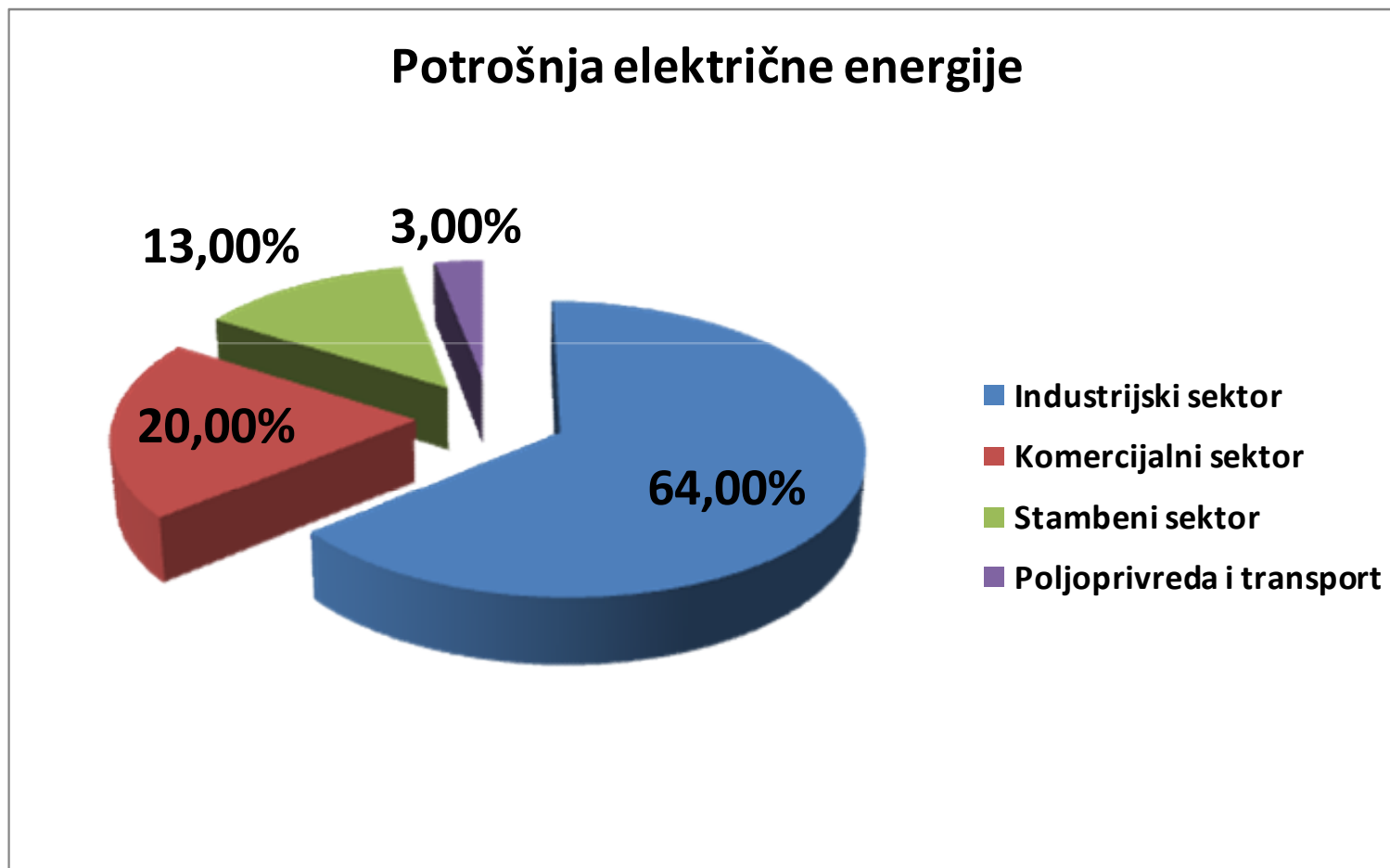
- Rudnike
- Transport goriva
- Regulaciju vodotokova
- Brane

Ekološka pitanja

- ugradnja filtera dimnih gasova
- odlaganje pepela
- odsumporavanje dimnih gasova
- redukcija CO₂.

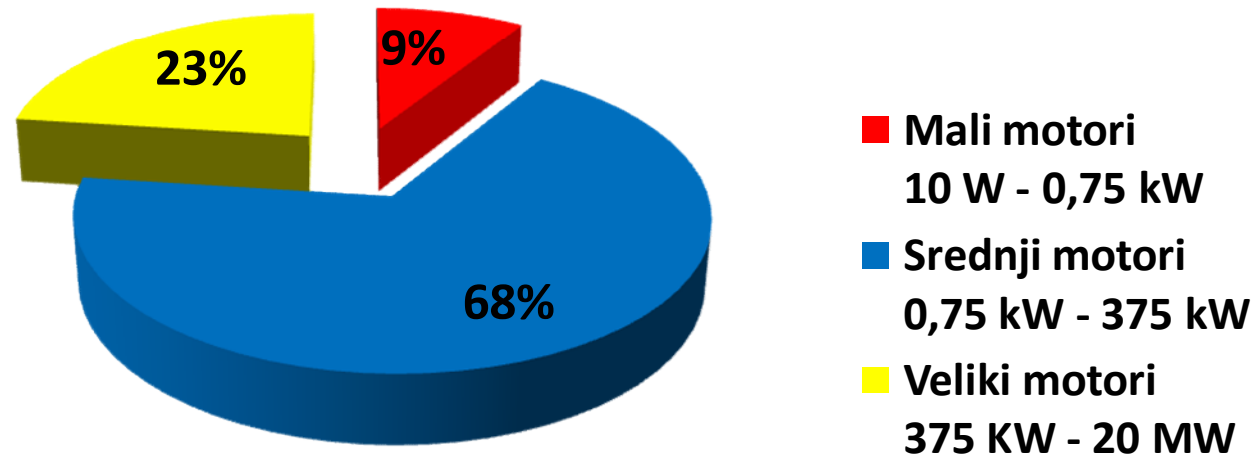


Potrošnja električne energije

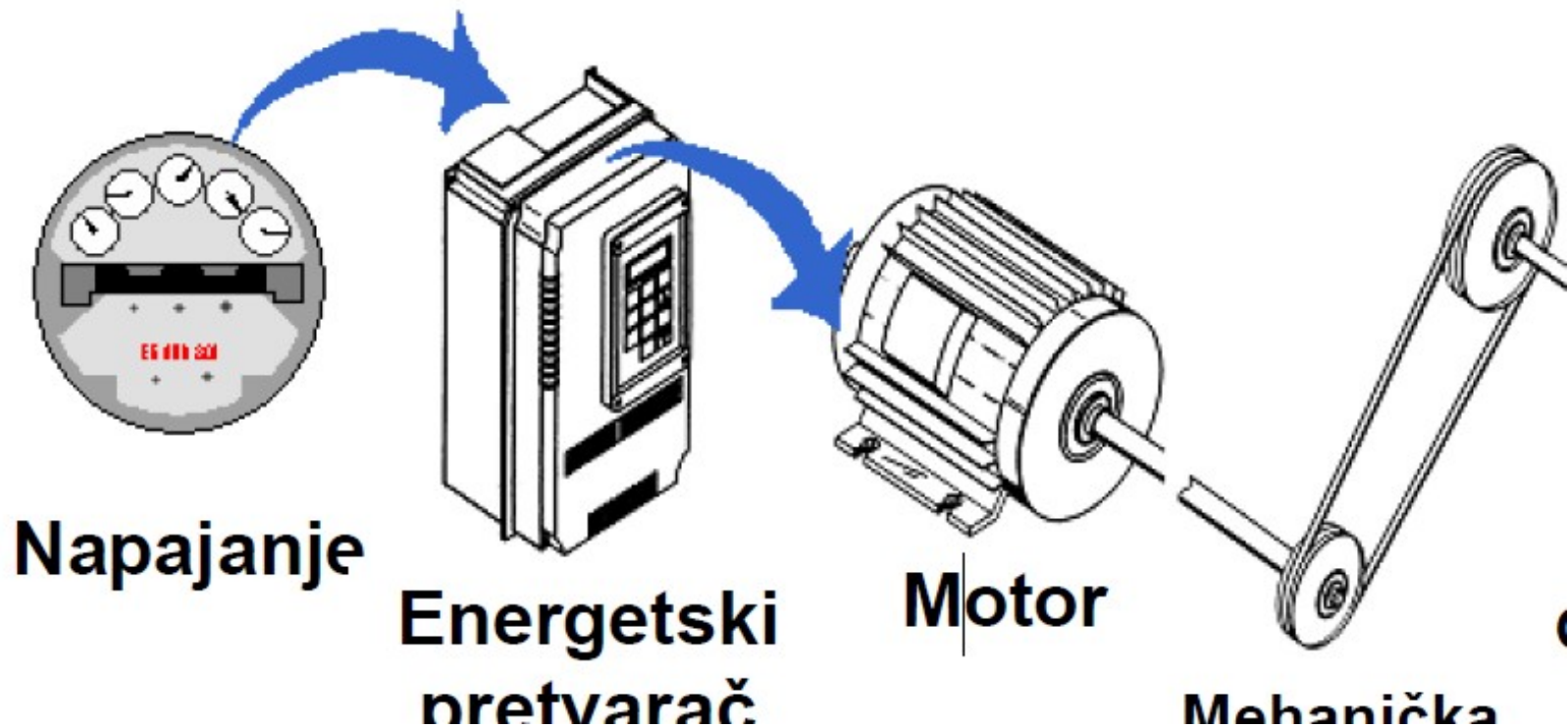


Globalna raspodela potrošnje električne energije u industriji po grupama motora

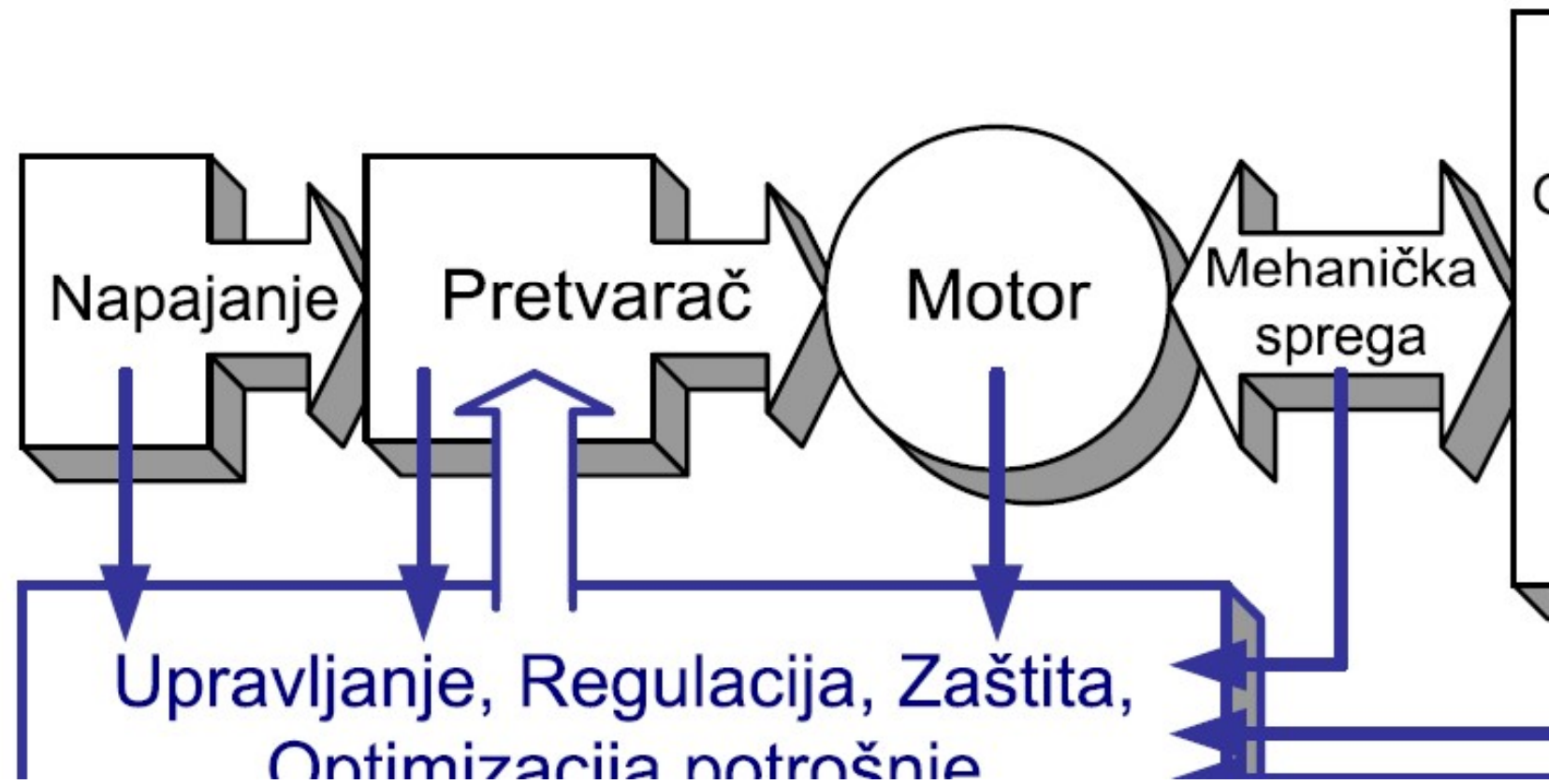
Potrošnja električne energije pojedinih grupa motora od ukupne električne energije koju potroše svi motori u svetu [1]



Šta čini jedan elektromotorni pogon?



Regulisani elektromotorni pogon



Kako se može povećati EE pogona?

- Sa strane napajanja;
- U pretvaraču;
- Izborom EE motora;
- Korišćenjem EE mehaničkog prenosnika;
- U procesu, rad u EE radnoj tački

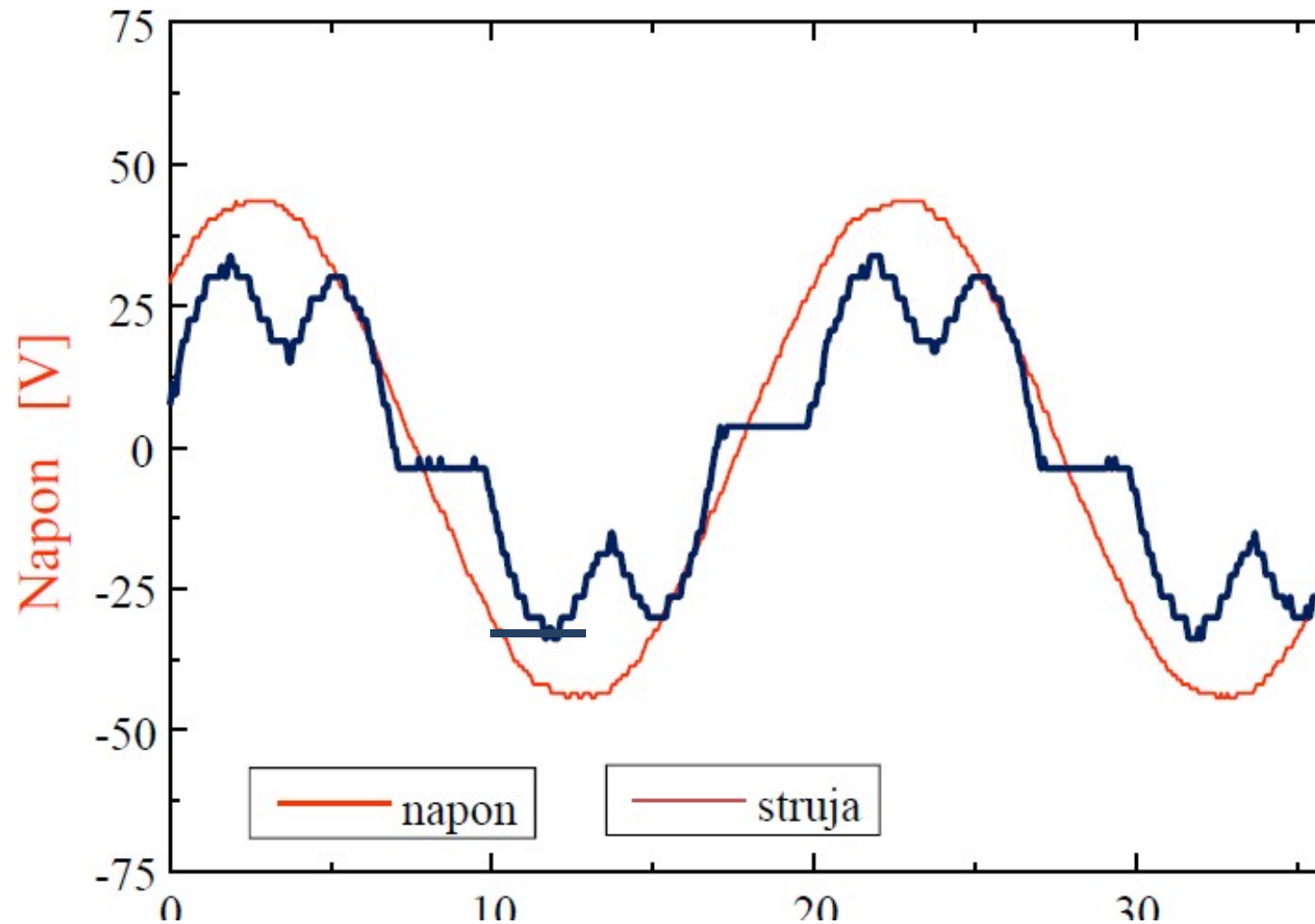
Napajanje

1. Smanjenje gubitaka u prenosu.
 - Pravilan izbor opreme.
 - Distribucija pogona u postrojenju.
2. Popravka faktora snage
 - Smanjenje ukupne struje a time i gubitaka.
 - Ugradnja kompenzatora reaktivne energije.
 - Finansijski efekat.
3. Vršno opterećenje.
 - Strujni udari povećavaju gubitke u proizvodnji i prenosu.
 - Brža amortizacija distributivnog sistema.
 - Finansijski efekat.
4. Izobličenje talasnog oblika struje
 - Viši harmonici.

