

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO,
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Tomaž Rebol

**ANALIZA ELEKTRIČNEGA POGONA
ŽERJAVA**

Projekt

Maribor, september 2016

ANALIZA ELEKTRIČNEGA POGONA ŽERJAVA

Projekt

Študent: Tomaž Rebol

Študijski program: Univerzitetni študijski program
Elektrotehnika

Smer: Močnostna elektrotehnika

Mentor: red.prof.dr. Mladen Trlep

KAZALO VSEBINE

1 UVOD.....	1
2 TIPI ŽERJAVOV	1
3 RAZČLEMBE ŽERJAVOV GLEDE NA PODATKE IN PONUDNIKE.....	4
4 TIPIČNI OBRATOVALNI CIKEL POSAMEZNIH ŽERJAVOV	5
4.1. Pospeševanje.....	5
4.2. Zaviranje.....	6
4.3. Obratovalni cikel	8
5 KARAKTERISTIČNI PODATKI ŽERJAVOV ZA NAROČILO	9
6 ELEKTRIČNI POGONI ŽERJAVOV: PRIMERJAVA ELEKTROMOTORJEV	11
6.1. Enosmerni motorji.....	11
6.2. Spreminjanje števila vrtljajev enosmernega motorja	12
6.3. Izmenični motorji	14
6.4. Spreminjanje števila vrtljajev asinhronskega motorja.....	16
7 IZBIRA PRIMERNEGA POGONA	17
8 SKLEP	21
9 VIRI.....	22
9.1 Viri slik.....	23

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Zgoraj: mobilni žerjav [26], viseči žerjav [27], spodaj: konzolni žerjav [28], mostni žerjav [29]	2
Slika 2.2: Zgoraj: portalni žerjav [30], stolpni žerjav [31], spodaj: teleskopski žerjav [32], pristaniški žerjav [33]	3
Slika 4.1: Karakteristika momenta bremena in asinhronskega motorja	6
Slika 4.2: Elektrodinamično zaviranje [7].....	8
Slika 4.3: Obratovalni cikel S5, prekinjeno obratovanje z električnim zaviranjem [35]	9
Slika 5.1: Zahtevani podatki za naročilo mostnega žerjava pri podjetju Indenna d.o.o. [36]	10
Slika 6.1: Enosmerni motor s komutatorjem [37]	11
Slika 6.2: Asinhronski motor s kratkostično kletko [9]	14

KAZALO TABEL

Tabela 3.1: Žerjavi v številkah	4
Tabela 7.1: Zahteve, ki jih obravnavamo pri izbiri pogona sistema [2]	18
Tabela 7.2: Uporabljeni motorjev v različnih žerjavih različnih proizvajalcev	20

SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV

n - število vrtljajev (1/min),
 U - napetost kotve (V),
 I_a - tok kotve (A),
 R - celotna upornost rotorskega tokokroga (Ω),
 k_e^* - koeficient inducirane napetosti,
 ϕ_g - magnetni pretok (Vs),
 s - slip,
 n - število vrtljajev rotorja (1/min),
 n_s - sinhronski vrtljaji (1/min),
 f - frekvenca napajalne napetosti (1/s),
 p - število polovih parov,
 P_d - moč motorja za dvigovanje (kW),
 m_d - skupna masa, ki jo dviguje dvigalni mehanizem (kg),
 v_d - hitrost dvigovanja (m/s),
 g - težni pospešek ($9,81 \text{ m/s}^2$)
 η - skupni izkoristek dvigalnega mehanizma,
 M_d - moment pri konstantni hitrosti dvigovanja (Nm),
 M_p - moment pri pospeševanju (Nm),
 M_{zac} - začetni moment (Nm),
 r - polmer bobna (m),
 i - prestava,
 η_r - izkoristek reduktorja,
 η_b - izkoristek bobna
 a - začetni pospešek (m/s^2),
 M_n - nazivni moment motorja (Nm),
 P_n - nazivna moč motorja (W),
 n_m - vrtljaji motorja (1/min),
 t_r - relativni čas obratovanja (s),
 T - celotni čas obratovanja (s),
 t_a - čas pospeševanja pogona (s),
 t_b - čas obratovanja pogona (s),
 t_{br} - čas zaviranja pogona (s),
 t_{st} - čas mirovanja pogona (s).

1 UVOD

Žerjav je naprava, ki se uporablja za dvigovanje in spuščanje ter vodoravno premikanje bremen. Takšne naprave so uporabne v široki paleti delovnih procesov. Tudi ponudba žerjavov na trgu je temu primerno široka. Potencialni kupec se težko znajde v tako zajetni ponudbi, izbira prave naprave pa je zelo pomembna, upoštevajoč dejstvo, da je delo pri katerem se uporablja zahtevno in pogosto nevarno. Tudi cene žerjavov so visoke. Zanimalo me je, kakšna je ponudba žerjavov in njihovih električnih pogonov ter kako se posameznik odloči za napravo in na kaj mora biti pri izbiri pozoren. V svoji diplomski nalogi sem raziskal ponudbo na širšem tržišču, na kratko predstavil delovanje žerjavov in pogosto uporabljenih električnih pogonov. Prav tako sem opisal postopek izbire žerjava in primerne električnega pogona.

2 TIPI ŽERJAVOV

Skozi celotno zgodovino so se ljudje ukvarjali z uganko, kako dvigovati bremena, katerih teža presega človekove fizične sposobnosti. Z izumom škripca so se antičnim civilizacijam odprle možnosti za izdelavo delujočih dvigal. Šlo je za preprosta dvigala, glavno konstrukcijo sta sestavljala lesena podporna kraka, ki so jih trdno povezali z vrvmi. Na kraka so obesili vrv, vitel in sistem škripčevja. Poganjali so jih ljudje ali vprežene živali. Kasneje so se razvile bolj kompleksne oblike žerjavov, ki so lahko dvigovale težja bremena pri manjšem vložku fizične moči.

V modernem času pri žerjavih prevladujejo hidravlični in električni pogoni. Zaradi različnih potreb pri prenašanju bremen poznamo veliko tipov žerjavov, prirejenih specifičnim nalogam. V grobem žerjave razdelimo na mobilne in fiksne žerjave.

Mobilni žerjavi so v osnovi sestavljeni iz vrtljivega teleskopsko raztegljivega kraka, ki je nameščen na mobilno ploščad. Njihova glavna prednost je, kot nam pove že ime, možnost premikanja ploščadi, kar omogoča bolj fleksibilno uporabo na delovišču. Pri uporabi je potrebna pozornost na statiko ploščadi, saj lahko v primeru neenakomerne razporeditve težišča hitro pride do nesreče. Poznamo žerjave montirane na tovornjake (slika 2.1, levo zgoraj), bagre, goseničarje, vagone, pontone ter helikopterje.

Fiksni žerjavi se med obratovanjem ne premikajo. To jim omogoča prenašanje težjih bremen in dvigovanje na večje višine ter daljše razdalje. Kljub fiksnemu obratovanju so ponavadi sestavljivi in razstavljivi, kar je praktično, če se pojavi potreba po uporabi na

drugem delovišču. Razdelimo jih lahko glede na področje uporabe, torej na industrijsko in zunanjo rabo.

Viseči žerjavi (slika 2.1, desno zgoraj) so ponavadi obešeni na strop. Podobno so zasnovani lahki žerjavi. Gre za najmanjše žerjave, primerne za manjše obrate. Lahko imajo samo eno tračnico, po kateri se pomika maček. Obstajajo tudi izvedbe, kjer s stropa visita dve tračnici, po njih pa se pomika prečni nosilec, na katerem je maček.

Konzolni žerjavi imajo krak ali konzolo, ki je nataknjena na steber. Po konzoli se pomika maček. Prednost konzolnih žerjavov je, da ne zasedejo veliko prostora. V industrijski rabi ločimo navadne in stenske konzolne žerjave. Stenski konzolni žerjavi (slika 2.1, levo spodaj) so pričvrščeni na zid in nimajo podpornega stebra.

Mostni žerjavi so tip žerjava pri katerem je maček obešen na tram oziroma most, ki je na obeh straneh postavljen na tirnici oziroma žerjavno progo, po kateri se lahko pomika. V velikih halah žerjavna proga pogosto poteka vzdolž celotnega objekta in omogoča uporabo žerjava po celem prostoru. Zelo uporabljani so v težki industriji. Uporaben in mobilni je na večjem območju, torej je kombinacija fiksnega in mobilnega žerjava. Glede na število nosilcev oziroma mostov, ki so postavljeni na žerjavno progo jih razdelimo na enonosilčne in dvonosilčne (slika 2.1, desno spodaj).