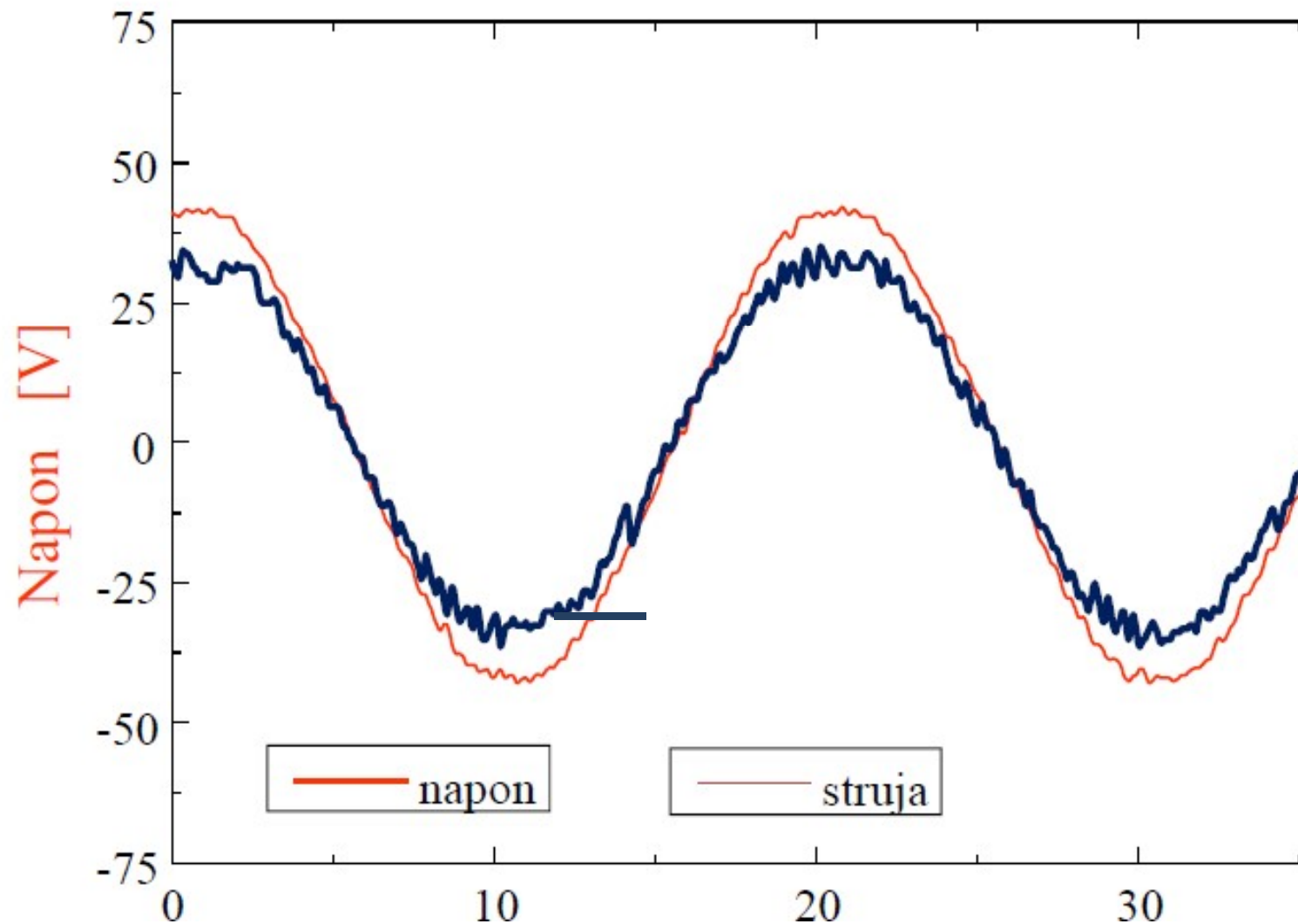
Napajanje – talasni oblik struje

- Uštede u napajanju se mogu ostvariti primenom regulisanih (aktivnih) ispravljača umesto diodnih.
- Mogu se koristiti i konfiguracije sa aktivnim fileterima viših harmonika (low harmonic drive)
- Prednosti su:
 - Faktor snage blizu 1
 - Mogućnost rekuperacije energije
 - Sinusni talasni oblik struje, eliminacija viših harmonika.
- Mane:
 - Visoka cena

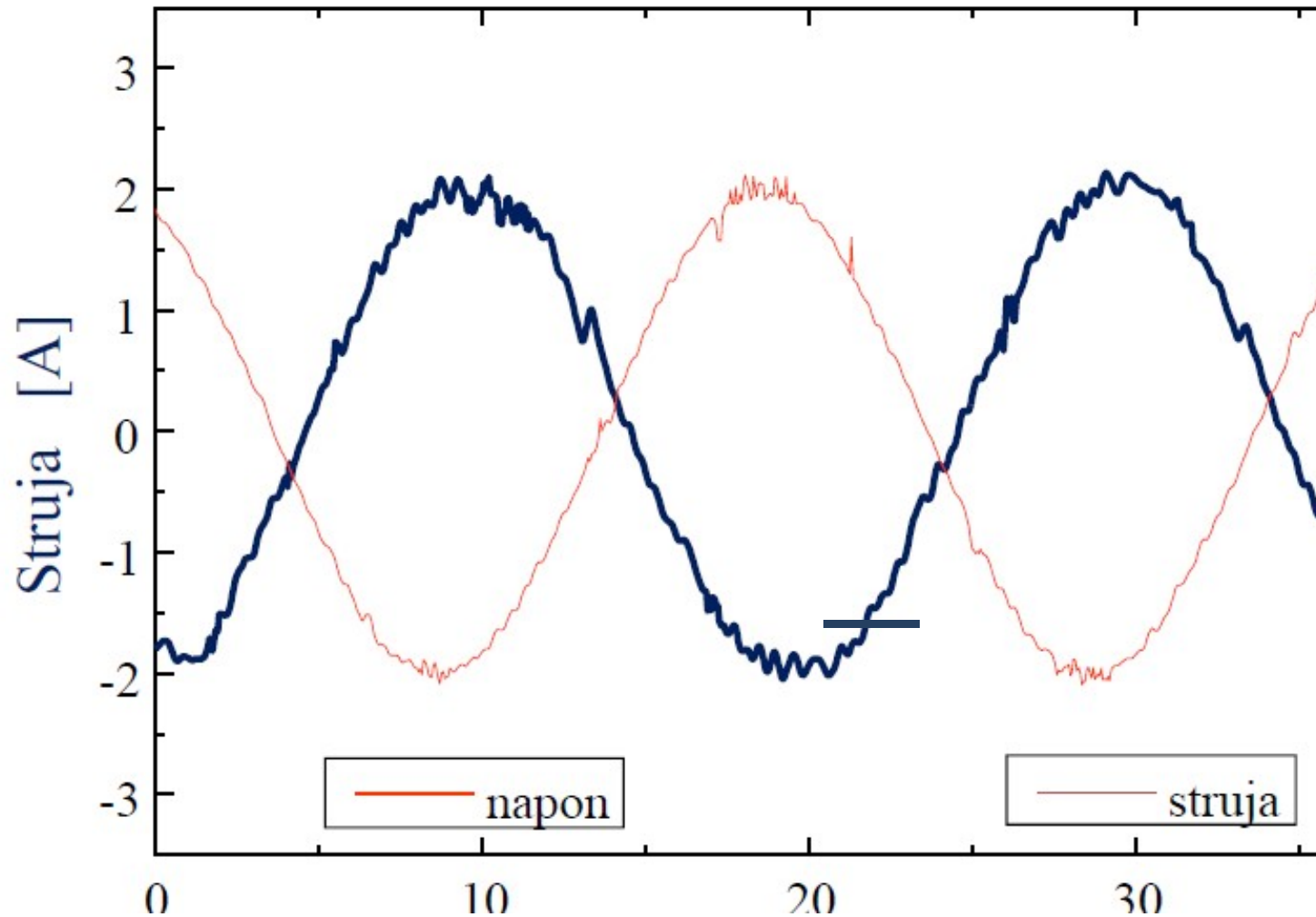
Napajanje iz diodnog mosta



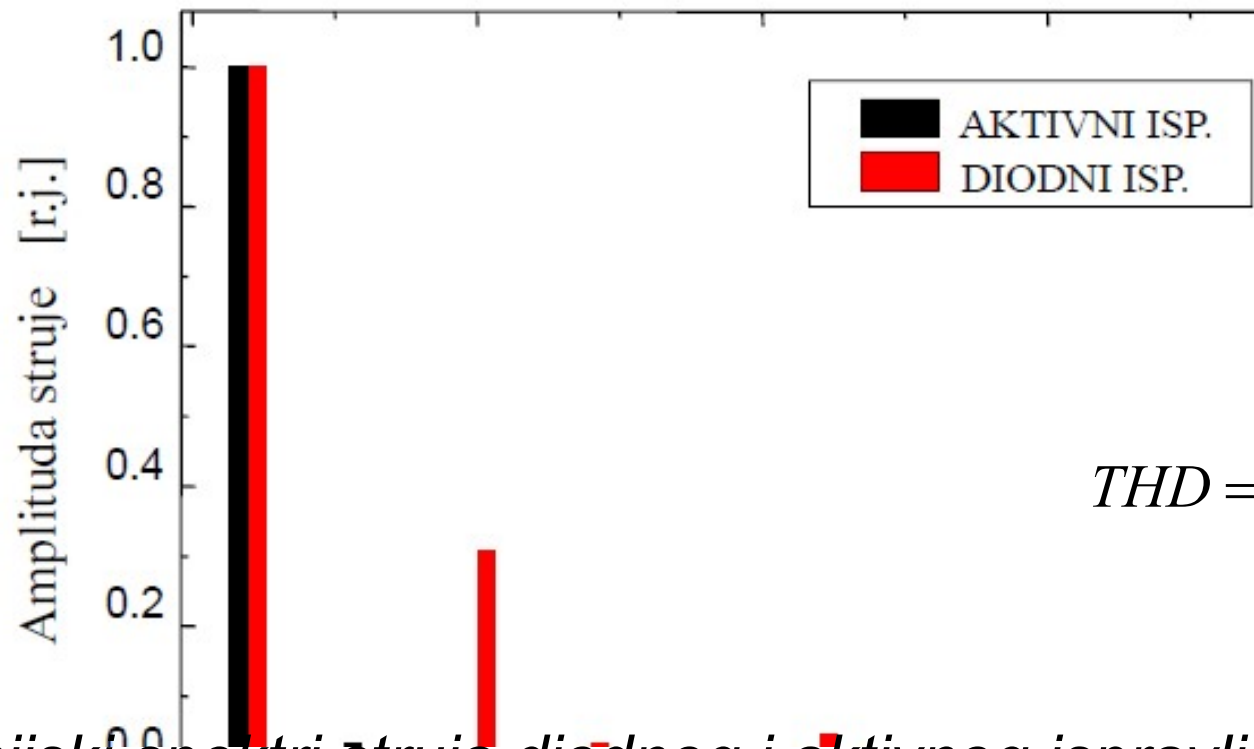
Napajanje pomoću aktivnog ispravljača



Napajanje pomoću aktivnog ispravljača



Harmonijski sastav struja ispravljača



$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

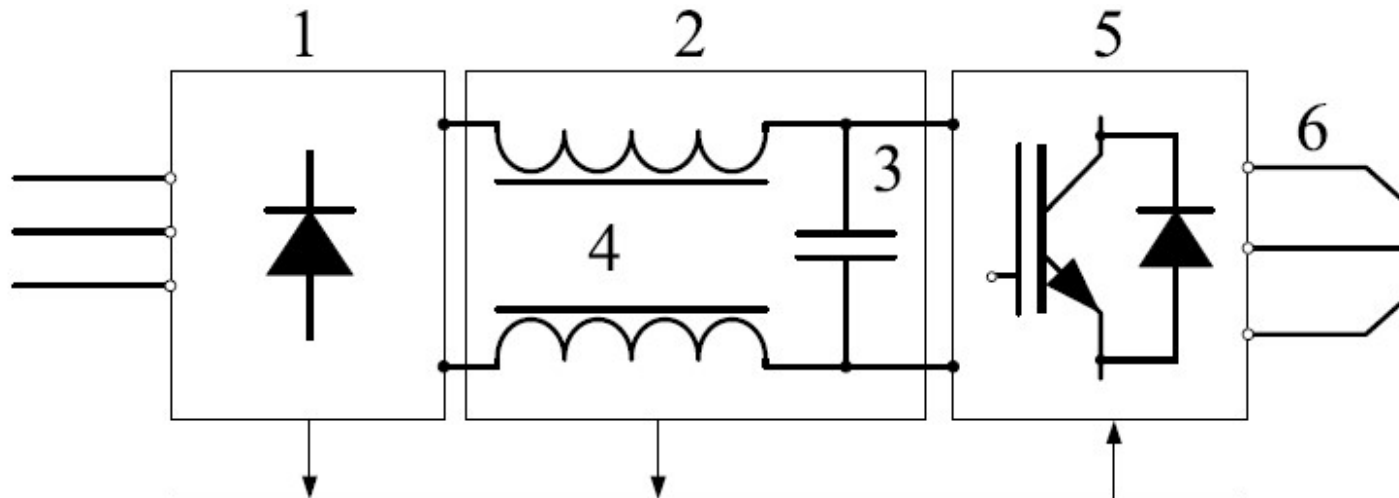
Harmonijski spektri struja diodnog i aktivnog ispravljača

Tip ispravljača	THDI
Diodni ispravljač	32 %
Aktivni ispravljač	7,71 %

Frekventni pretvarači

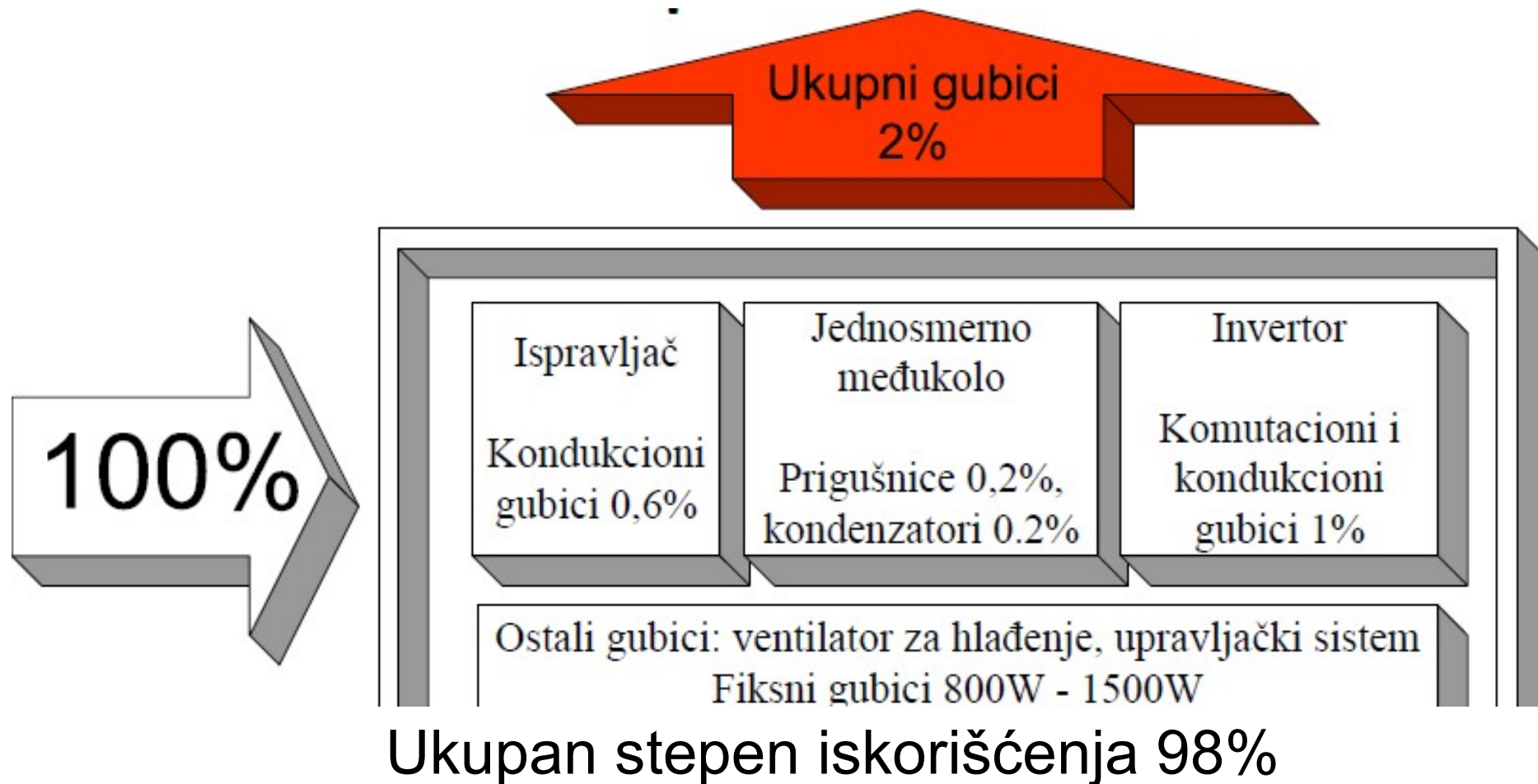
- Energetska elektronika.
- Prekidački režimi rada.
- Gubici u prekidačima.
- Gubici u pasivnim elementima, prigušnicama i kondenzatorima
- Uštede povećanjem prekidačke učestanosti.
 - 100 – 300Hz
 - Nekoliko kHz.
 - Nekoliko desetina kHz.
- Danas gubici oko 2% - problem hlađenje.