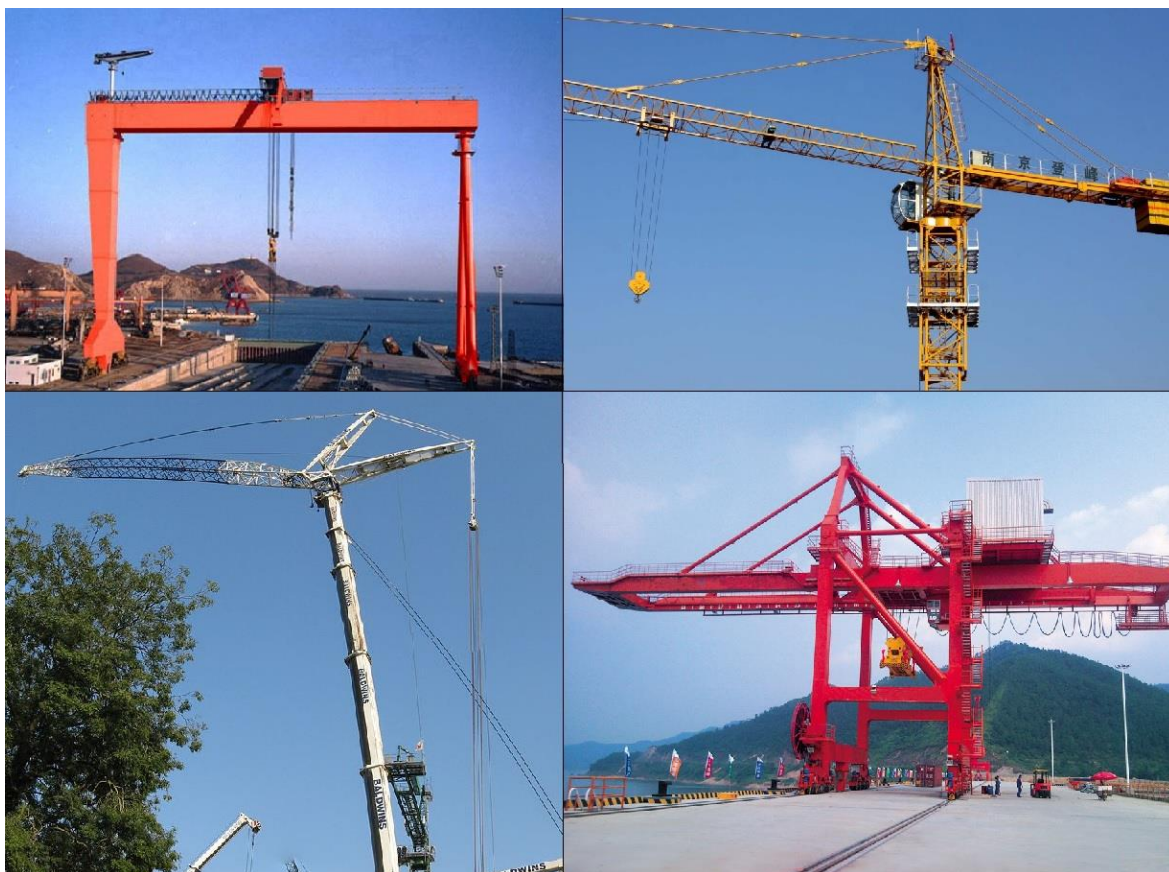


Slika 2.1: Zgoraj: mobilni žerjav [26], viseči žerjav [27], spodaj: konzolni žerjav [28], mostni žerjav [29]

Portalni žerjavi (slika 2.2, levo zgoraj) so podobni mostnim žerjavom, le da so dvignjeni visoko nad tirnice. Ime portalni so dobili zaradi praznega prostora pod konstrukcijo. Uporaba je zelo široka, saj se uporabljajo tako v pristaniščih in večjih obratih za dvigovanje težkih bremen, kot tudi v manjših različicah, na primer za dvigovanje avtomobilskih motorjev v avtomehanični delavnici.

Stolpni žerjavi (slika 2.2, desno zgoraj) so najpogostejši žerjavi na gradbiščih. Sestavljeni so iz podpornega stebra, na katerega je pritrjena vrtljiva enota, ki podpira kraka ter nadzorno kabino. En krak žerjava je namenjen dvigovanju in premikanju bremen, na njem je nameščen maček in kavelj. Na drugem kraku je nameščena dvigalna enota, ki skrbi za dvigovanje in spuščanje kabla, ter protiuteži.

Teleskopski žerjavi (slika 2.2, levo spodaj) imajo posebno zasnovo podpornega stebra ali kraka, ki se raztegne in skrči podobno kot teleskop. Sestavljen je iz večih cevi, ki so koncentrične in se sestavijo ena znotraj druge, s pomočjo hidravličnega mehanizma pa se lahko raztegnejo ali skrčijo, kar podaljšuje oziroma skrajšuje dolžino kraka. Takšni kraki so zelo pogosti pri mobilnih žerjavih.



Slika 2.2: Zgoraj: portalni žerjav [30], stolpni žerjav [31], spodaj: teleskopski žerjav [32], pristaniški žerjav [33]

Nakladalni žerjavi ali pristaniški žerjavi (slika 2.2, desno spodaj) so skupina, ki zajema več tipov žerjavov, ki so prilagojeni za dvigovanje kontejnerjev. Nekdaj zelo pogosti so žerjavi z ročičnim mehanizmom, ki omogoča, da tovor ostane na isti višini, medtem ko se kraka, na katera je obešen raztegujeta in krčita v vodoravni smeri. Danes so bolj v uporabi portalni žerjavi, saj so bolj praktični za dvigovanje večjih bremen [18].

3 RAZČLEMLJA ŽERJAVOV GLEDE NA PODATKE IN PONUDNIKE

Pri tako široki ponudbi žerjavov sem poskusil žerjave razvrstiti glede na tehnične podatke. Vsak tip sem v tabeli 3.1 razvrstil glede na nazivno maso tovora, razpon in hitrosti dviganja tovora. Horizontalna gibanja mačkov in mostov so zelo različna in jih je težko razvrstiti. Območje delovanja je široko, saj so namembnosti naprav različne. Pri izdelavi nekaterih so se osredotočili na razpon, spet drugič na maso. V nekaterih proizvodnih obratih je pomembna hitrost s katero breme premikamo, drugje šteje natančnost in zanesljivost. V tabeli sem zato zajel neke srednje vrednosti, ki jih kot nazivne najdemo pri izdelkih večine proizvajalcev. Pri večjih žerjavih so glavne omejitve pri statiki konstrukcije ter moči motorja in vzdržljivosti komponent. Izziv načrtovalcev je izdelati žerjav, ki ima čim večji razpon, hkrati pa lahko dviguje čim težja bremena. Ti dve lastnosti iz fizikalnega stališča namreč druga drugo izključujeta, če predpostavimo da razpon predstavlja ročico, teža bremena pa pravokotno silo nanjo. Tudi hitrosti, s katerimi lahko breme dvigujemo so odvisne od njihove mase in oddaljenosti od podpornega stebra oziroma jambora. Breme lahko obesimo na verigo ali pa kabel oziroma vrv. Verige se ponavadi uporabljajo za manjša servisna dela. So bolj trpežne, vendar niso primerne za dvigovanje težjih bremen ter za večje hitrosti. Posledično verižna dvigala zasledimo samo v manjših dimenzijah.

Tabela 3.1: Žerjavi v številkah

Vrsta žerjava	Masa tovora (t)	Razpon (m)	Hitrost dvigovanja (m/min)
Viseči verižni	0,125-1	5	1-12
Viseči vrvni	1-5	5	1-12
Konzolni	0,125-6	2-10	1-15
Mostni enonosilčni	5-50	5-40	20
Mostni dvonosilčni	5-150	15-35	20
Portalni	10-40	20-70	20-100
Stolpni	10-80	50-100	10-60
Teleskopski	0,5-5	10-35	20-50
Pristaniški	40-50	30-40	20-30

Če na kratko povzamem rezultate vidimo, da se največje mase dvigujejo v industriji. Pri gradnji, kjer so mnoga območja na delovišču nedostopna pa je pomemben razpon. Ker so razdalje večje in tovari lažji, lahko gradbeni žerjavi dvigujejo in premikajo bremena z večjo hitrostjo. Za primerjavo podajam rekorderja, kitajski pristaniški žerjav Taisun z razponom 120 m je leta 2008 dvignil 20000 ton, kar velja za absolutni rekord [24] .

Proizvajalci žerjavov so ponavadi velika podjetja, ki poslujejo po vsem svetu. Izdelava in prodaja žerjavov je zelo kompleksen postopek, saj gre za težke in drage Transporte. Večina podjetij, ki ponujajo žerjave, je specializiranih za konstrukcijo, pogone ter elektroniko pa zanje po naročilu izdelujejo druga podjetja. Liebherr (Nemčija), Cargotec (Finska), Konecranes (Finska), Manitowoc (ZDA), Terex (ZDA), Palfinger (Avstrija) so med najbolj znanimi imeni na globalnem trgu.

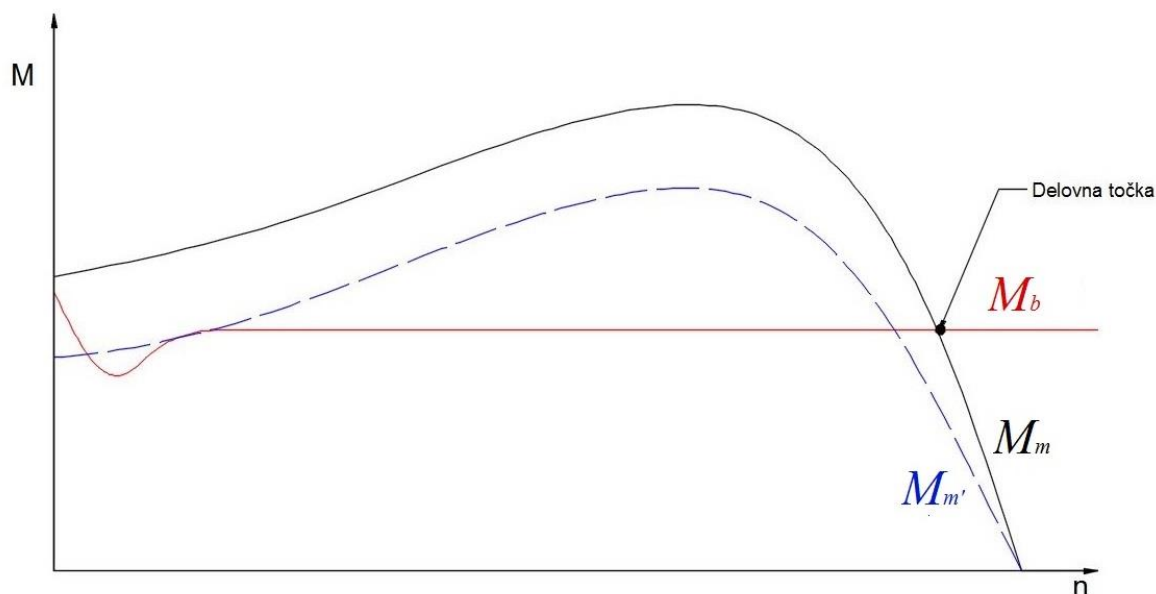
Pri nas obstaja nekaj manjših podjetij, ki se ukvarjajo s prodajo in servisom žerjavov. Na območju nekdanje Jugoslavije je še vedno veliko žerjavov slovenske izdelave, ki potrebujejo servis in podporo. Nekdanje zelo veliko podjetje je bilo Metalna, specializirano za pristaniške žerjave, katere še danes lahko zasledimo v pristaniščih širom sveta. Aktivno deluje tudi nekaj podjetij, ki proizvajajo industrijske žerjave. To so podjetja Insem Atmos, Indenna, Tehnika Set. Tako kot drugod pa so tudi na slovenskem trgu številni zastopniki za tuja podjetja.

4 TIPIČNI OBRATOVALNI CIKEL POSAMEZNIH ŽERJAVOV

4.1. Pospeševanje

Obratovalni cikel dvigovanja žerjava v osnovi sestoji iz pospeševanja, gibanja pri konstantni hitrosti, zaviranja in mirovanja. Ker so bremena, ki jih dvigujemo in prenašamo s pomočjo žerjava pogosto občutljiva, je potrebna pozornost pri sunkovitih pospeških in zaviranjih. Momenti bremena pri dvigalih so pretežno konstantni. Breme, s katerim se srečamo pri žerjavih je aktivno breme. Ta vrsta bremena ima ne glede na smer pogonskega navora oziroma sile enako smer bremenskega navora oziroma sile. Pri žerjavih je ta sila usmerjena navzdol, njena velikost pa je odvisna od mase. Na sliki 4.1 je prikazana karakteristika momenta bremena in momenta motorja v odvisnosti od vrtiljajev pri asinhronskem motorju. Motor mora biti dimenzioniran tako, da pri svojem delovanju razvije večji moment kot je moment bremena. Pri pogonih žerjavov ni nujno da razvijejo veliko večji začetni pospeševalni moment, saj morajo biti pospeški zmerni, vendar pa je

zaželeno da ne trajajo predolgo zaradi varčevanja z energijo. Z modro barvo je prikazana karakteristika prešibkega motorja, ki ne bi mogel pospešiti do delovne točke.



Slika 4.1: Karakteristika momenta bremena in asinhronskega motorja

Stanje pogona lahko opišemo s sledečo enačbo:

$$M_m - M_b = J \frac{d\Omega}{dt} \quad (4.1)$$

Tu je:

M_m – moment motorja (Nm),

M_b – moment bremena (Nm),

J – vztrajnostni moment (kgm²),

Ω – mehanska kotna hitrost (rad/s).

Če je odvod kotne hitrosti po času t enak nič, potem se sistem giblje s konstantno hitrostjo ali pa miruje. Če je različen od nič, potem je pogon v nestacionarnem stanju, torej pospešuje ali zavira. Obratovalni cikel najlažje opišemo s pomočjo dinamičnih stanj.

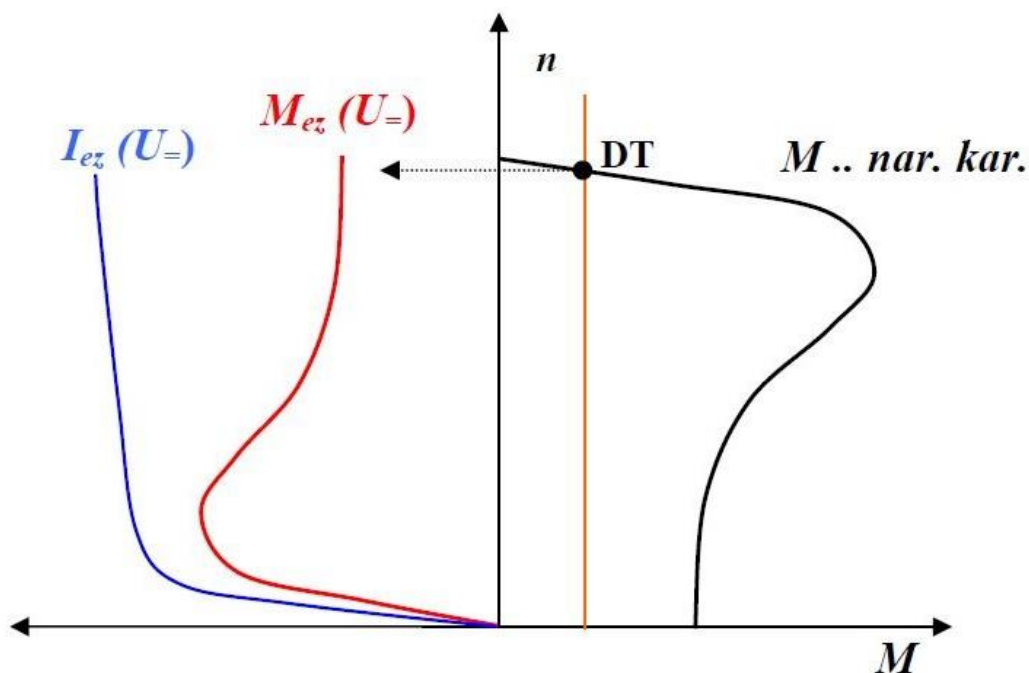
4.2. Zaviranje

Za upočasnitev in ustavitev žerjavov se uporabljajo različni načini zaviranja. Večja nevarnost je pri zaviranju motorja namenjenega dvigovanju. Tako pri vertikalnem kot horizontalnem gibanju so potrebna mehka zaviranja. Evropska direktiva o žerjavih 95/16/ES [14] zahteva, da ima vsak žerjav opremo za ustavitev v sili. Za ustavitev v sili

služijo mehanske zavore, katerih naloga je zaustaviti in držati breme ali motor na mestu. Dobra stran mehanskih zavor je, da delujejo v vsakem primeru, tudi ob morebitnem izpadu električnega omrežja. Vendar pri svojem delovanju proizvedejo veliko odvečne toplote, prav tako pa se intenzivno obrabljajo. Zato se pri zaviranju elektromotorjev žerjavov poslužujemo tudi električnega zaviranja, ki je bolj varčno in ugodno za pogon. Pri tem izkoriščamo elektromagnetne lastnosti električnih motorjev. Pri žerjavih poznamo elektrodinamično in generatorsko oziroma regenerativno zaviranje [10].