Struktura frekventnog pretvarača



- 1 – Trofazni ili monofazni ispravljač, najčešće diodni most
 - 2 – Jednosmerno međukolo
 - 3 – Kondenzator
 - 4 – Prigušnice
- } Smanjuju sadržaj viših harmonika napona odnosno struje u jednosmernom međukolu
- 5 – Invertor sa IGBT tranzistorima
 - 6 – Priključci motora
 - 7 – Kontrolna kartica

Raspodela gubitaka u frekventnom pretvaraču



Motori

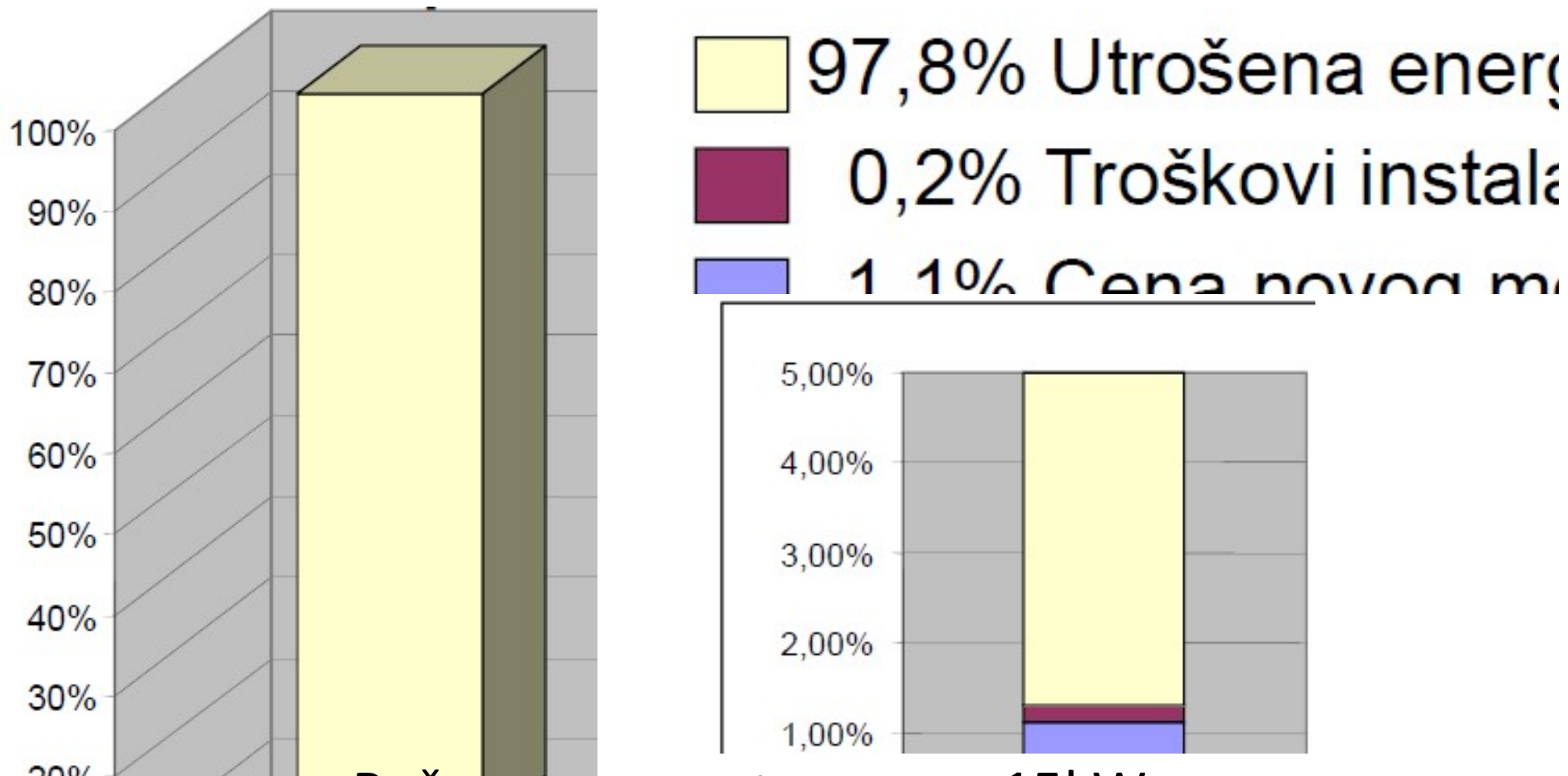
- Stepen iskorišćenja motora kreće se od 70% kod veoma malih motora, do 95 kod motora većih snaga.

Snaga motora	Nominalna brzina	Godina proizvodnje	Stepen iskorišćenja
15kW	1450 o/min	1979. god.	87 %
15kW	1460 o/min	2005. god.	90 %
15kW	1460 o/min	2005. god.	92 %



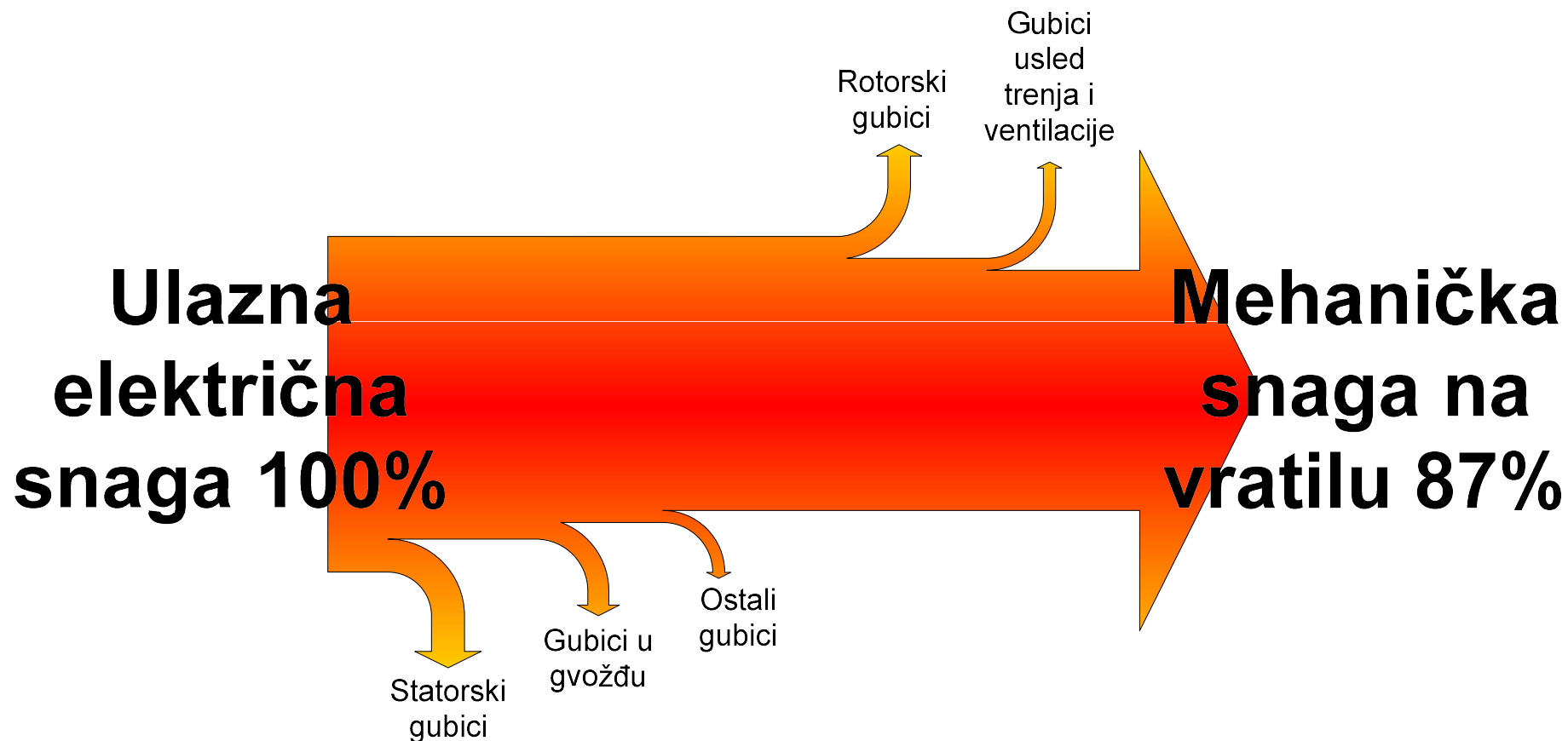
- Poboljšanje stepena iskorišćenja usavršavanjem konstrukcije motora.

Troškovi motora u toku eksploatacionog veka

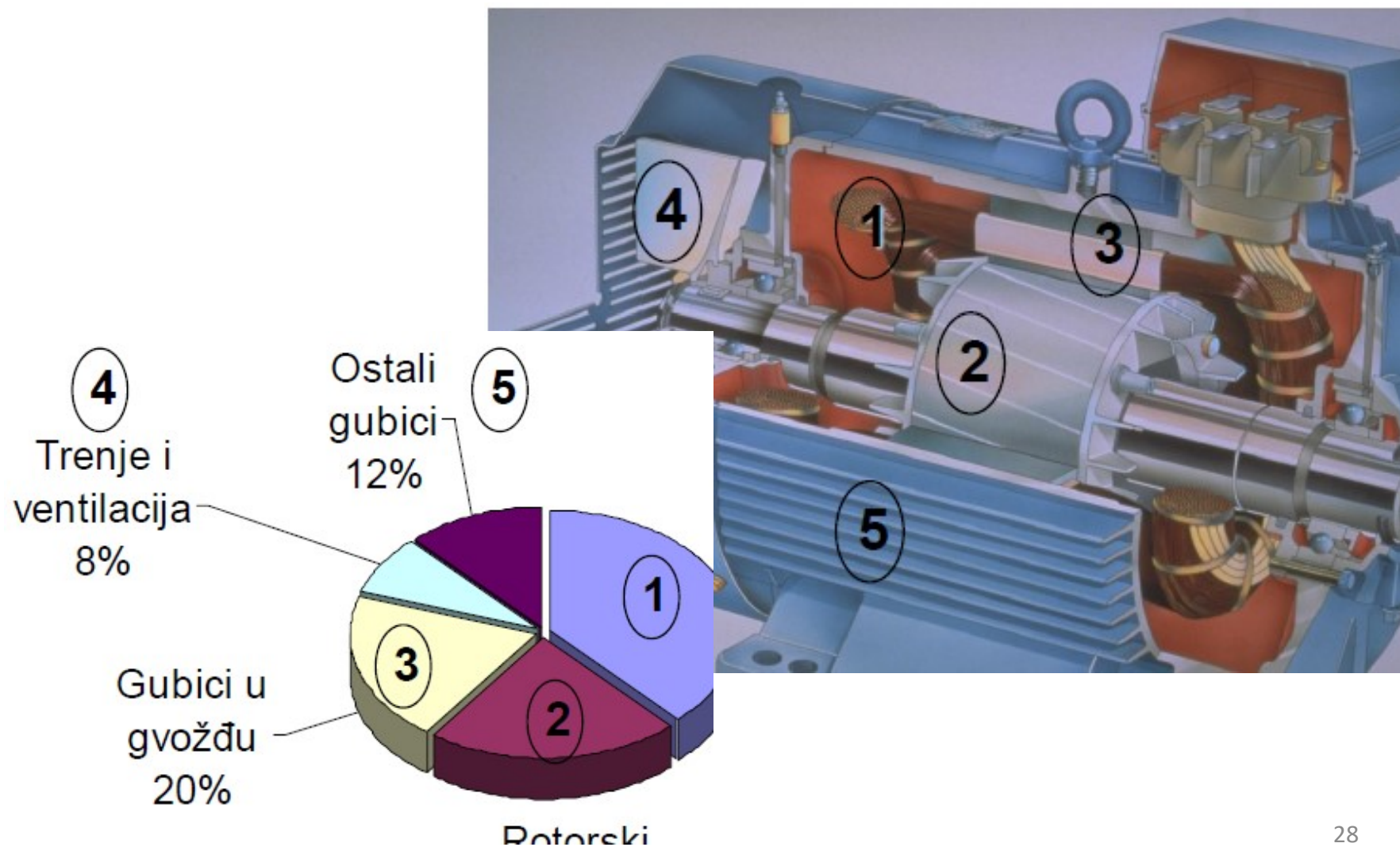


Računato za motor snage 15kW,
3000 sati/godišnje, u toku 10 godina

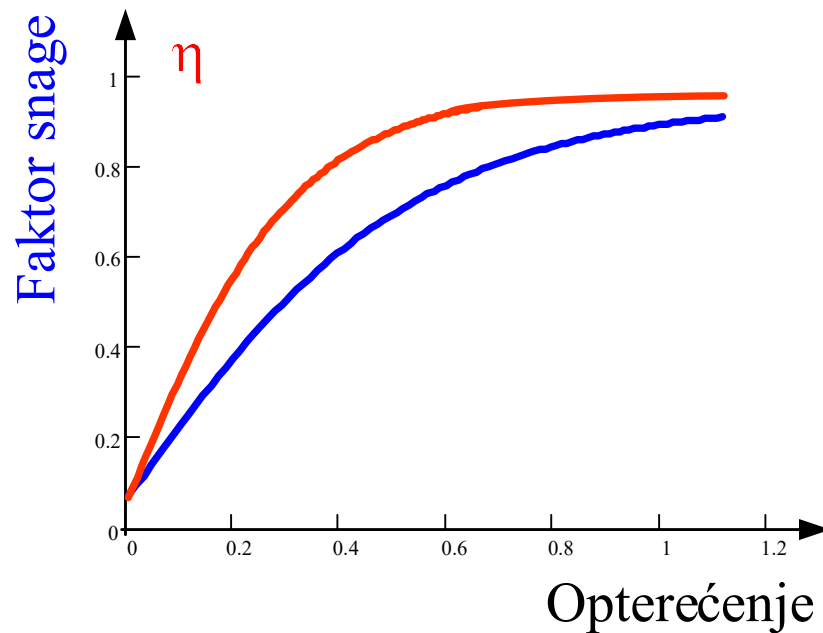
Raspodela gubitaka u asinhronom motoru



Raspodela gubitaka u asinhronom motoru



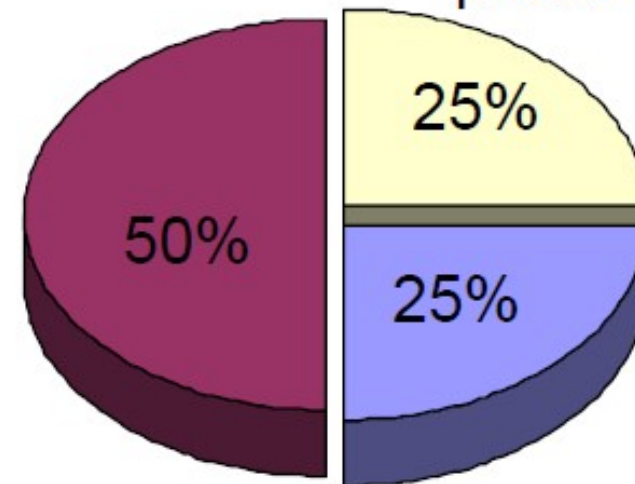
Efikasnost i faktor snage zavise od opterećenja



Ukupan broj motora u ind

Srednje opterećenje od 30% do 60%

Odgovaraj opterećenje preko 60%

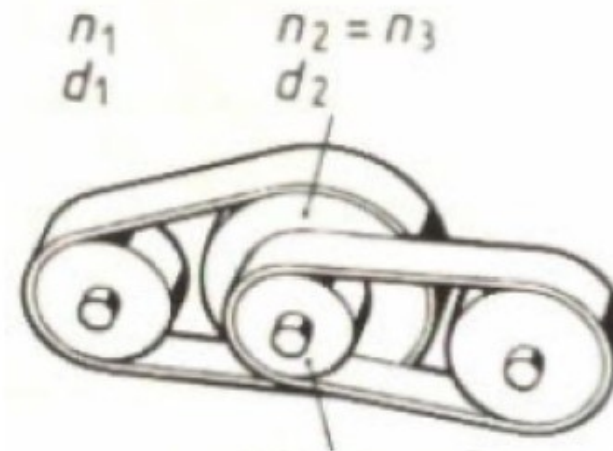
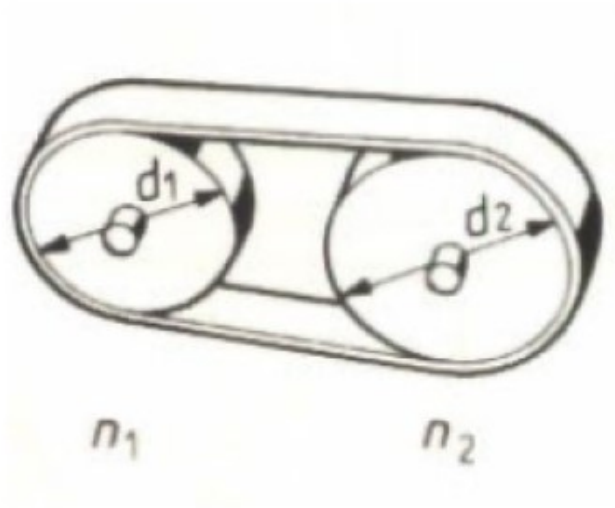


Veoma n



Prenosnici

snici



Prenosnici - zupčasti

- Direktan prenos
 - Efikasnost od 99% - 100%
 - Prednost: Visoka efikasnost
 - Mana: Može doći do oštećenja u slučaju loše centriranosti.
- Zupčasti prenos (Paralelni, pod uglom, višestepeni)
 - Efikasnost 90% - 98%
 - Prednost: Širok opseg prenosnih odnosa, konstrukcija
 - Mane: Veća efikasnost za veće snage i manje prenosne odnose
- Pužni prenos
 - Efikasnost od 55% do 94%
 - Prednost: Jako veliki prenosni odnos
 - Mane: Mala efikasnost, Prenos energije samo u jednom smeru.