Generatorsko zaviranje nastopi pri višjih vrtljajih od sinhronskih, torej takoj ko rotor motorja zaradi zunanjega bremena pospeši preko sinhronizma. Delovna točka preide v področje negativnih vrtilnih momentov in stroj preide v generatorski režim obratovanja. To zaviranje je koristno, saj se pri tem del energije vrača nazaj v mrežo. Frekvenčni pretvorniki omogočajo širše območje uporabe generatorskega zaviranja [12].

Moderni električni pogoni za upočasnjevanje in ustavljanje dvigal in mostov uporabljajo elektrodinamično zaviranje, ki je varčna in zanesljiva alternativa mehanskemu zaviranju. Potrebna sta le ustrezna elektronika in hlajenje. Pri elektrodinamičnem zaviranju se energija vrtečega se rotorja porabi na električnih uporih. Pri enosmernih strojih za elektrodinamično zaviranje potrebujemo stacionarno magnetno polje v zračni reži, kakršno pa ne obstaja pri izmeničnih. Vseeno pa lahko ustvarimo trenutno stacionarno magnetno polje v izmeničnih motorjih, če sponke statorja odklopimo od napajanja in povežemo na enosmerni tok. Ko se navitja rotorja gibajo skozi stacionarno magnetno polje, se v njih inducirajo napetosti in tokovi. Rotorski tok povzroči izgube in ker se z napajanja odklopljen rotor vrti samo zaradi shranjene kinetične energije v njem, rotorske izgube znižujejo celotno kinetično energijo rotorja in ga ustavljajo [1]. Dinamično zaviranje ponuja različne prednosti v primerjavi z samo mehanskim zaviranjem. Ščiti pred nenadzorovanim spustom dvigala in s tem poveča varnost žerjava in osebja. Močnostna elektronika pri asinhronskih motorjih ustrezno prilagodi hitrost spusta in po potrebi proži mehansko zavoro. Trenje obrablja zavorne obloge mehanskih zavor. Pri dinamičnem zaviranju se uporaba le teh zmanjša, s čimer se zmanjša obraba in se podaljša življenjska doba zavornih komponent [11].

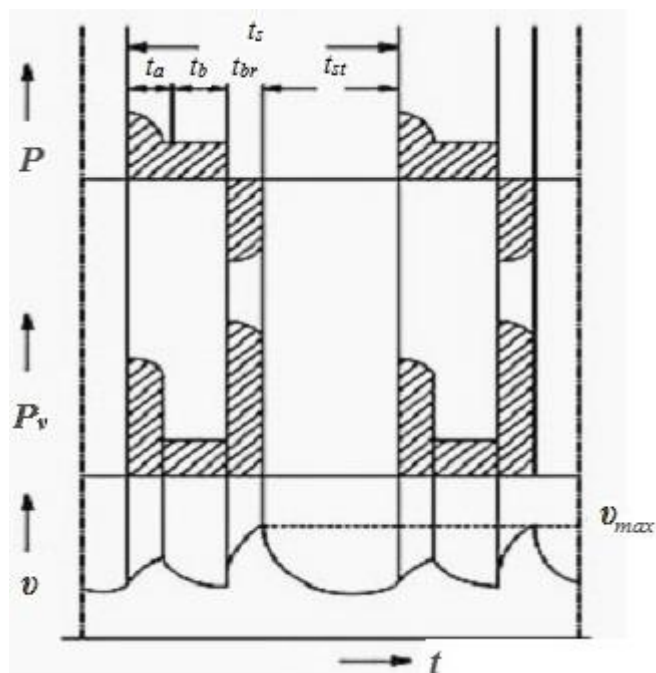


Slika 4.2: Elektrodinamično zaviranje [7]

Pri mostnih žerjavih se ponavadi poslužujemo elektrodinamičnega zaviranja, dvigalni mehanizem pa mora biti obvezno opremljen tudi z mehansko zavoro v sili.

4.3. Obratovalni cikel

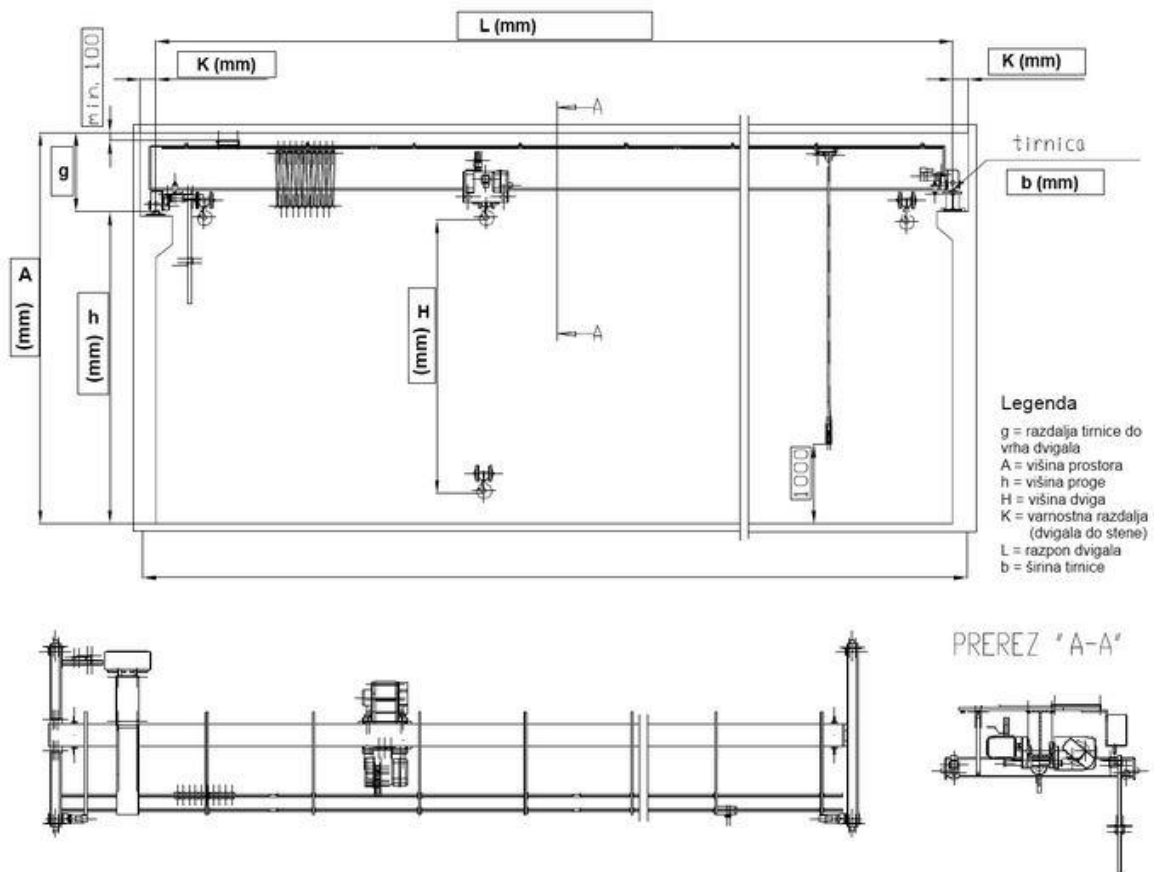
Obratovalne cikle motorjev razvrščamo po različnih tipih, saj je od njih odvisno dimenzioniranje motorja in način dela. Motorje primerne za žerjave razvrščamo v tipe S3, S4 in S5. Poznamo devet osnovnih tipov, razvrščeni so glede na trajanje pospeševanja, konstantnega obratovanja, zaviranja in mirovanja. Preračunani so glede na razmerje med obratovanjem in celotnim delovnim ciklom. Pomemben faktor je tudi termično ravnovesje. Na kratko bom opisal cikel S5, prekinjevano obratovanje z električnim zaviranjem. Motor deluje v približno enakih intervalih pospeševanja, delovanja pri konstantnem bremenu in kratkem električnem zaviranju, ki mu sledi mirovanje. Termično ravnovesje ni doseženo, ker so presledki med cikli prekratki (slika 4.2). Na tak način obratuje asinhronski motor dvigalke mostnega žerjava, ki polizdelek v tovarni dvigne s tekočega traku in ga prenese v skladišče. Iz slike je vidno, da se največje električne izgube pojavljajo pri pospeševanju in zaviranju. Temperatura pa najbolj naraste pri zaviranju [13].