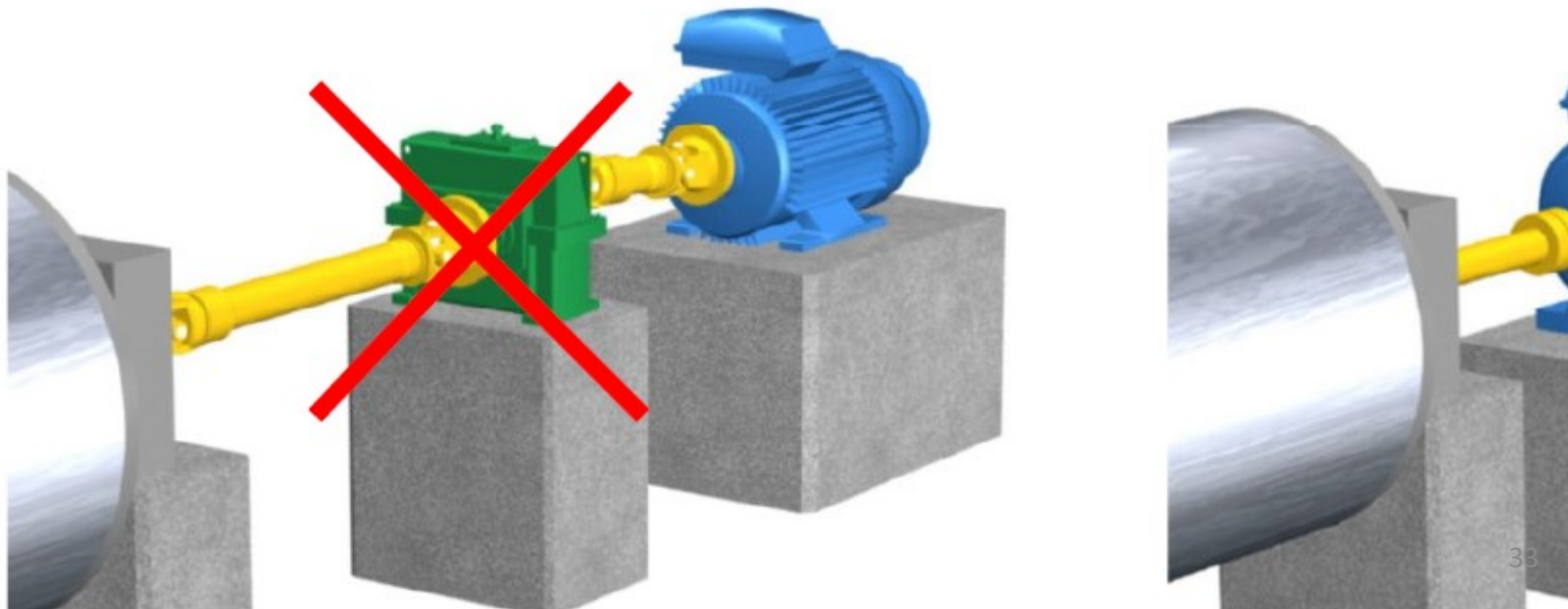
Prenosnici sa kaiševima i lancima

- Klinasti kaiš
 - Efikasnost od 90% - 96%
 - Prednost: Trpi nagla opterećenja, zaglavljivanja motora
 - Mana: Efikasnost pada ispod 90% ako se ne održavaju
- Pljosnati kaiš
 - Efikasnost 96% - 99%
 - Prednost: Visoka efikasnost za velike brzine
 - Mane: Visoka cena
- Lanac i lančanik
 - Efikasnost oko 98%
 - Prednost: Podnosi nagla opterećenja, visoke temperature
 - Mane: Zahteva održavanje, buka.

Eliminacija prenosnika

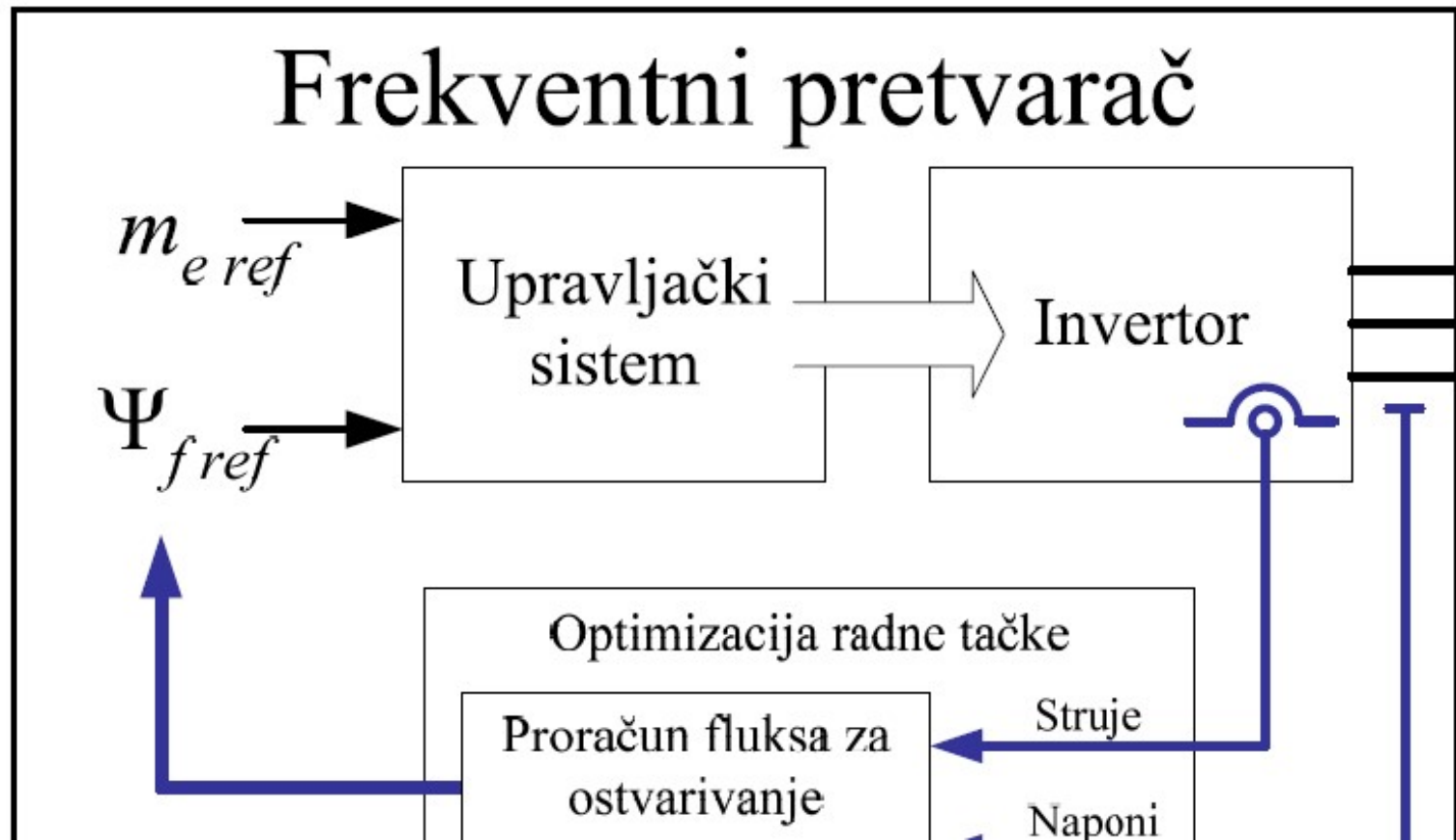
- Zahvaljujući mogućnostima regulisanih pogona, uz adekvatno dimenzionisanje opreme, može se koristiti

DIREKTAN PRENOS



Optimizacija radne tačke motora

M ~ fluks x struja



EE radna tačka

- Mogućnost izbora EE radne tačke zavisi od:
 - vrste opterećenja,
 - tehnološkog procesa,
 - uslova rada,
 - kapacitivnog iskorišćenja postrojenja.
- Mogućnost izbora EE radne tačke bazira na pronalaženju optimalnog odnosa brzine i momenta.

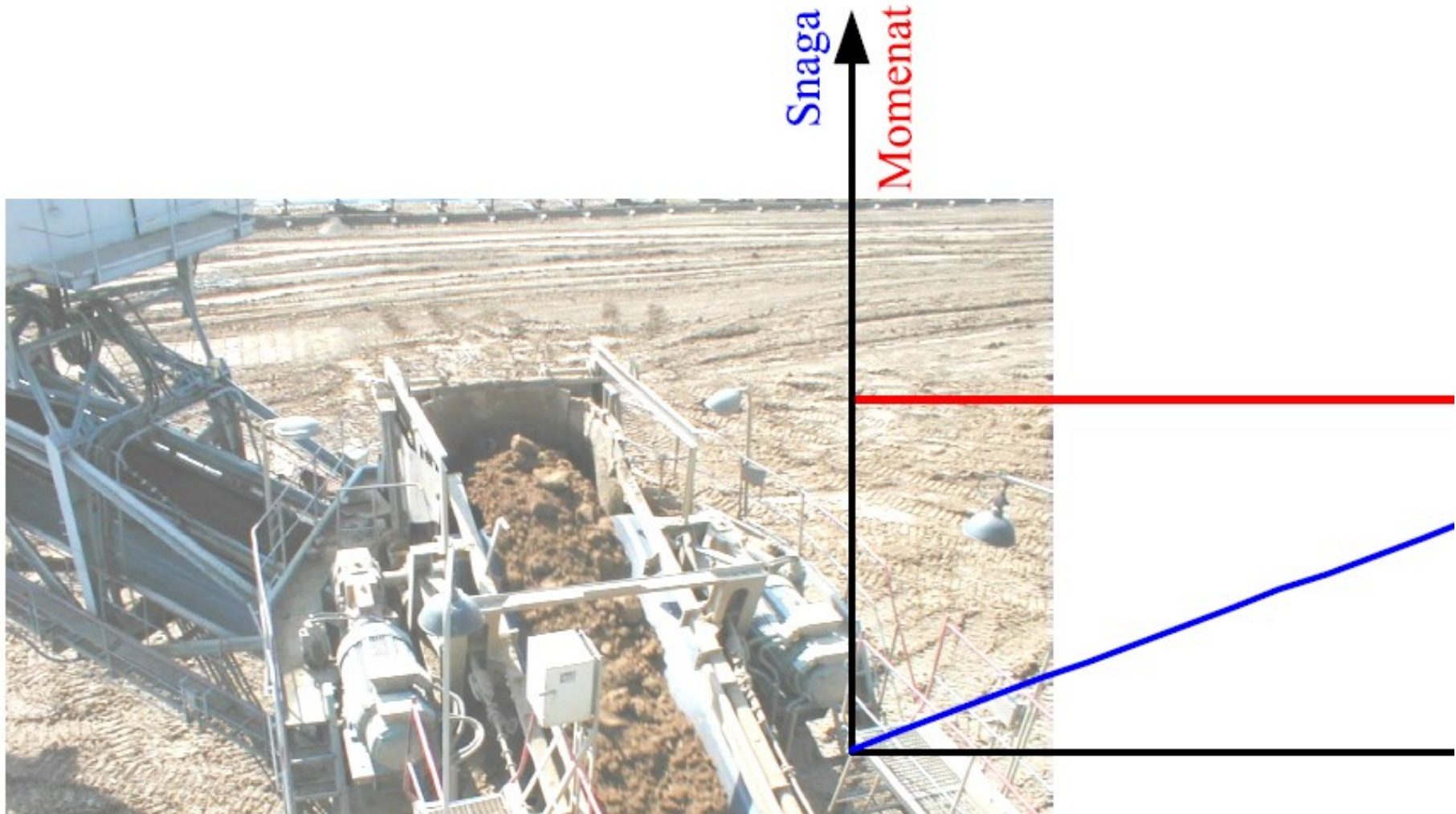
$$\textit{snaga} = \textit{brzina} \times \textit{momenat}$$

***min snaga = optimalna brzina x optimalan
momenat***

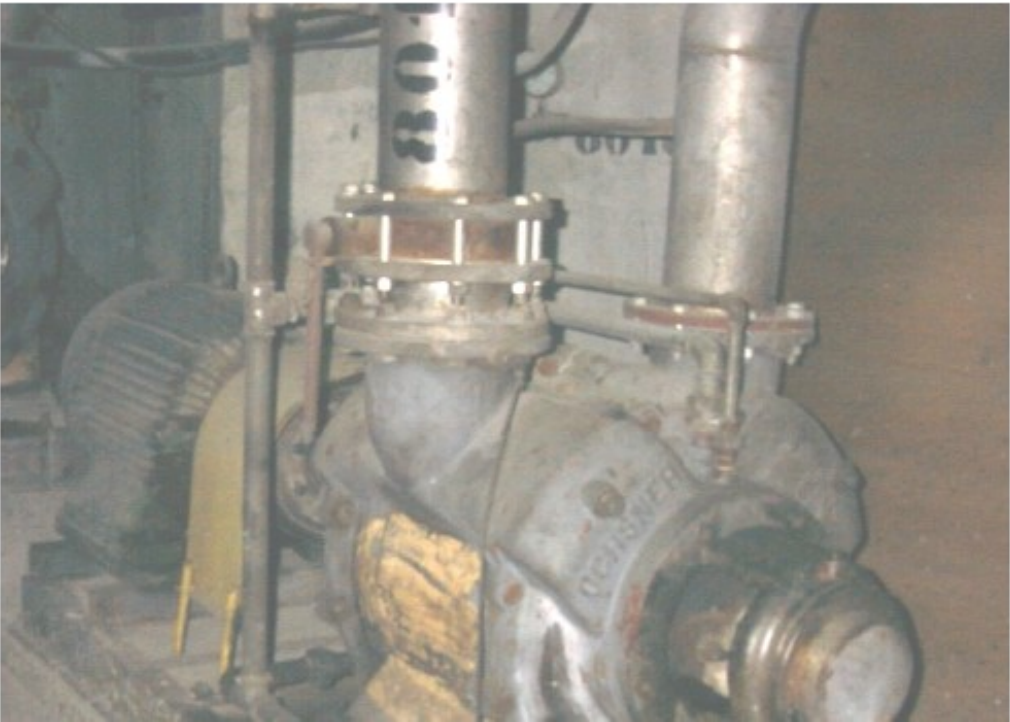
Pregled karakteristika opterećenja za različite tehnološke procese

- Tračni transporteri
 - Momenat opterećenja ne zavisi od brzine
 - Snaga zavisi linearno od brzine
- Pumpe, ventilatori
 - Momenat opterećenja zavisi kvadratno od brzine
 - snaga zavisi kao kubna funkcija brzine
- Papir mašine, kalandri
 - Momenat opterećenja zavisi linearno od brzine
 - snaga zavisi kvadratno od brzine
- Dizalice, liftovi
 - Momenat opterećenja ne zavisi od brzine dizanja
 - Snaga zavisi linearno sa brzinom
- Odmotači, alatne mašine
 - Momenat opterećenja opada sa brzinom
 - snaga ne zavisi od brzine (konstantna snaga)