Slika 4.3: Obratovalni cikel S5, prekinjevano obratovanje z električnim zaviranjem [35]

5 KARAKTERISTIČNI PODATKI ŽERJAVOV ZA NAROČILO

Pri naročilu žerjava proizvajalca zanima več parametrov. Podjetje naročniku ponavadi predloži obrazec, kjer povprašujejo po karakterističnih podatkih. Predstavil bom postopek, ki mu mora slediti naročnik, če želi kupiti dvigalo pri slovenskem podjetju. V naročilo mostnega žerjava je potrebno vnesti tip žerjava, torej ali potrebujemo glede na število mostov eno ali dvomostovni žerjav ter viseči ali vpet na progo. Osredotočil se bom na podatke, katere mora naročnik posredovati, če želi kupiti dvonosilčni žerjav in ima na razpolago delovni prostor oziroma halo. Potrebno je premeriti prostor, po katerem se bo žerjav gibal. Kot je razvidno iz slike 5.1 je pomembna razdalja tirnice od vrha dvigala g , svetla višina prostora A (razdalja do najnižjega predmeta na stropu, kot so luči, nosilci), višina proge h , višina dviga H , varnostna razdalja dvigala od stene K , razpon dvigala L ter širina tirnice b .



Slika 5.1: Zahtevani podatki za naročilo mostnega žerjavnega pri podjetju Indenna d.o.o. [36]

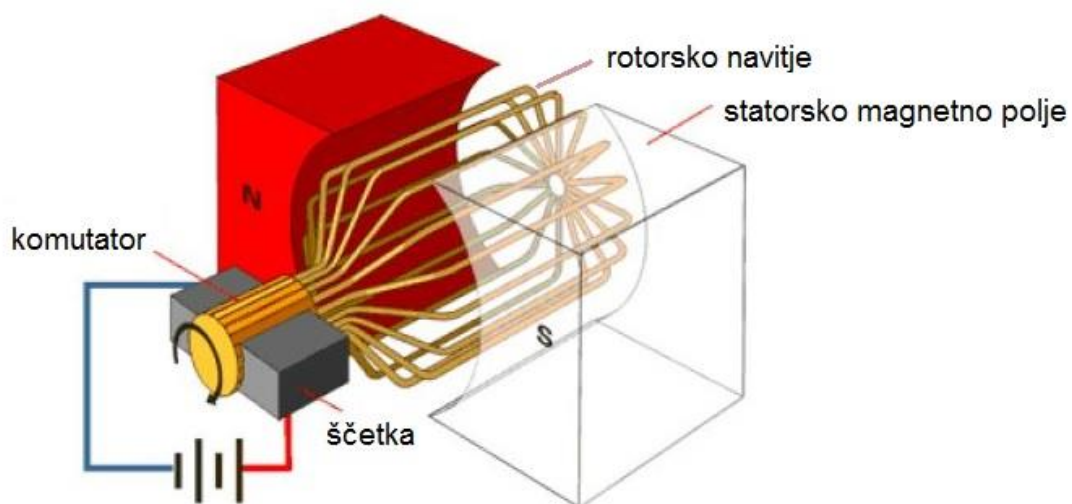
Podjetje nato zanima, kako težka bremena nameravamo dvigovati, kolikšen razpon mora imeti žerjavna proga in kako visoko želimo bremena dvigovati. Večja kot je hala, bolj robustno konstrukcijo bomo potrebovali, da bo lahko prenesla teža bremena. Največje sile na most se pojavijo, kadar je maček na sredini mosta. Glede na ponudbo motorjev lahko izberemo kako hitro želimo breme dvigovati, kako hitro si želimo pomikati mačka po mostu ter kako hitro naj se most giblje po žerjavni progi. Pomembno je kakšno napajanje imamo dostopno v prostoru. Če imamo v delovnem prostoru obstoječo žerjavno progo, je potrebno podati mere tirnic, prav tako pa material in obliko. V obrazec za ponudbo se vpišejo še želje kupca glede barve konstrukcije ter zahteve pri krmiljenju žerjavnega. Izpolnjen obrazec naročnik predloži podjetju, kjer se posvetijo dimenzioniranju in izdelavi žerjavnega, žerjavne proge, pogona in krmiljenja [16], [17].

6 ELEKTRIČNI POGONI ŽERJAVOV: PRIMERJAVA ELEKTROMOTORJEV

Skupaj z žerjavi so se razvijali tudi njihovi pogoni. Za najbolj praktične so se pri manjših napravah izkazali električni, saj so dovolj močni in odzivni, kljub temu pa dovolj robustni za redno delovno uporabo. V preteklosti so prednjačili enosmerni motorji, danes pa so zaradi frekvenčnega vodenja bolj popularni izmenični motorji. Med motorji pri obstoječih žerjavih prednjačita enosmerni motor s komutatorjem ter asinhronski motor. Na tržišču je danes le malo enosmerne motorjev za ta namen, saj so dražji in imajo manjši izkoristek. Vseeno pa je treba upoštevati dejstvo, da je optimizacija in zamenjava ščetk ter servis že vgrajenega enosmerne motorja bolj ekonomičen kot vgradnja novega izmeničnega motorja. Vgradnja novega motorja v praksi namreč pomeni zamenjavo motorja in mehanskih delov, dvižnih kablov in elektronike. Na primeru vgrajenega mostnega žerjava, ki potrebuje motorje na treh področjih, torej za pogon mosta, mačka in dvigalke je jasno, da je strošek zamenjave treh motorjev precejšen. Za primerjavo bom na kratko predstavil delovanje enosmerne in izmenične motorjev.

6.1. Enosmerni motorji

Enosmerni motor je pretvornik energije, ki pretvarja električno energijo v mehansko. Vzbujačni poli enosmerne motorja so nameščeni na statorju, navitje kotve pa na rotorju. Na osi rotorja je nameščen tudi komutator, ob katerega se drgnejo ščetke. Ščetke so povezane na vir enosmerne napetosti. Tok v vzbujačnem navitju zagotavlja konstantno magnetno polje, preko komutatorja pa skozi armaturo teče enosmerni tok. V navitju kotve se zato inducira napetost in dobimo dva električna tokokroga povezana z enim magnetnim fluksom. Pri različicah motorjev, ki so se do danes ohranile v obstoječih žerjavih, prevladujejo mehanski komutatorji s ščetkami [9].



Slika 6.1: Enosmerni motor s komutatorjem [37]

Čeprav so se izmenični motorji od konca 19. stoletja razvijali veliko bolj kot enosmerni, so enosmerni motorji v praksi prevladovali še globoko v drugi polovici 20. stoletja. Razlogov za to je več, eden od njih je dejstvo, da je v delovnih strojih prisoten enosmerni tok. Mobilni žerjavi, ki pogosto obratujejo v zunanjih in težjih razmerah, imajo ponavadi lasten enosmerni vir napajanja preko akumulatorja. Pogoni žerjavov obratujejo v širokem obsegu moči, navora in vrtljajev, potrebujejo pa miren tek in prilagodljivost delovnim pogojem, kar so vse lastnosti enosmernih motorjev. Pred razširjeno uporabo elektronskih usmernikov/razsmernikov je bilo vodenje enosmernih motorjev neprimerno lažje kot izmeničnih. Težave pri enosmernih motorjih je njihova velikost, cena ter kompleksna zgradba. Redno vzdrževanje je nujno, saj pride do obrabe ščetk na komutatorju. Pri pogonih dvigal, za katere se pričakuje nemoteno obratovanje s čim manj vzdrževanja je to pereča težava. Nekateri žerjavi obratujejo daleč stran od urbanih okolij, tam je servis in obnova še toliko večja težava. Za napajanje enosmernega motorja potrebujemo enosmerno napetost. Ker iz omrežja dobimo izmenično napetost, jo moramo usmeriti.

6.2. Spreminjanje števila vrtljajev enosmerne motorja

Število vrtljajev se pri enosmernih motorjih spreminja po enačbi 6.1:

$$n = \frac{U - I_a \cdot R}{k_e^* \cdot \phi_g} \quad (6.1)$$

Tu je:

n - število vrtljajev (1/min),

U - napetost kotve (V),

I_a - tok kotve (A),

R - celotna upornost rotorskega tokokroga (Ω),

k_e^* - koeficient inducirane napetosti,

ϕ_g - magnetni pretok (Vs).

Na število vrtljajev lahko vplivamo s spreminjanjem magnetnega pretoka ϕ_g v zračni reži, s spreminjanjem napetosti kotve U ter redkeje z dodajanjem zaporednega upora R_s v rotorski tokokrog.