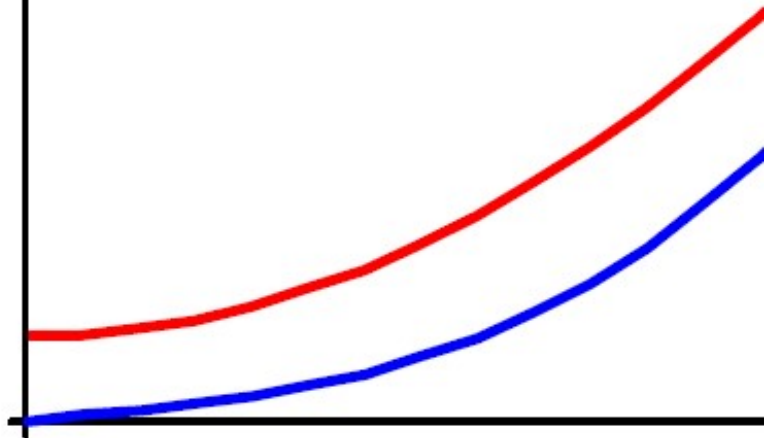
Tračni transporteri



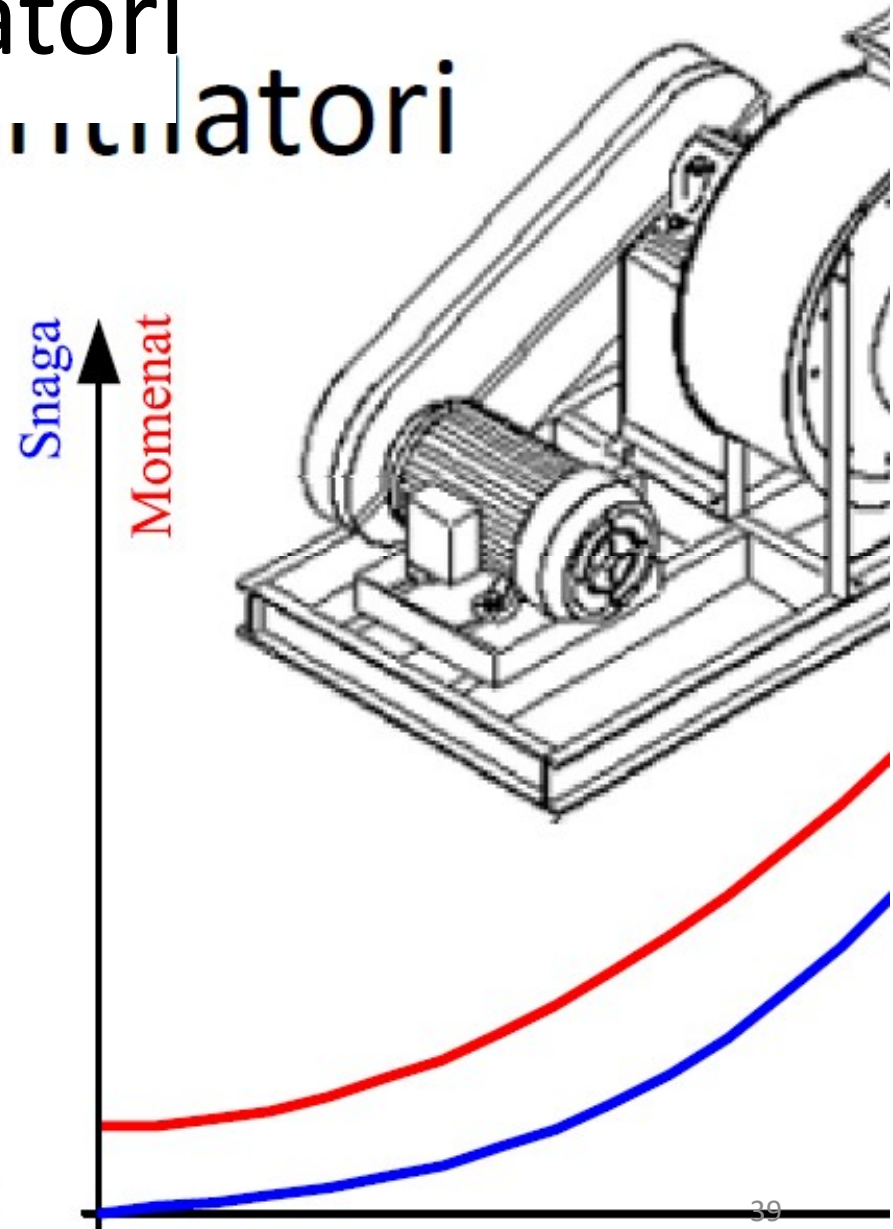
Pumpe mpe



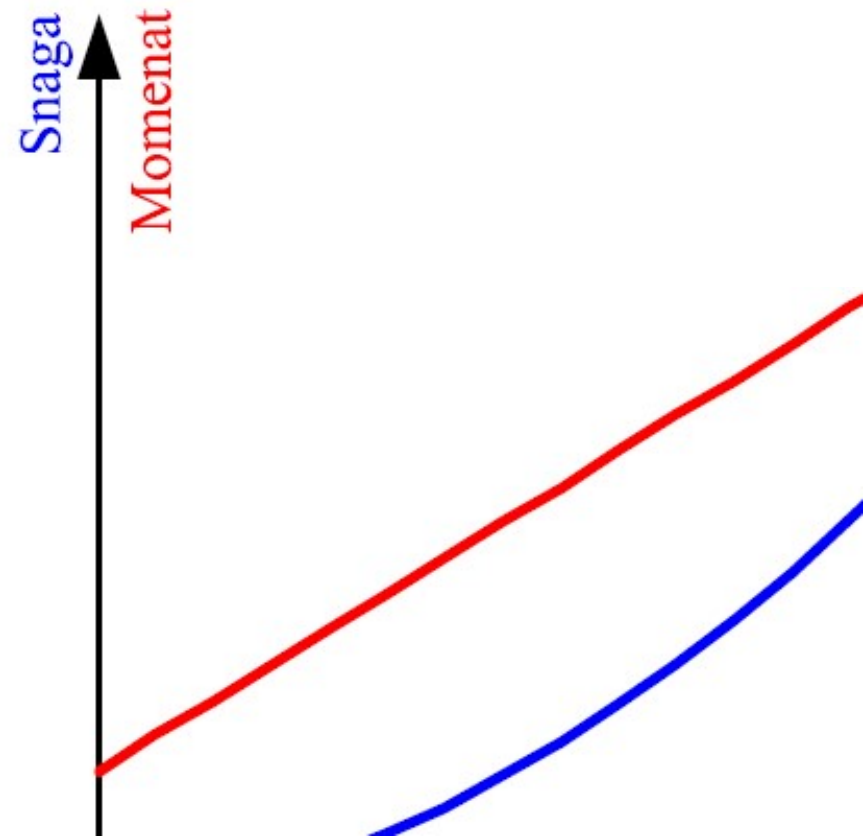
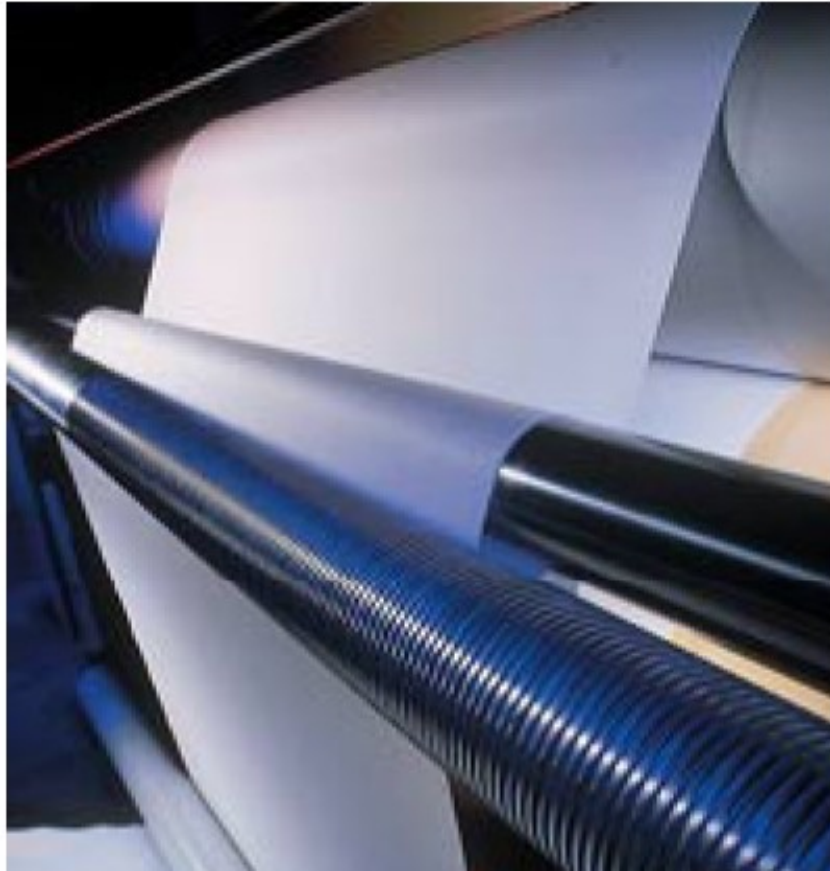
Snaga
Momenat



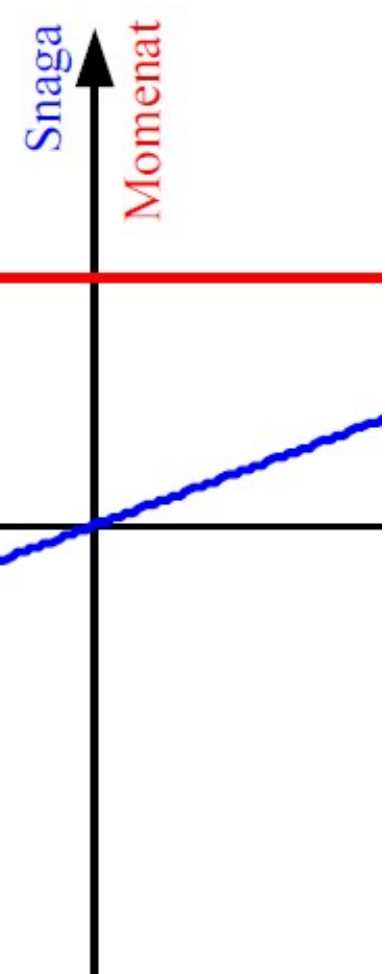
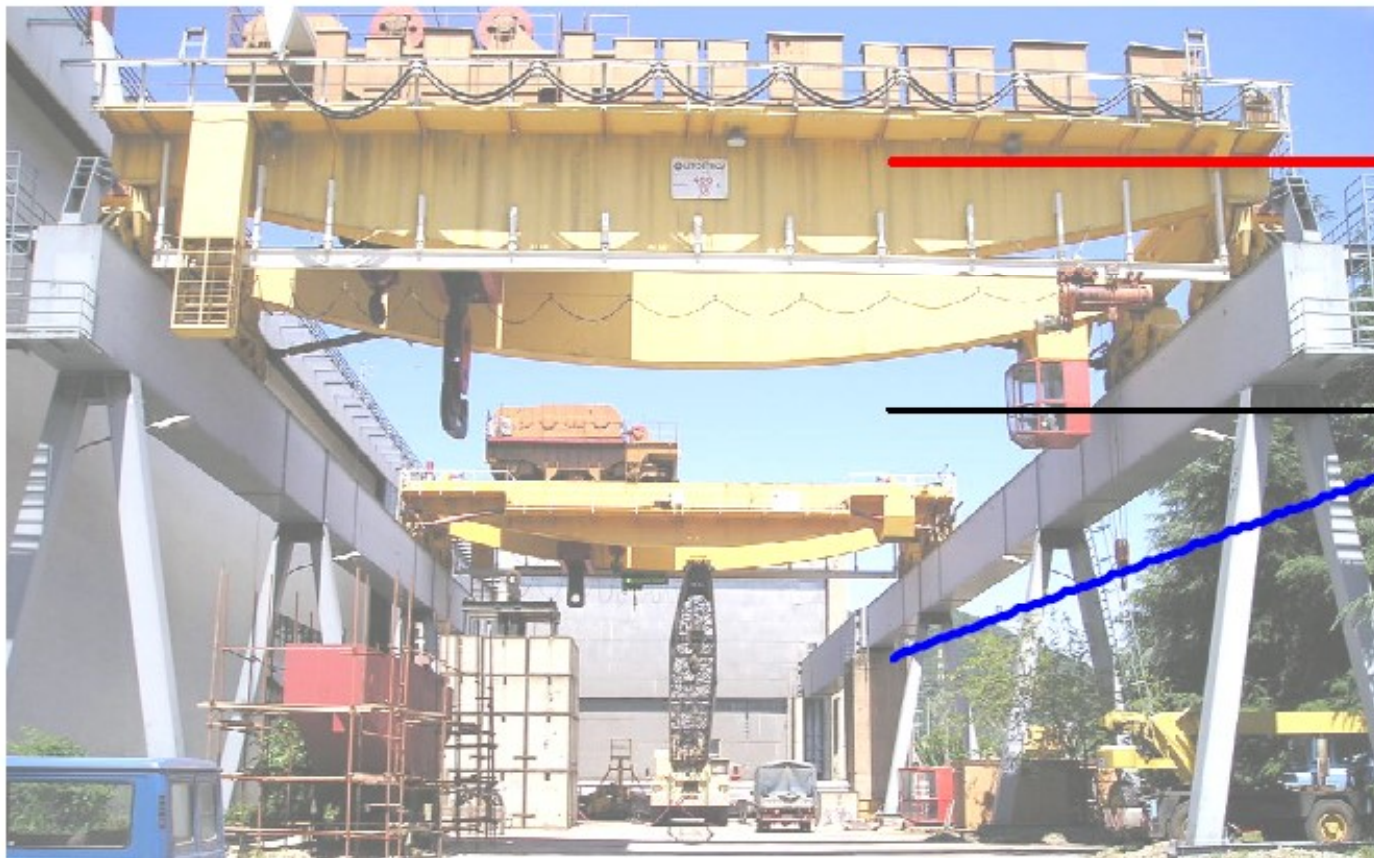
Ventilatori ventilatori



Kalendarska karakteristika opterećenja



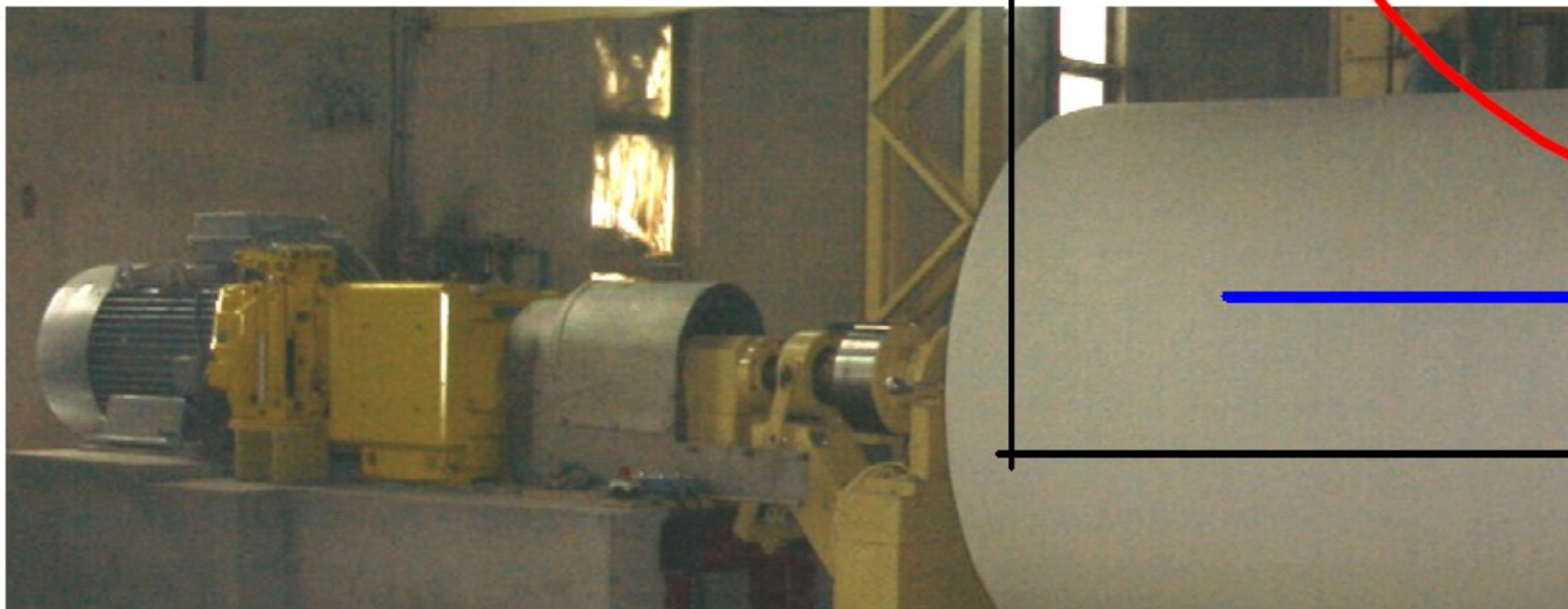
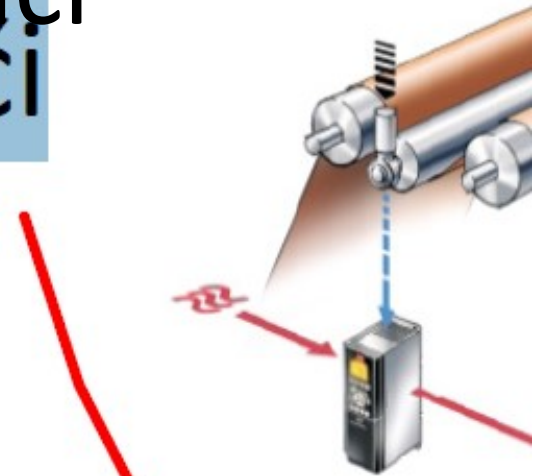
Dizalice



Odmotači, premotači otaci

Snaga

Momenat

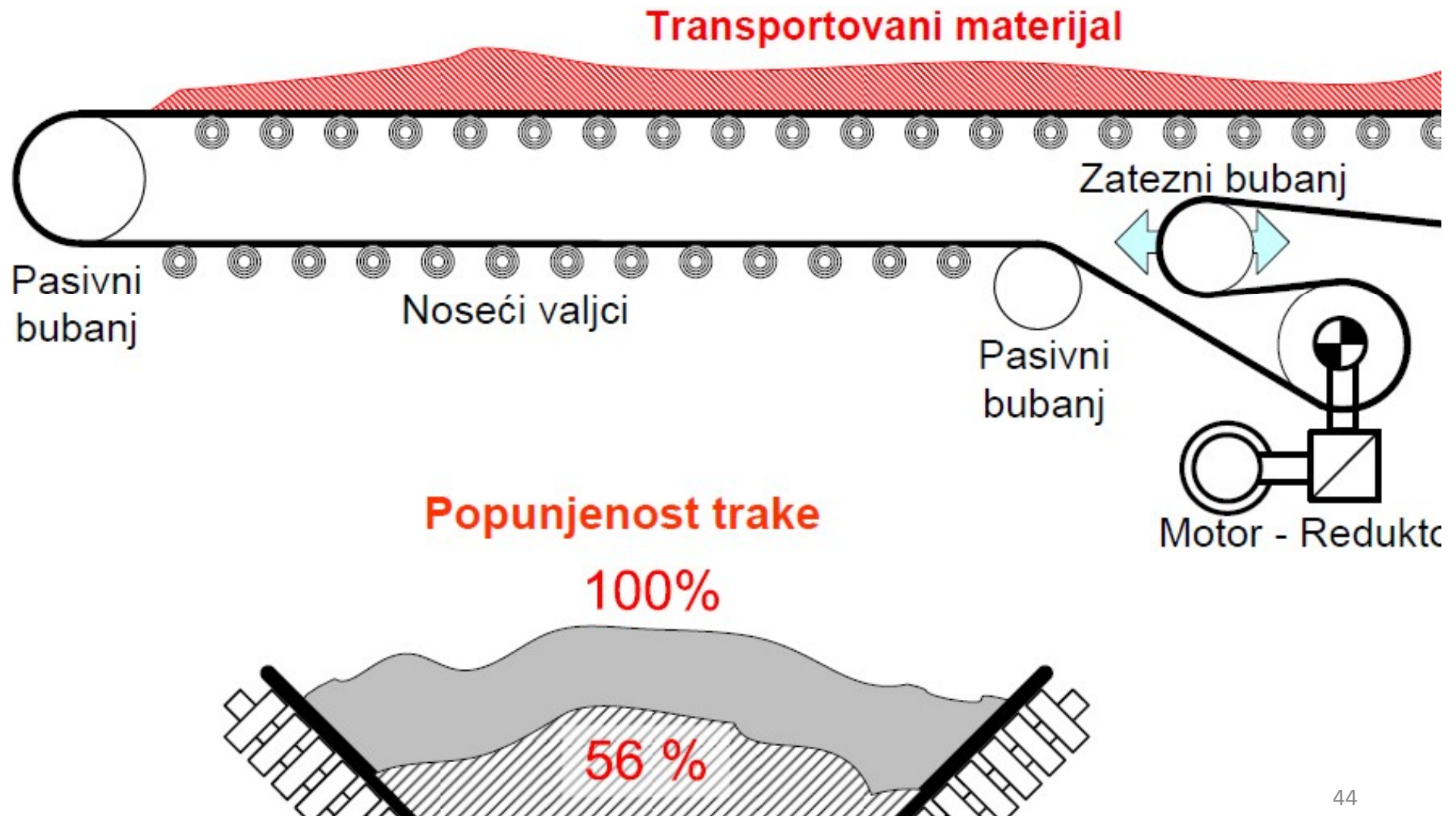


Tračni transporteri

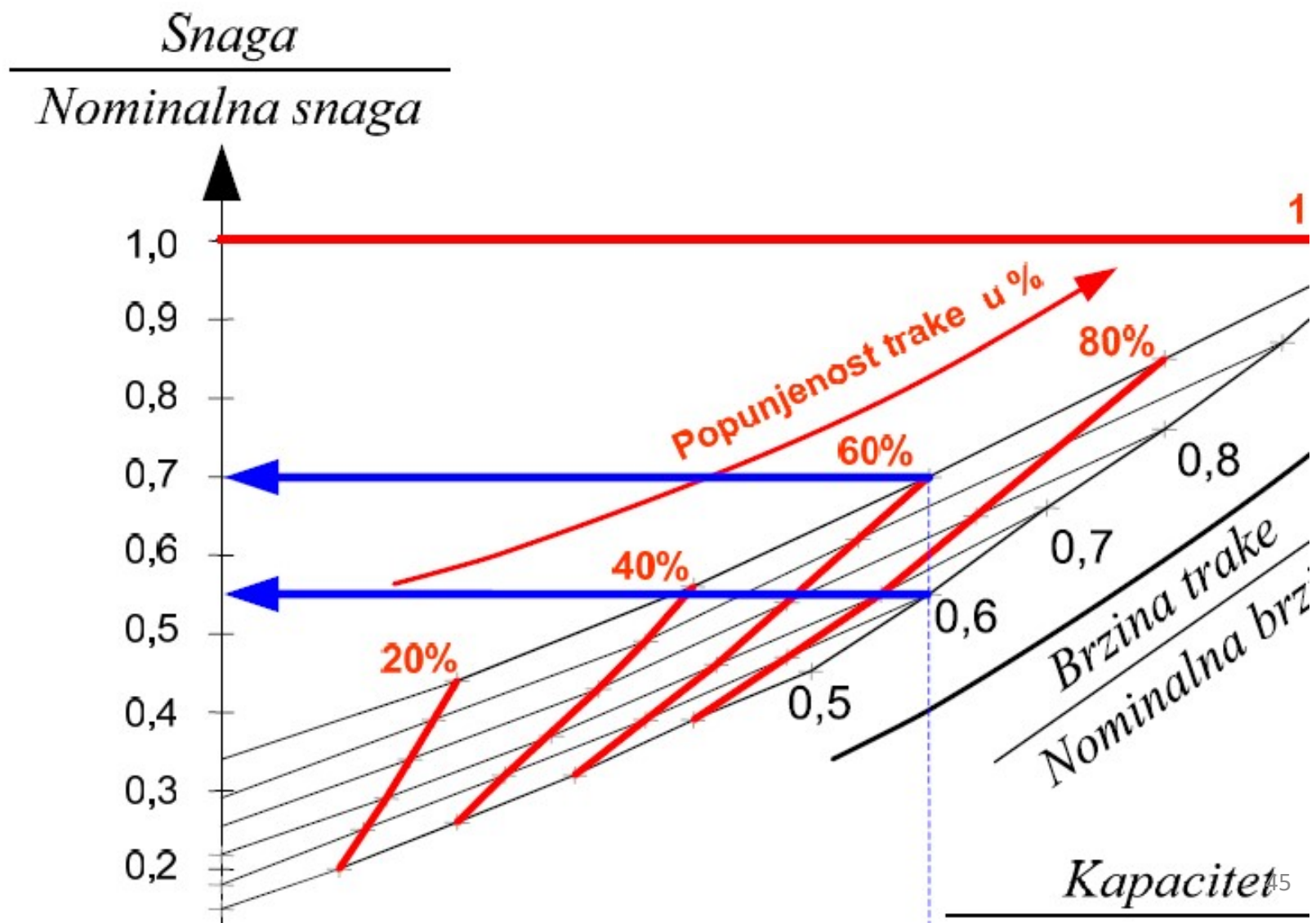
- **Kolubarski basen:**
121 transporter ukupne duž. ≈68km
- **Kostolački basen:**
37 transportera ukupne duž. ≈36 km
- Dva pogonska bubnja po transporteru
- Jedan ili dva motora po bubnju
- Kapacitet $1000\text{m}^3/\text{h}$ do $3000\text{m}^3/\text{h}$



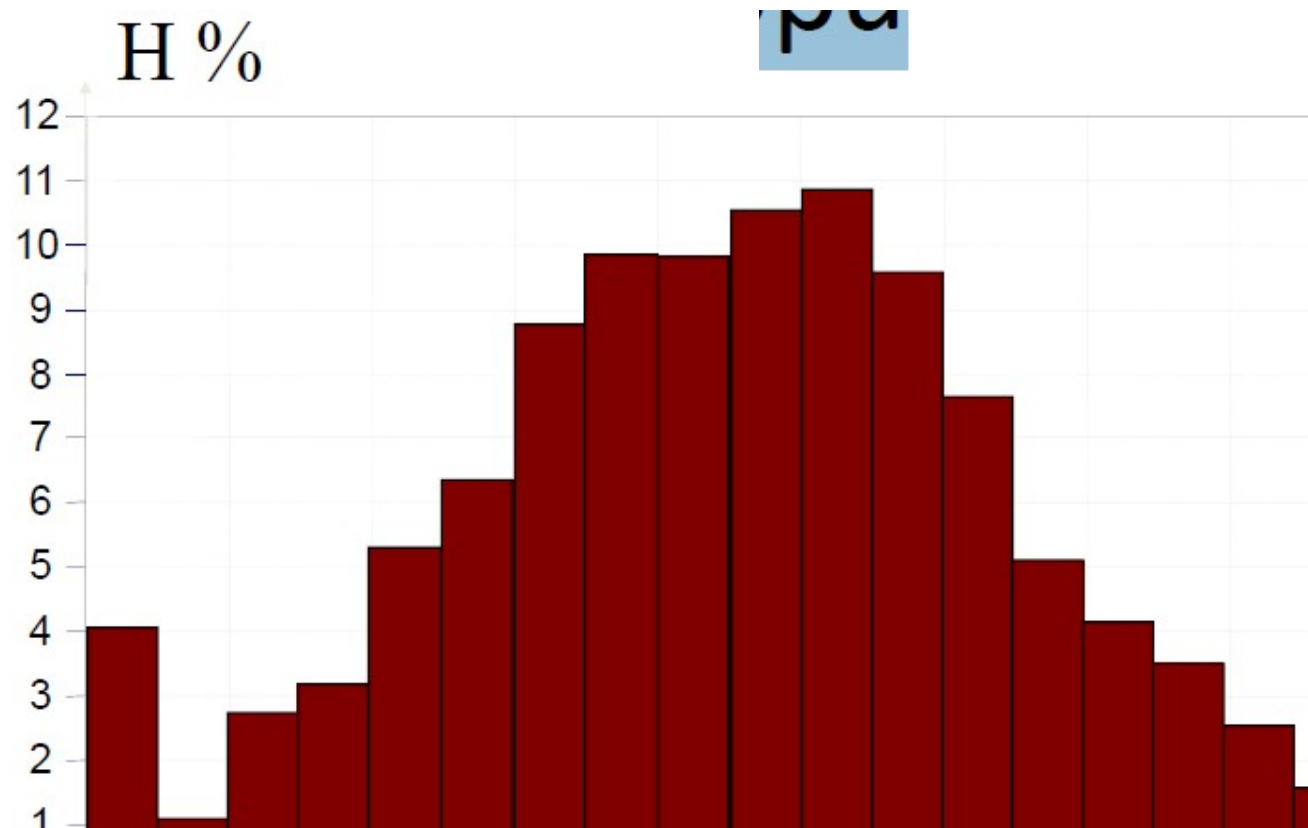
Uštede energije u pogonima tračnih transportera



Isti kapacitet se može preneti različitim brzinama uz različitu popunjenost trake



Kapacitivno iskorišćenje traka na kopu



Iz rudarske dokumentacije, za celokupan površinski kop

Realizacija na površinskom kopu Drmno



Realizacija na površinskom kopu Drmno



Unutrašnjost frekventnog
pretvarača



Frekventni pretvarači
višemotornog pogona

Eksploatacione karakteristike pogona sa frekventnim pretvaračem

- Smanjene potrebe za održavanjem
- Sofisticirana zaštita motora
- Smanjeno naprezanje i habanje
- Pravilna raspodela opterećenja pogona
- Smanjena potrošnja energije
- Mogućnosti koje nisu dostupne sa drugim pogonskim rešenjima

Postrojenje za odvodnjavanje rudnika

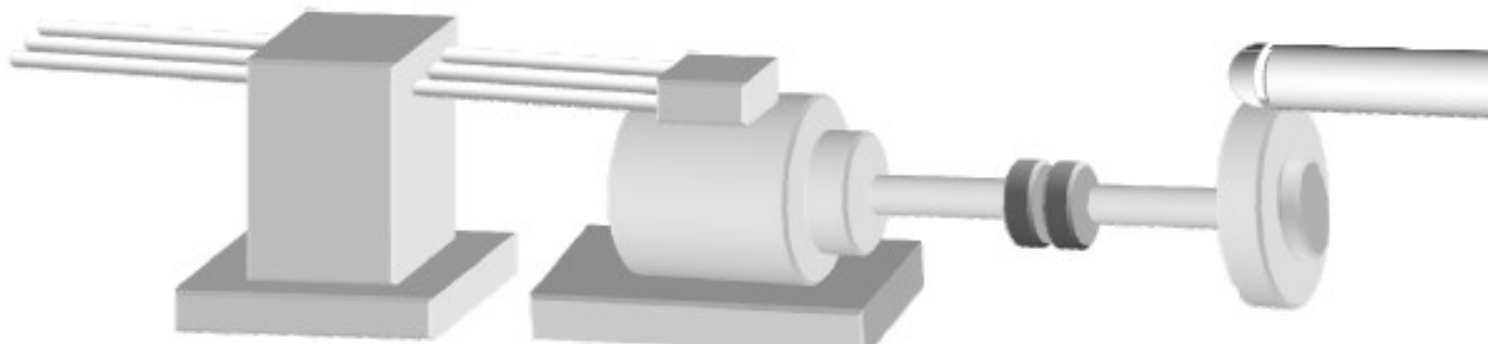
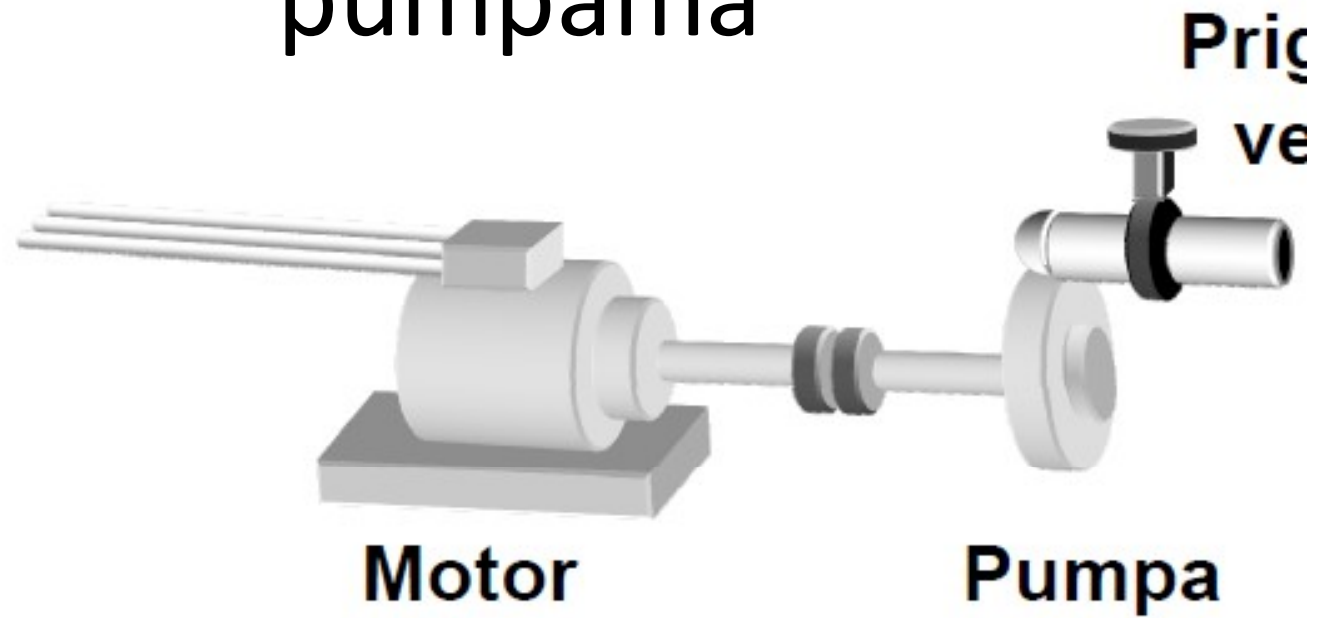
- Instalirana snaga pumpi čini samo 5% instalirane snage potrošača površinskog kopa.
- Tehnološki proces odvodnjavanja (pumpanja) traje 24 sata dnevno, 365 dana godišnje.
- Pumpni sistemi učestvuju sa skoro 20% u potrošnji energije svih pogona na površinskom koku Dr