Pri zmanjšanju magnetnega pretoka ϕ_g v zračni reži (pri konstantni napetosti kotve U), vrtljaji motorja naraščajo, karakteristike vrtljajev v odvisnosti od momenta pa postajajo vse bolj strme. Pri enaki obremenitvi se povečuje tok in s tem izgube, kar ni ugodno zaradi povečanega segrevanja motorja [1].

$$\uparrow n = \frac{U}{k_e^* \cdot \downarrow \phi_g} - \frac{\uparrow I_a \cdot R}{k_e^* \cdot \downarrow \phi_g} \quad (6.2)$$

Pri spreminjanju napetosti armature U (pri konstantnem ϕ_g) ni dodatnih izgub, dobimo umetne karakteristike vrtljajev in momenta, ki so paralelne naravni karakteristiki. Če zmanjšamo napetost U , se število vrtljajev zmanjša. Tok armature I_a se pri enaki obremenitvi ne spreminja.

$$\downarrow n = \frac{\downarrow U}{k_e^* \cdot \phi_g} - \frac{I_a \cdot R}{\underbrace{k_e^* \cdot \phi_g}_{\text{konst.}}} \quad (6.3)$$

Pri spreminjanju upornosti v rotorskem tokokrogu direktno vplivamo na spreminjanje vrtljajev n in s tem posredno na celotno mehansko karakteristiko enosmernega motorja. Če vstavimo dodaten upor v rotorski tokokrog, pade število vrtljajev n . Tok I_a se pri enaki obremenitvi ne spreminja.

$$\downarrow n = \frac{U}{\underbrace{k_e^* \cdot \phi_g}_{\text{konst.}}} - \frac{I_a \cdot \uparrow R}{k_e^* \cdot \phi_g} \quad (6.4)$$

6.3. Izmenični motorji

Pri pogonih žerjavov danes prevladujejo asinhronski motorji. Razlog za to je možnost delovanja pri različnih hitrostih in velik izkoristek. Na njihovo priljubljenost vpliva tudi ugodna cena. Ker je pri njihovem delovanju malo mehanskega stika med aktivnimi deli, imajo dolgo življensko dobo in ne potrebujejo veliko vzdrževanja. Nove tehnologije so omogočile razvoj ognjevarnih in eksplozijsko varnih motorjev, ki pridejo zelo prav na nevarnih delovnih območjih. Asinhronski motorji so kratkotrajno zmožni prenesti velike obremenitve. Število vrtljajev pada z večjo obremenitvijo, vendar kratko obratovanje pri visokih obremenitvah ni nevarno za pogon. Sinhronski motorji lahko pri preveliki obremenitvi padejo iz sinhronizma in se ustavijo. Prav tako so dizajnirani za obratovanje pri konstantnem številu vrtljajev in so zato neprimerni za nekatere delovne zahteve žerjavov. V preteklosti so bili asinhronski stroji uporabljeni samo pri konstantnih vrtljajih, danes pa so zahvaljujoč frekvenčnim pretvornikom uporabni pri velikih razponih vrtljajev [9].



Slika 6.2: Asinhronski motor s kratkostično kletko [9]

Aktivna dela asinhronskega motorja sta stator in rotor, oba z navitjem. Skozi rotorsko navitje poteka gred. Glede na rotorsko navitje ločimo dve izvedbi asinhronskih motorjev: rotorje s kratkostično kletko in rotorje s trifaznim navitjem in drsnimi obroči. Rotorje z drsnimi obroči uporabljamo v sistemih, kjer želimo večji vpliv na rotorski tok. To nam omogoča povečan nadzor nad hitrostjo vrtenja motorja. Takšni motorji se uporabljajo pri večjih žerjavih. Osredotočil se bom na delovanje asinhronskega motorja s kratkostično kletko. Trifazni asinhronski motor obratuje na principu vrtilnega magnetnega polja, ki ga ustvari tok skozi statorsko navitje, ki je priključeno na trifazni vir napetosti. V statorskem in rotorskem navitju se inducirata napetosti E_s in E_r , rotorska inducirana napetost E_r pa po

rotorju požene rotorski tok I_r . Ta v interakciji z magnetnim pretokom ϕ ustvari vrtilni moment asinhronskega motorja. Če bi rotor dosegel število vrtljajev vrtilnega polja n_s , bi hitrost spreminjanja magnetnega pretoka ϕ postala enaka nič. Tok v kletkastem navitju bi prenehal teči, zaradi česar bi izginil vrtilni moment, ki povzroča vrtenje. Število vrtljajev motorja n je vedno manjše od števila vrtljajev vrtilnega polja n_s .

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (6.5)$$

Tu so:

n – število vrtljajev rotorja (1/min),

n_s – število vrtljajev vrtilnega polja (1/min),

s – slip.

Za zagon večjih motorjev s kratkostičnim rotorjem je pogosto potreben poseben postopek, saj se pri zagonu pojavijo visoki zagonski tokovi. Postopki med zagonom znižajo statorsko napetost, pri čemer se zmanjša zagonski tok I_z ter zagonski vrtilni moment M_z . Če je bremenski vrtilni moment večji kot zagonski, zagon motorja ni več mogoč. Pogosti postopki zagona so: zagonski postopek zvezda/trikot (Y/ Δ), mehki zagon z elektronskim krmiljenjem ter zagon s frekvenčnim pretvornikom.

Pri zagonskem postopku zvezda/trikot mora biti osnovna vezava trikot. Motor zaženemo v vezavi zvezda, pri čemer sta zagonski tok I_z ter zagonski moment M_z za tretjino manjša kot v vezavi trikot. Pri tem je manjša tudi moč motorja. Preklop iz vezave zvezda v vezavo trikot mora biti opravljen dovolj pozno, kajti v primeru prehitrega preklopa ne dosežemo želenega znižanja momenta med zagonom. Razen primernih kontaktorjev se uporabljajo tudi ročna stikala.

Naprave za mehki zagon omogočajo zvezno spreminjanje statorske napetosti. Med zagonom napetost vsakega dovodnega vodnika spreminjamo s pomočjo dveh nasprotno vzporedno vezanih tiristorjev. Na koncu zagona motorja naprava tiristorje samodejno premosti. Glede na moč naprave za mehki zagon premostitev izvedejo notranji vzporedni kontakti ali zunanji kontaktorji. Tako zmanjšujejo izgube, ki bi nastale zaradi segrevanja tiristorjev. Prednosti takega zagona so zvezna in nesunkovita rast vrtilnega momenta, možna kombinacija z elektronskimi zavornimi napravami, prilagoditev zagonskega vrtilnega momenta bremenu ter razmeroma nizka cena.

Frekvenčni pretvornik je naprava, ki omogoča zvezno krmiljenje in regulacijo hitrosti vrtenja trifaznega asinhronskega motorja. Priključimo ga med napajalno omrežje z enofazno ali trifazno napetostjo in motor. Frekvenčni pretvornik prilagaja omrežno napetost konstantne frekvence v delovnem procesu prilagojeni vrednosti napetosti in frekvence. To omogoča, da se lahko motor vrti z različnimi hitrostmi. Pretvorba poteka tako, da se omrežna napetost najprej usmeri, nato pa se v razsmerniku razsmeri nazaj na trifazno izmenično napetost po principu pulzno širinske modulacije. Pri zagonu s

frekvenčnim pretvornikom zvišujemo frekvenco pri tem pa počasi glede na frekvenco zvišujemo napetost. Na splošno je vodenje trifaznih motorjev veliko lažje z uporabo frekvenčnih pretvornikov [4]. Danes se uporabljajo za napajanje v velikem deležu pogonov.

6.4. Spreminjanje števila vrtljajev asinhronskega motorja

Do nedavnega so bili asinhronski motorji uporabljani v delovnih procesih kjer sprememba hitrosti vrtenja ni bila zahtevana. Z razvojem močnostne elektronike so se razvili številni pristopi k regulaciji vrtljajev.

$$n = n_s (1 - s) = \frac{f \cdot 60}{p} (1 - s) \quad (6.6)$$

Tu je:

- n – število vrtljajev rotorja (1/min),
- n_s – sinhronski vrtljaji (1/min),
- f – frekvenca napajalne napetosti (1/s),
- p – število polovih parov.

Iz enačbe (6.6) sledi, da lahko vrtljaje spreminjamo na sledeče načine: s spremembo slipa s , s spremembo števila polovih parov p , s spreminjanjem statorske napetosti U_s (enačba 6.7) ter s spreminjanjem statorske napetosti U_s in statorske frekvence f .

Pri spremembi slipa lahko vrtljaje spreminjamo v področju pod naravno karakteristiko, tako da vključimo v rotorski tokokrog dodatne upore. Pri tem se spremeni omahni slip, medtem ko omahni moment ostane nespremenjen. Momentne karakteristike postajajo bolj mehke. Pri konstantnih momentih bremena, ki so prisotni pri žerjavih, je takšno nastavljanje vrtljajev še posebej neugodno zaradi velikih dodatnih izgub.

Kot je razvidno iz enačbe (6.6) lahko pri spremembi števila polovih parov spreminjamo sinhronske vrtljaje motorju. Področje uporabe je omejeno na motorje s kratkostično kletko, spreminjanje pa je možno samo v stopnjah. Navitja takih motorjev so običajno izvedena z Dahlander vezavo ali pa z ločenimi navitji. Pri dvigalih se uporabljajo tri ali štiri hitrosti. Tri hitrosti so izvedene z Dahlander navitjem in ločenim navitjem, štiri hitrosti pa z dvema Dahlander navitjema. Prednost pri uporabi teh motorjev je tudi v zmanjšanju dinamičnih izgub pri zaviranju in zagonu pogonov.

Pri zmanjševanju statorske napetosti U_s pada tudi karakteristika odvisnosti momenta od vrtljajev. Vrtljaji se znižujejo, vendar so razlike v delovnem območju karakteristike minimalne in so povezane z dodatnimi izgubami.

Ko spreminjamo frekvenco f na statorju se spreminjajo tudi sinhronski vrtljaji n_s . Pri tem se spreminja tudi magnetni pretok ϕ , z njim pa tudi momentna karakteristika.

$$E_s = 4,44 \cdot f_{ns} \cdot N_s \cdot \phi \cdot f \quad (6.7)$$

$$\phi = konst. \Rightarrow \frac{E_s}{f} = konst.$$

Tu je:

E_s – inducirana napetost na statorju (V),

U_s – napetost na statorju (V),

f_{ns} – faktor navitja statorja,

N_s – število navojev na statorju,

ϕ – magnetni pretok (Vs),

f – frekvenca napajalne napetosti (1/s).

Če si pogledamo enačbo za inducirano napetost v statorskem navitju E_s (6.7), vidimo da lahko magnetni pretok ϕ obdržimo konstanten samo tako, da ohranimo konstantno razmerje med E_s in f . Na ostale faktorje, torej število navojev in faktor navitja ne moremo vplivati. Ker lahko direktno spreminjamo samo statorsko napetost U_s , ne pa tudi E_s , je za takšno nastavljanje vrtljajev potrebna regulacija in frekvenčni pretvornik. Ta način spreminjanja vrtljajev se pogosto uporablja in je najbolj primeren za motorje s kratkostično kletko [7].

7 IZBIRA PRIMERNEGA POGONA

Izbira ustreznega pogona za določeno napravo je kompleksen proces, ki prekriva več inženirskih področij, tako elektrotehnike, elektronike kot tudi strojništva. Celotni pogonski sistem namreč sestoji iz električnega stroja, delovnega stroja, naprav krmilne in regulacijske tehnike ter močnostne elektronike. Kvaliteten, gospodaren in optimalen pogon lahko izberemo samo, če upoštevamo vsa ta področja. Pri projektiranju pogona vedno izhajamo iz zahtev delovnega stroja in ne iz karakteristik pogonskega stroja [7]. Odgovornost za verodostojnost in natančnost podatkov o pogonu nosi naročnik.

Potrebno je upoštevati več zahtev, ki so zbrane v tabeli 8.1, da se izbere optimalen pogon. Postopek izbire ustreznih elementov pogonskega sistema v grobem poteka v naslednjem zaporedju: zbiranje podatkov, dimenzioniranje sistema, ugotovitev, kakšen sistem bomo uporabili, izbira komponent, preverjanje sistema in testiranje. Pri zbiranju podatkov je pomembno, da se upošteva delovne pogoje v katerih bo pogon deloval, prav tako pa tudi ekonomska plat investicije. Izbira prevelikega in premočnega sistema je prav tako slaba kot izbira prešibkega, saj tak pogon ne bo nujno fizično ustrezal zahtevam, stroški pa bodo zagotovo večji. Prav tako lahko povzroči nedopustno velik pospeševalni vrtilni moment in

poškoduje gnani stroj in prenosni mehanizem. Motor mora biti primeren za priključitev na obstoječe omrežje. Pogonski sistem bo ustrezno dimenzioniran samo če bodo zbrani podatki pravilno izbrani. Pri tem se poleg samega motorja določi tudi ostale ključne elemente, torej pretvornik, krmilje in regulator. Pri izbiri komponent se upoštevajo kvaliteta, cena, dobavljivost ter tudi možnost podpore in servisa. Pred naročanjem komponent je potrebno preveriti, če so med sabo kompatibilne in pravih dimenzij za delovni prostor. Ko je po teh postopkih načrtovan pogonski sistem sestavljen, ga je pred uporabo na delovišču potrebno testirati. Če je bilo načrtovanje pravilno, problemi ne bi smeli nastati, vendar obstaja možnost, da bo treba kakšno komponento spremeniti ali pa sistem dodatno optimizirati, da dosežemo najbolj učinkovito delovanje [2].

Tabela 7.1: Zahteve, ki jih obravnavamo pri izbiri pogona sistema [2]

Breme	Maksimalna hitrost Pospešek in zaviranje Profil gibanja Dinamični odziv Zunanje sile
Okoljski faktorji	Varnost in tveganje Elektromagnetna kompatibilnost Obseg podnebja in vlažnosti Oskrba z električno energijo in združljivost
Stroški življenjskega cikla	Začetni stroški Obratovalni stroški Stroški vzdrževanja Stroški odstranjevanja
Integracija sistema	Mehanske povezave Legs in sklapljanje Hlajenje Kompatibilnost z obstoječimi sistemi

Iz tabele je razvidno, da lahko zahteve razdelimo v štiri skupine, glede na breme, okoljske faktorje, stroške življenjskega cikla in integracijo sistema. Kljub vsemu so področja, ki jih moramo upoštevati, zelo široka. Kot elektrotehnik se bom posvetil izbiri motorja. Enačbe, ki sledijo se uporabljajo za določanje dimenzij motorja [3]. Nekateri deli preračuna so zaradi obširnosti izpuščeni.

Načrtujemo viseči žerjav [25], namenjen dvigovanju bremen mase 100 kg. Zanima nas ali je motor dvigalke Demag KDP 63 B 2, $P=0,94$ kW, $n=4750$ rpm, $\cos\varphi=0,67$, $v=25$ m/min primeren za takšen žerjav. Motor bo obratoval v obratovalnem ciklu S5, časi pospeška, obratovanja, zaviranja in stanja so: $t_a=2$ s, $t_b=5$ s, $t_{br}=2$ s, $t_{st}=10$ s.

Moč motorja za dvigovanje:

$$P_d = \frac{m_d \cdot v_d \cdot g}{\eta} = \frac{100 \cdot 0,633 \cdot 9,81}{0,8} = 776,21 \text{ kW} \quad (7.1)$$

P_d – moč motorja za dvigovanje (kW),

m_d – skupna masa, ki jo dviguje dvigalni mehanizem (kg),

v_d – hitrost dvigovanja (m/s),

g – težni pospešek (9,81 m/s²)

η – skupni izkoristek dvigalnega mehanizma.

Motor je primerno dimenzioniran glede na zahtevano moč.

Momenti motorja pri dvigovanju:

$$M_d = \frac{m \cdot g \cdot r}{i} \cdot \frac{1}{\eta_r} \cdot \frac{1}{\eta_b} = \frac{100 \cdot 9,81 \cdot 0,0525}{40} \cdot \frac{1}{0,85} \cdot \frac{1}{0,9} = 1,68 \text{ Nm} \quad (7.2)$$

$$M_p = \frac{m \cdot a \cdot r}{i} \cdot \frac{1}{\eta_r} \cdot \frac{1}{\eta_b} = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 0,0525}{40} \cdot \frac{1}{0,85} \cdot \frac{1}{0,9} = 0,26 \text{ Nm}$$

$$M_{zač} = M_d + M_p = 1,94 \text{ Nm}$$

M_d – moment pri konstantni hitrosti dvigovanja (Nm),

M_p – moment pri pospeševanju (Nm),

$M_{zač}$ – začetni moment (Nm),

r – polmer bobna (m),

i – prestava,

η_r – izkoristek reduktorja,

η_b – izkoristek bobna

a – začetni pospešek (m/s²).

Nazivni moment motorja:

$$M_n = \frac{60 \cdot P_n}{2 \cdot \pi \cdot n_m} = \frac{60 \cdot 940}{2 \cdot \pi \cdot 4750} = 1,88 \text{ Nm} \quad (7.3)$$

M_n – nazivni moment motorja (Nm),

P_n – nazivna moč motorja (W),

n_m – vrtljaji motorja (1/min).

Razmerje med nazivnim in realnim momentom motorja znaša:

$$\frac{M_{zač}}{M_n} = \frac{1,94}{1,88} = 1,03 \quad (7.4)$$

Dovoljena vrednost razmerja je nekje med 1 in 1,5. Razmerje momentov je pravilno.

Delovni cikel se preračuna po enačbi:

$$ED = \frac{\sum t_r}{T} \cdot 100\% = \frac{t_a + t_b + t_{br}}{t_a + t_b + t_{br} + t_{st}} \cdot 100\% = \frac{2+5+2}{2+5+2+10} \cdot 100\% = 47\% \quad (7.5)$$

$\sum t_r$ – relativni čas obratovanja,

T – celotni čas obratovanja,

t_a, t_b, t_{br}, t_{st} – čas pospeševanja, obratovanja, zaviranja, mirovanja pogona.