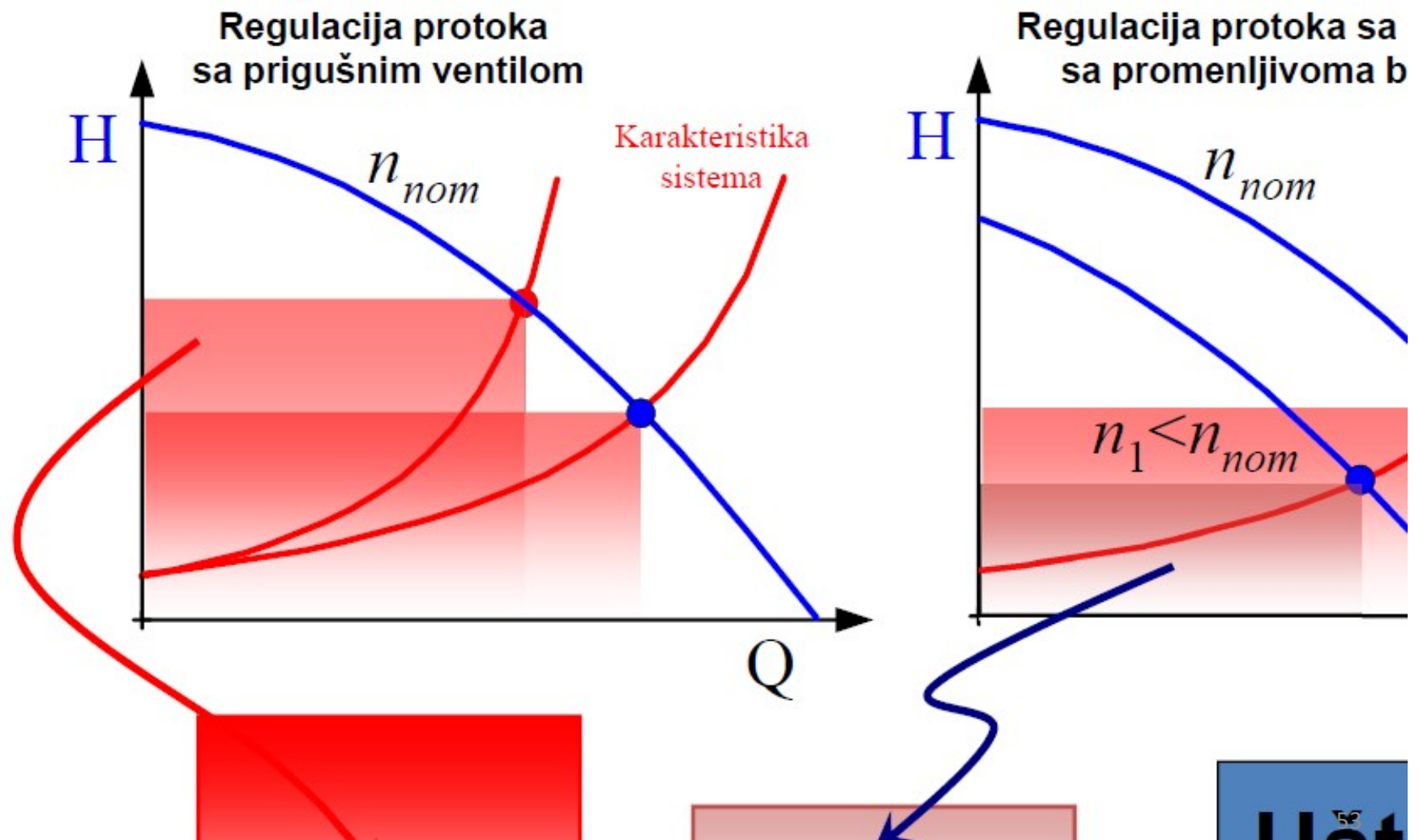
Površinski kop Drmno, PD TE-KO Kostolac

- Drenažnim bunarima i površinskim odvodnjavanjem ispumpa se 25.000.000 m³ vode godišnje
- Projektovana proizvodnja uglja - 9 miliona tona godišnje (cena svake tone uglja je opterećena troškovima odvodnjavanja 2,8 m³ vode)
- Neefikasno odvodnjavanje indirektno utiče na:
 - smanjenje proizvodnog kapaciteta rudarskih mašina utičući na porast transportnih troškova i do 40% (zbog povećane vlage, težina materijala koji se transportuje se povećava).
 - Povećanje utrošene energije za sušenje uglja.
- Veliki broj pumpi radi prigušeno

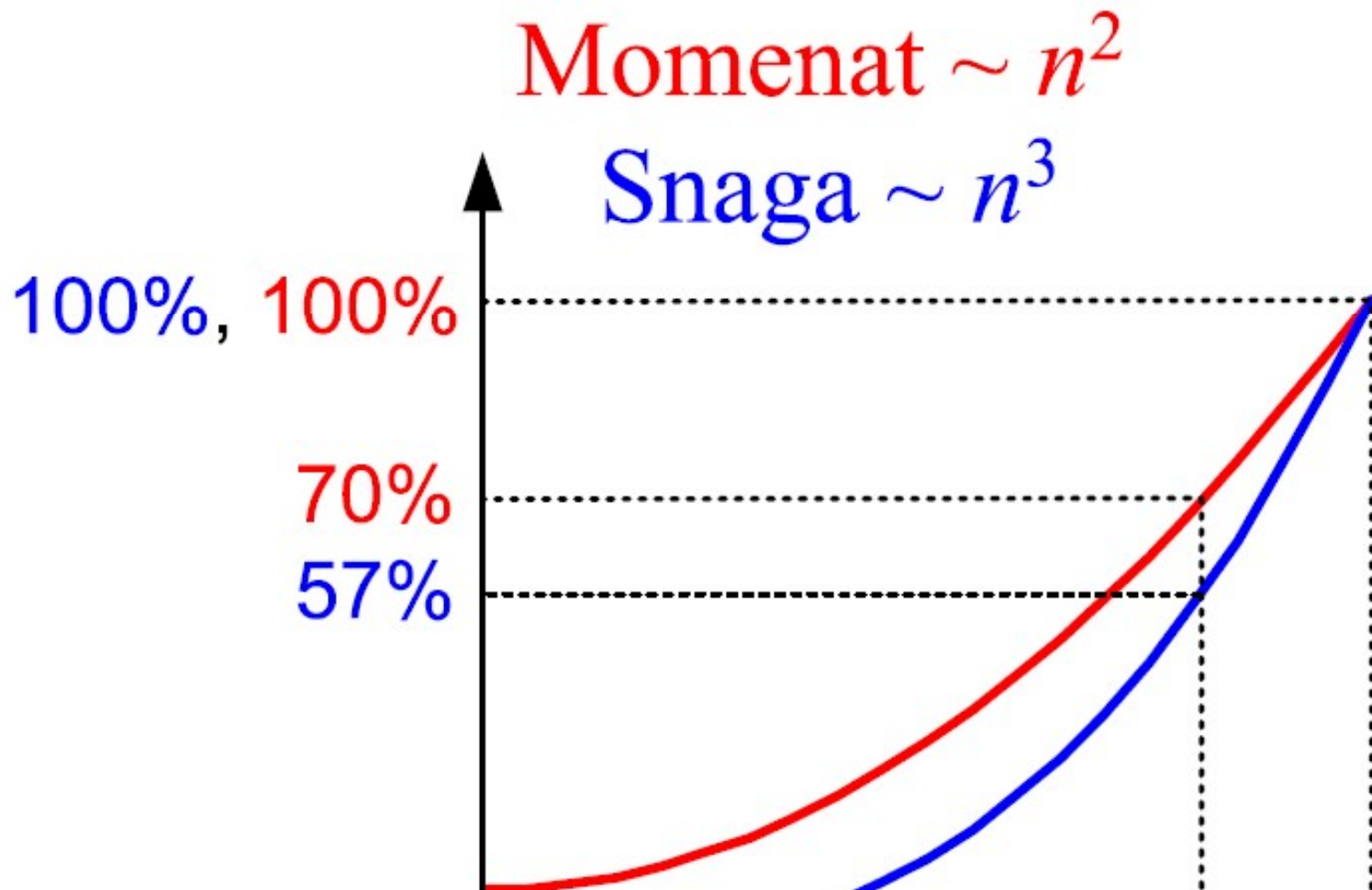
Moguće uštede u pogonu sa pumpama



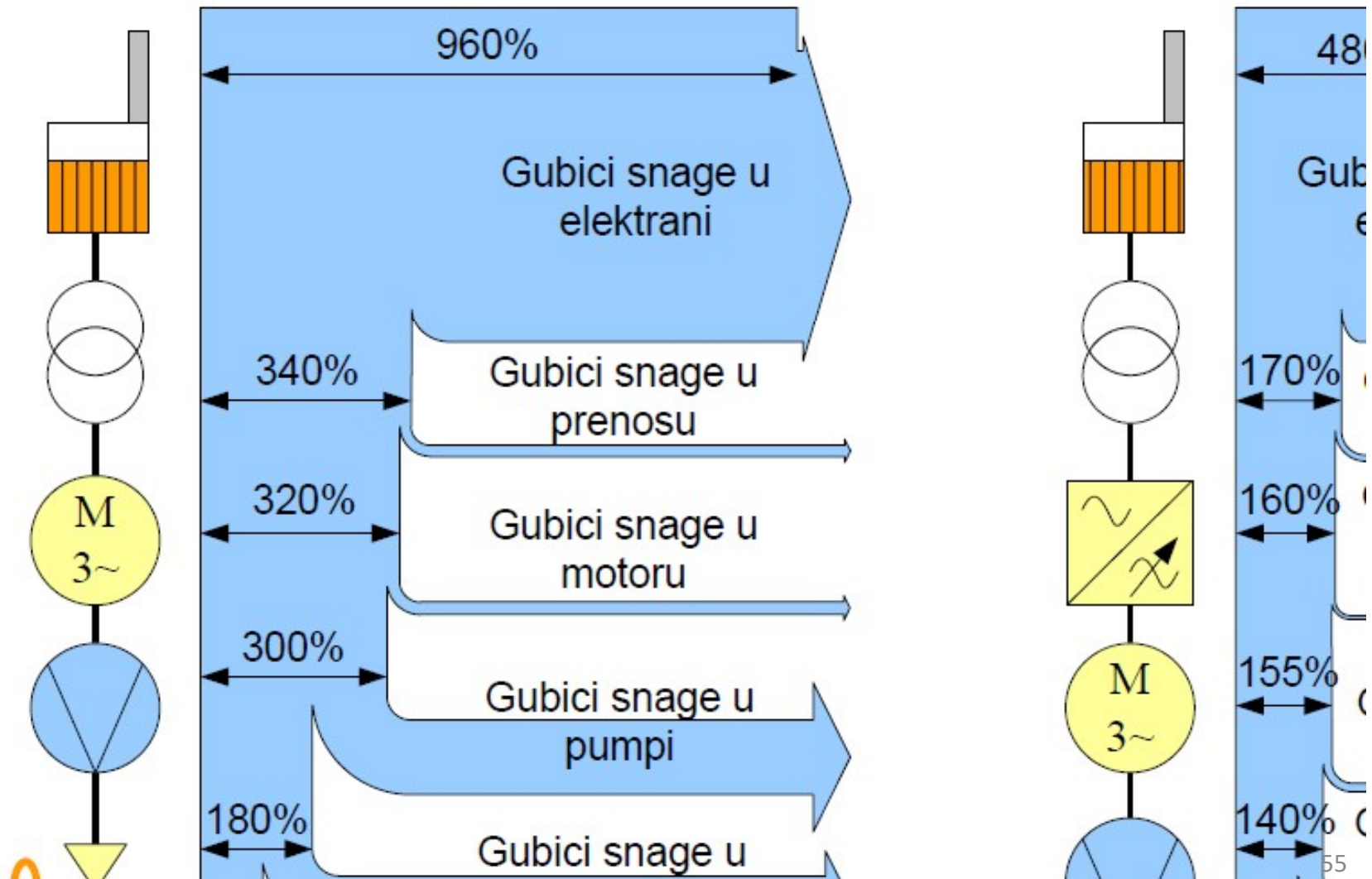
Ušteda energije u pogonu sa pumpom na bazi smanjenja brzine



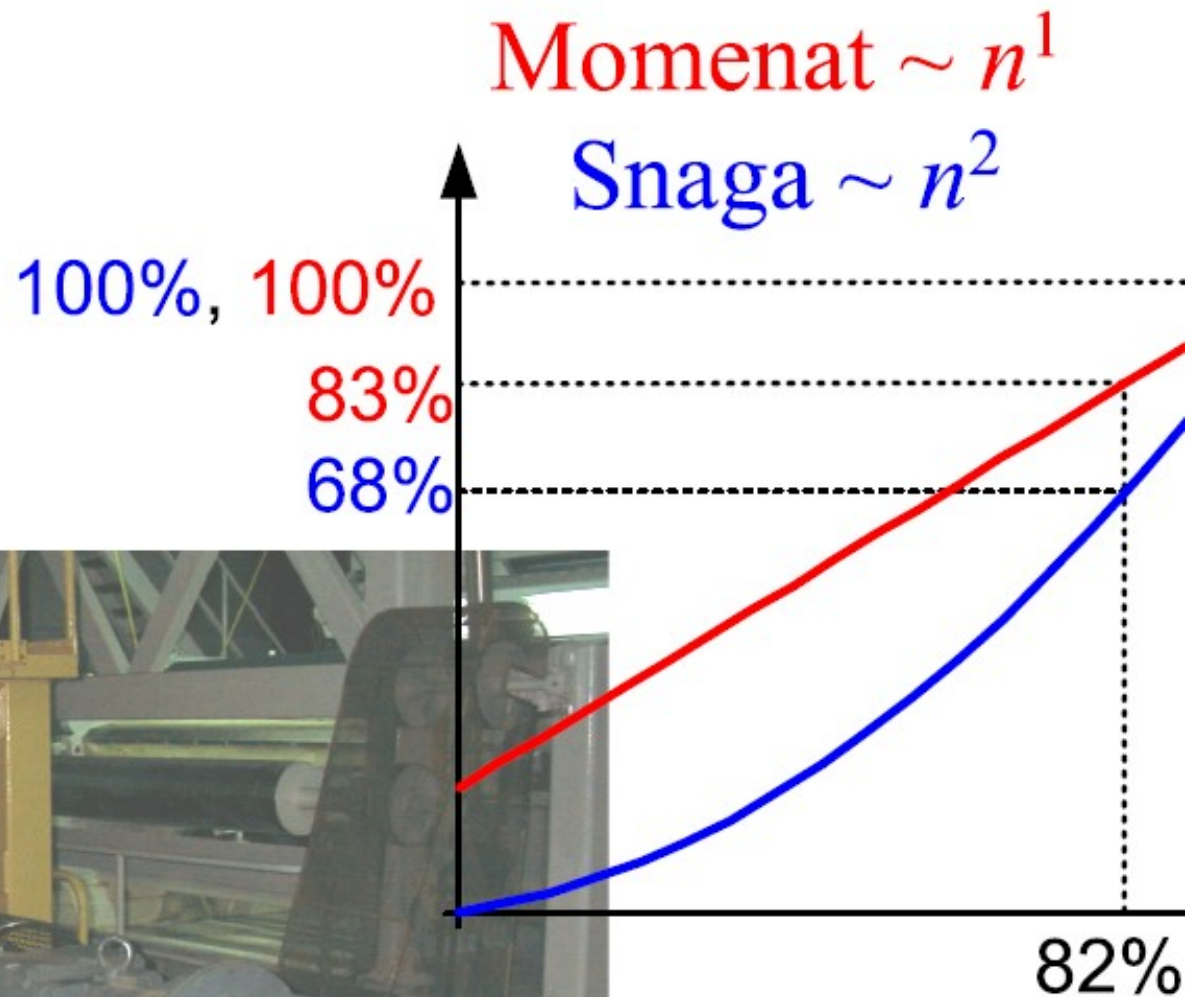
Ušteda energije u pogonu sa pumpom na bazi smanjenja brzine



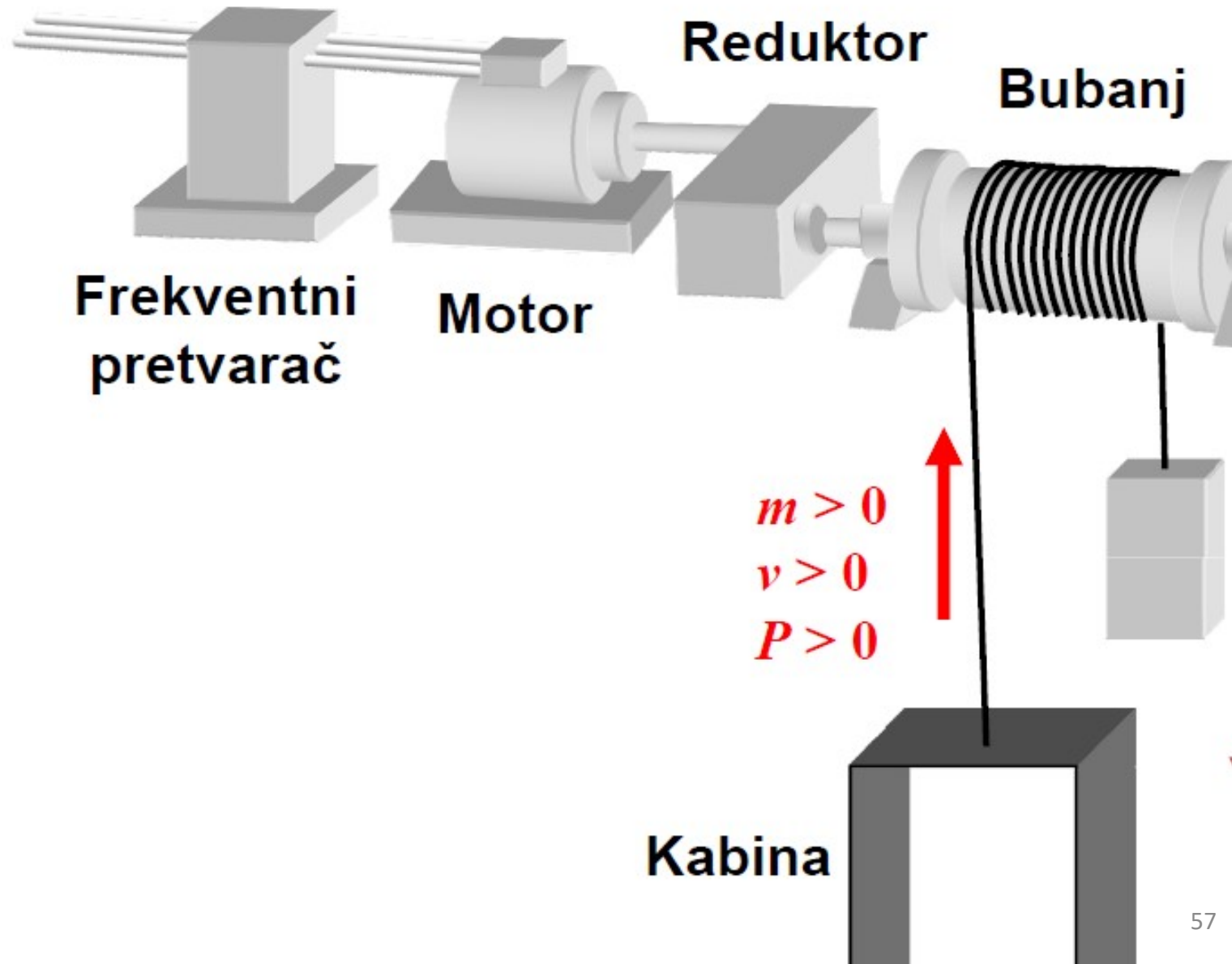
Upoređenje pumpe sa prigušnim ventilom i sa frekventnim pretvaračem



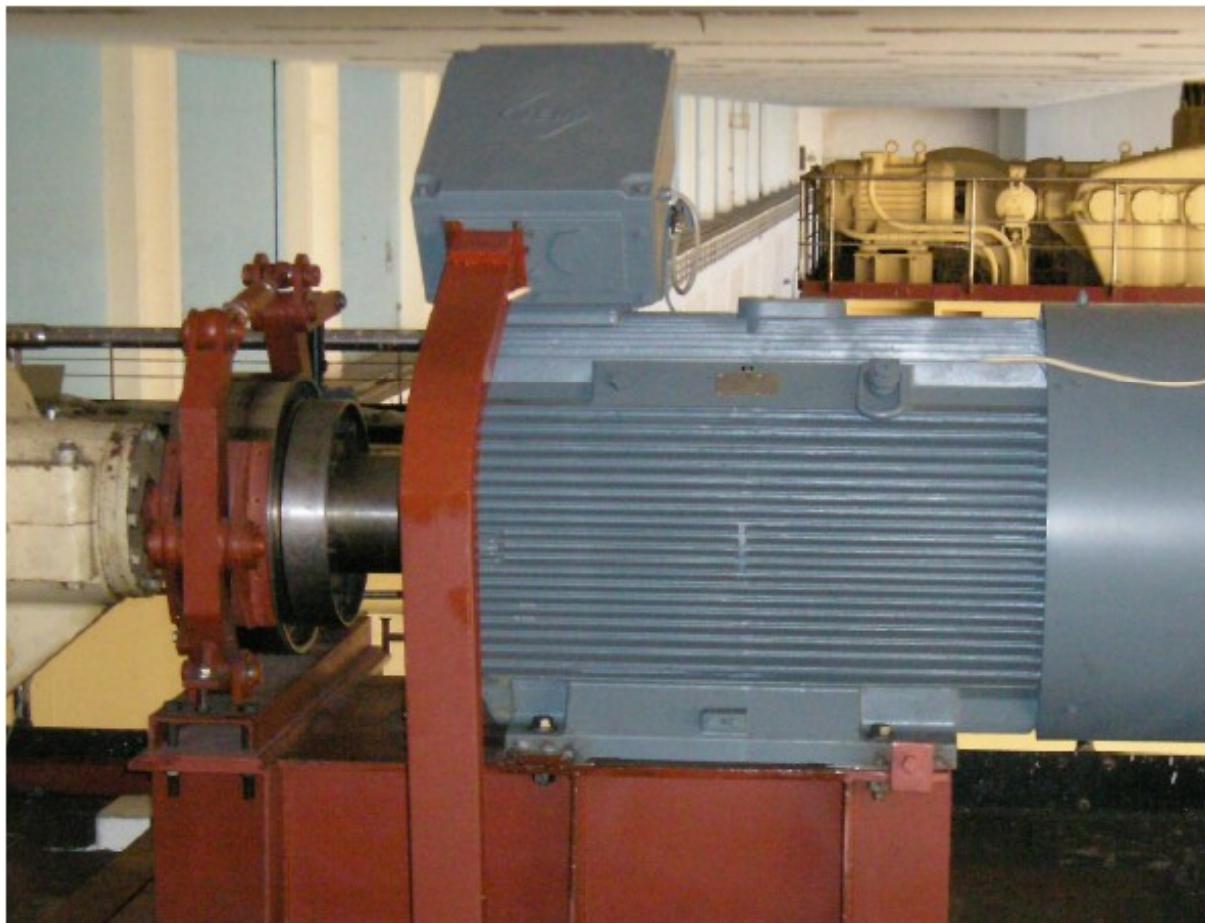
Ušteda u pogonu sa kalanderskom karakteristikom na bazi smanjenja brzine



Princip protiv tega kod pogona liftova



Dizalice – rekuperacija energije kočenja kod spuštanja



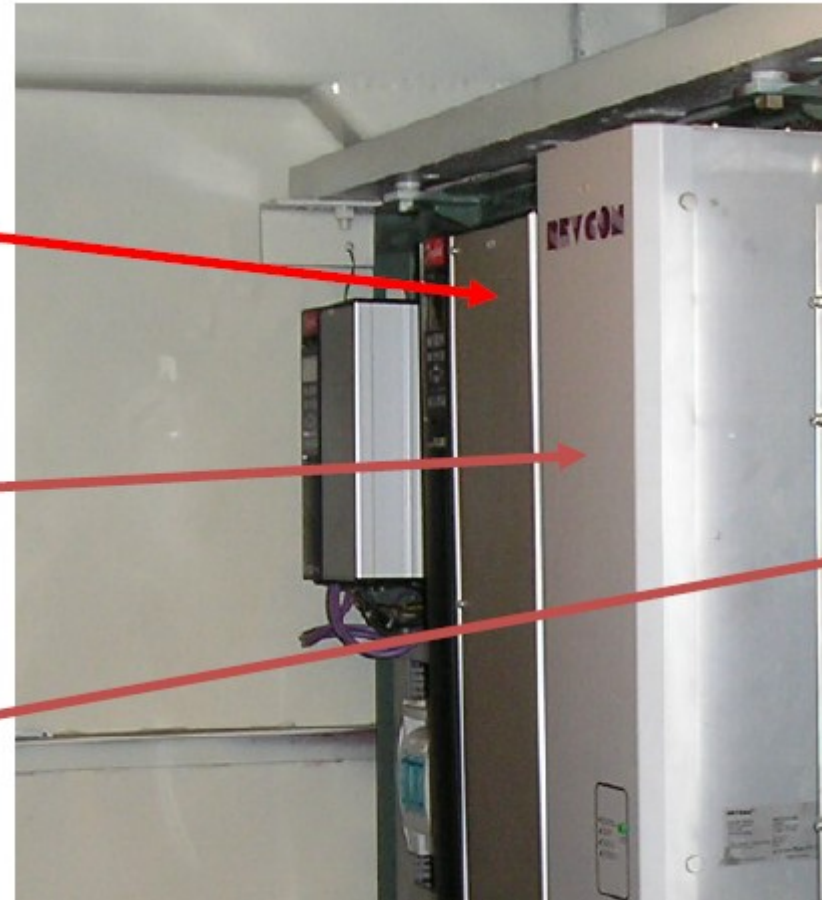
Motor pogona dizanja 400t

Dizalice – rekuperacija energije kočenja kod spuštanja

VLT® 5062 Flux
Frekventni pretvarač
pogona dizanja

Jedinica za
rekuperaciju
energije

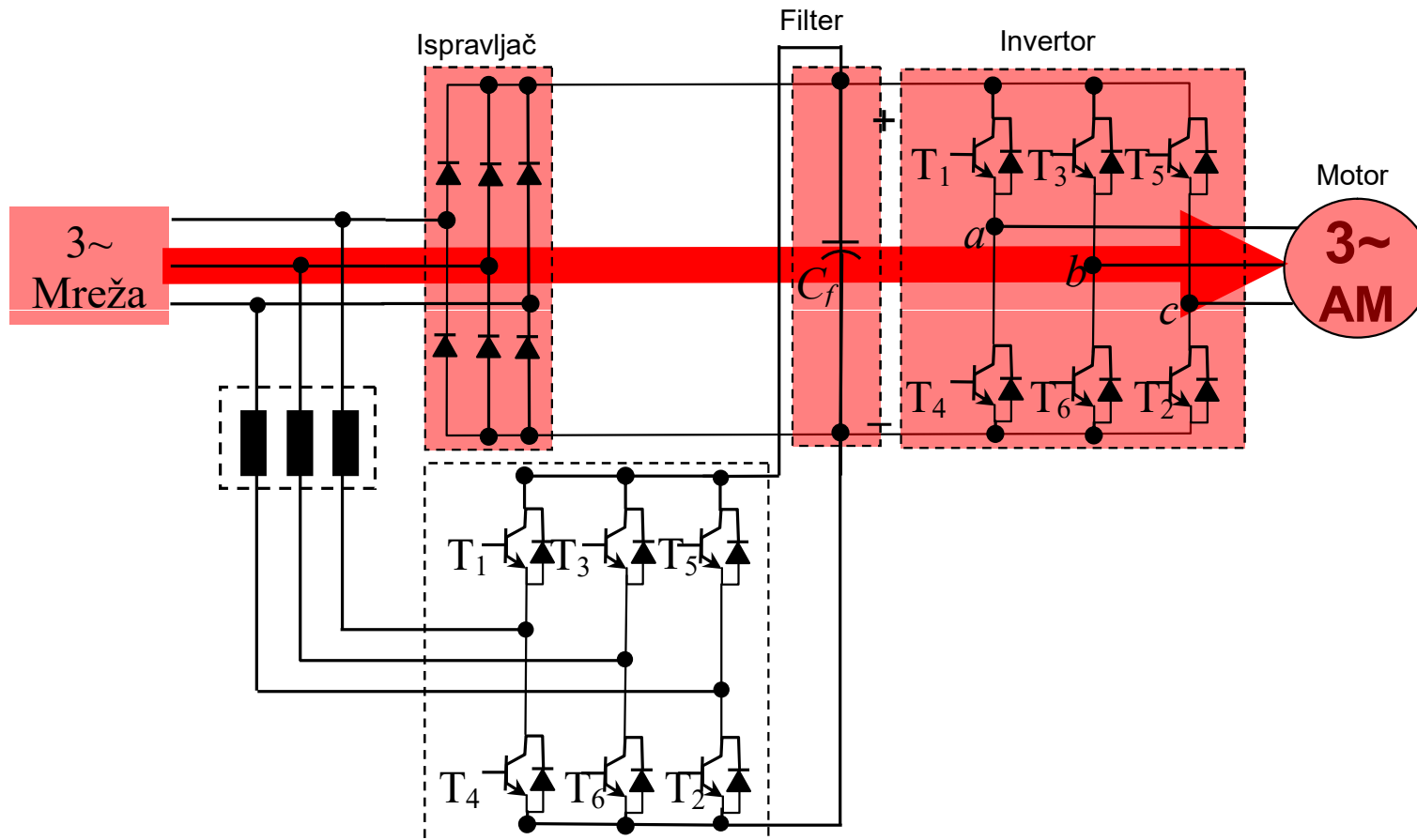
Mrežne
prigušnice



Frekventni pretvarač pogona dizanja

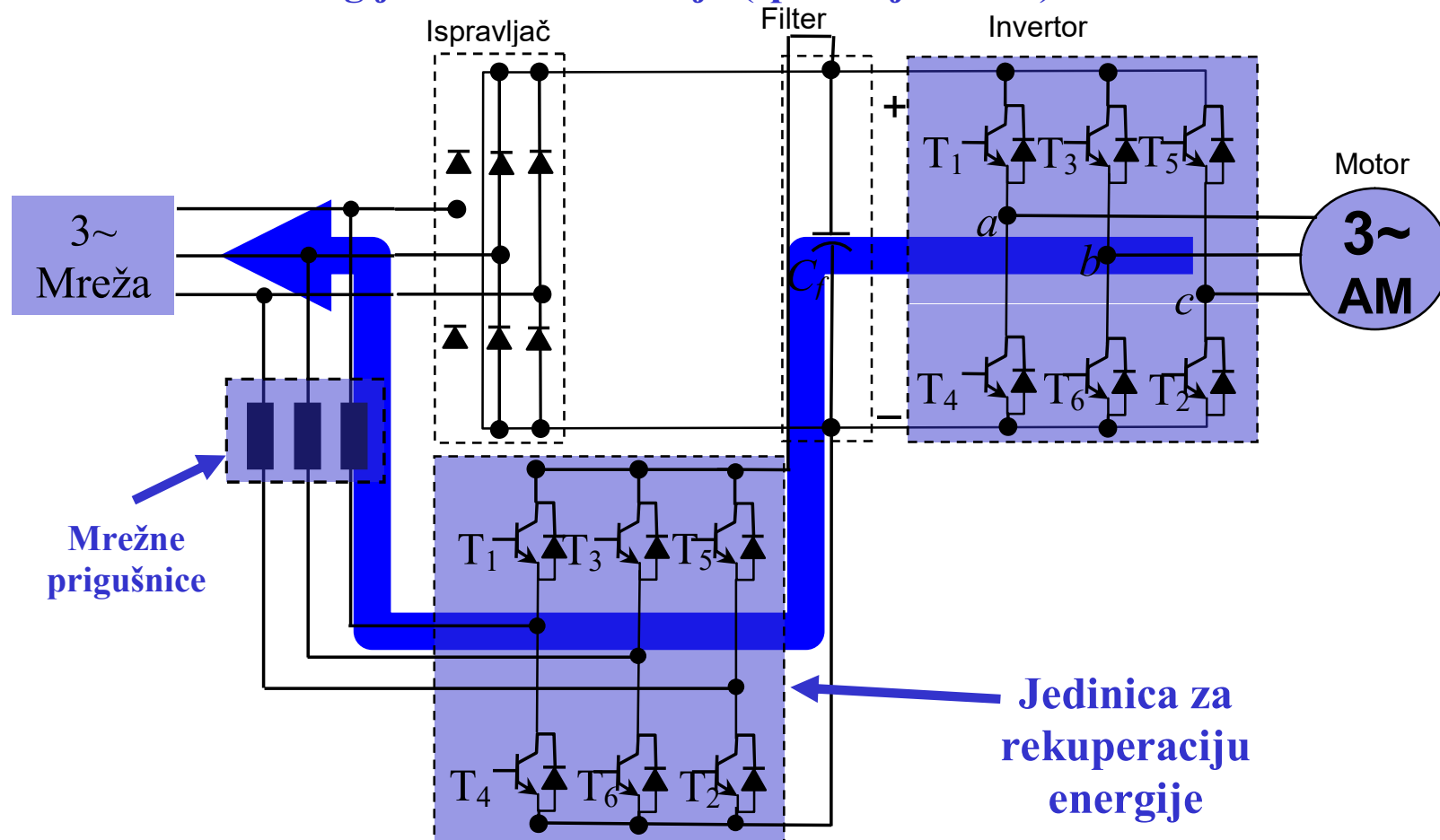
Dizalice – rekuperacija energije kočenja kod spuštanja

→ Smer kretanja energije u motornom režimu rada (dizanje tereta)



Dizalice – rekuperacija energije kočenja kod spuštanja

← Protok energije u režimu kočenja (spuštanje tereta)



ZAKLJUČAK

- Svaka ušteda energije u pogonu sigurno daje ekonomske efekte.
- Vrlo je široko područje delovanja u smislu EE u pogonima.
- Moguće uštede u energiji između 5% i 30%.
- Periodi otplata investicija potrebnih za povećanje EE su relativno kratki, od 1,5 do 3 godine.
- Finansijski efekti još značajniji (veći) od direktne uštede u energiji.
- Potrebno je da se u svim segmentima upotrebe pogona koriste metode i rešenja koja doprinose EE.

Korišćena literatura

- [1] Monografija nacionalnog značaja „Energetska efikasnost elektromotornih pogona,” ISBN: 978-86-7776-147-9, UDC 621 313, pp 219 - 337, Tehnički fakultet u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, 2012.
- [2] B. Jeftenić i dr. „Energetska efikasnost u elektromotornim pogonima” – brošura rađena za potrebe MINT
- [3] Predavanja na grupi predmeta vezanih za elektromotorne pogone <http://www.pogoni.etf.rs>.
- [4] Marian. Kazmierkowski, Frede Blaabjerg, Ramu Krishnan, „Control in Power electronics – selected problems”, Academic Press Elsevier Science 2002.