Vrednosti delovnih ciklov ED so ponavadi do 20, 40 ali 60%. Od kvalitete pogona je odvisno ali je obremenitev primerna. V našem primeru pogon zdrži ED do 60%. Iz opravljenih preračunov je razvidno, da je izbrani motor primeren za obratovanje v danem delovnem ciklu.

Tabela 7.2: Uporabljeni motorjev v različnih žerjavih različnih proizvajalcev

Proizvajalec	Vrsta žerjava	Tip motorja	Nosilnost (t)
Liebherr	Mobilni, manjši stolpni	ASM z kratkostično kletko BG 132	(moč 4-6 kW)
	Stolpni, pristaniški	ASM z kratkostično kletko BG 180-315	(moč 24-230 kW)
Konecranes	Viseči (vrvni vitel)	Dvigalo SLX, CLX	med 0,32 in 5000
Siemens	Portalni, pristaniški	Simotics DP ASM	(moč 100-300 kW)
Abus	Mostni (vrvni vitel)	Dvigalo GM 800 – 5100, ASM	med 1 in 120
Terex	Teleskopski, stolpni	Demag ZB ASM s cilindričnim rotorjem in zavoro	(moč 0,5-50 kW)
Indenna	Mostni (vrvni vitel)	Dvigalo SWF Krantechnik NOVA L,M,N,F	med 5 in 250
	Viseči (verižni vitel)	Dvigalo SWF Krantechnik CHAINster	med 0,065 in 5
Insem Atmos	Mostni (vrvni vitel)	Dvigalo Street Cranes ZX, ASM	med 2 in 50
	Viseči (verižni vitel)	Dvigalo RWM W, WR	med 0,125 in 5

8 SKLEP

V projektu sem predstavil tipe žerjavov glede na njihovo namembnost in karakteristike. Predstavil sem pospeševanje in zaviranje električnih motorjev žerjavov ter na se na kratko ustavil pri delovnem ciklu. Pri naročilu žerjava proizvajalca zanimajo različne karakteristike s stališča dolžine in bremena, zato naročnik ponavadi izpolni obrazec, kjer ga po teh karakteristikah sprašujejo. Primer takšnega obrazca sem podal v nalogi. Poiskal sem, kakšni motorji poganjajo žerjave. Enosmerni motorji se kljub dolgoletni tradiciji uporabe zanesljivo poslavljajo, zamenjujejo pa jih izmenični motorji. Predstavil sem delovanje obeh vrst motorjev, ki pa je precej različno, zato je potrebna zamenjava tako motorja kot tudi elektronike ter pogosto tudi mehanskih delov. Vseeno pa se mnogi uporabniki žerjavov odločajo za nadgradnjo motorja, tem je namenjeno zadnje poglavje. V njem sem predstavil postopek izbire pogona in dejavnike, ki jih mora naročnik pri izbiri preučiti, če želi dobiti ustrezno dimenzioniran motor.

Ugotovil sem, da je ponudba široka in se v njej najboljše znajde iznajdljiv in dobro obveščen kupec. V projektu sem želel strniti področja, na katera je potrebno pozoren, če želimo izbrati zanesljiv in cenovno ugoden pogon.

9 VIRI

- [1] El-Sharkawi, M. A. Fundamentals of electric drives. Mason (OH): Cengage Learning, 2000.
- [2] Crowder, R. Electric drives and electromechanical systems. Oxford: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2006.
- [3] Ščap, D. Prenosila i dizala. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, 1990.
- [4] Bastian, P. et al. Elektrotehniški priročnik. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 2013.
- [5] Zagradišnik, I., Slemnik B., Električni rotacijski stoji. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2012.
- [6] Zagradišnik, I., Ritonja J. Električni in elektromehanski pretvorniki. Maribor, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2013.
- [7] Trlep, M. Električni pogoni, skripta. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2012.
- [8] Dolinar, D., Štumberger, G. Modeliranje in vodenje elektromehanskih sistemov. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2006.
- [9] Chapman, S. J. Electric machinery fundamentals. New York: McGraw-Hill, 2005.
- [10] James, M. Zavore pri žerjavih. Dostopno na: <http://www.konecranesusa.com/resources/expert-articles/the-breakdown-holding-brakes-vs-load-brakes-vs-mechanical-load-brakes> [10.8.2016]
- [11] Lyndall, B. What is dynamic braking? Dostopno na: <http://www.konecranesusa.com/resources/lifting-viewpoints/what-is-dynamic-braking> [10.8.2016]
- [12] Zaviranje asinhronskega motorja. Dostopno na naslovu: <http://www.electrical4u.com/induction-motor-braking/> [13.8.2016]
- [13] Parikh, A. Selection of crane duty motors. Dostopno na naslovu: <http://electrical-engineering-portal.com/selection-of-crane-duty-motors-part-1> [15.8.2016]
- [14] Evropska direktiva o žerjavih. Dostopno na naslovu: http://www.ims.si/documents/literatura/direktiva_2006-42-ES.pdf [12.8.2016]
- [15] Lenič, M. Posodobitev električnega pogona mostnega dvigala. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 2016, str. 14-23.

[16] Spletna stran podjetja Insem Atmos. Dostopno na naslovu: <http://www.insem-atmos.si/> [29.7.2016]

[17] Spletna stran podjetja Indenna. Dostopno na naslovu: <http://www.indenna.si/> [29.7.2016]

[18] Stran o tipih žerjavov iz spletne enciklopedije Wikipedia. Dostopno na naslovu: [https://en.wikipedia.org/wiki/Crane_\(machine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Crane_(machine)) [28.7.2016]

[19] Spletna stran proizvajalca žerjavov Liebherr. Dostopno na naslovu: <http://www.liebherr.com/en/deu/start/start-page.html> [3.8.2016]

[20] Spletna stran proizvajalca žerjavov Cargotec. Dostopno na naslovu: <http://www.cargotec.com/en-global/Pages/default.aspx> [3.8.2016]

[21] Spletna stran proizvajalca pogonov Abus. Dostopno na naslovu: <http://www.abuscranes.co.uk/> [8.8.2016]

[22] Spletna stran proizvajalca pogonov SWF Krantechnik. Dostopno na naslovu: <http://www.swfkrantechnik.com/en/about-us/welcome-to-swf.html> [8.8.2016]

[23] Spletna stran ponudbe pogonov podjetja Siemens. Dostopno na naslovu: <http://www.industry.siemens.com/drives/global/en/motor/high-voltage-motors/asyn-squirrel-cage/Pages/asynchronous-squirrel-cage-motors.aspx> [8.8.2016]

[24] Spletna stran o žerjavu Taisun iz spletne enciklopedije Wikipedia. Dostopno na naslovu: <https://en.wikipedia.org/wiki/Taisun> [3.9.2016]

[25] Podatki dvigalke podjetja Demag. Dostopno na naslovu: http://www.demagcranes.us/files/content/sites/us/files/Products/Hebezeuge/Kompakthebezeuge/SpeedHoists/Downloads/21115144_100331.pdf [3.9.2016]

9.1 Viri slik

[26] Slika 2.1: Mobilni žerjav. Dostopno na naslovu: <http://www.kanuequipment.com/products/mobile-cranes/> [3.9.2016]

[27] Slika 2.1: Viseči žerjav. Dostopno na naslovu: <http://www.insem.si/lahki-viseci-zerjavi-in-dvigala.html> [3.9.2016]

[28] Slika 2.1: Konzolni žerjav. Dostopno na naslovu: <http://www.power-technology.com/contractors/powerplant/mechan-cranes/mechan-cranes4.html> [3.9.2016]

[29] Slika 2.1: Mostni žerjav. Dostopno na naslovu: <http://www.buybettertraining.com/overhead-crane-operational-safety-video.aspx> [3.9.2016]

- [30] Slika 2.2: Portalni žerjav. Dostopno na naslovu: <http://cranes.tradekey.com/product-info/300t-Shipyard-Gantry-Crane-Goliath-Crane-Portal-Cranes-1345787.html> [3.9.2016]
- [31] Slika 2.2: Stolpni žerjav. Dostopno na naslovu: <http://cranes.tradekey.com/product-info/Tower-Crane-3408572.html> [3.9.2016]
- [32] Slika 2.2: Teleskopski žerjav. Dostopno na naslovu: [https://en.wikipedia.org/wiki/Crane_\(machine\)#/media/File:Telescopic_crane,_SouthGate,_Bath.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Crane_(machine)#/media/File:Telescopic_crane,_SouthGate,_Bath.jpg) [3.9.2016]
- [33] Slika 2.2: Pristaniški žerjav. Dostopno na naslovu: <http://www.ytgrp.com/Product/list-Port-Crane-en.html> [3.9.2016]
- [34] Slika 4.2: Elektrodinamično zaviranje. Trlep, M. Električni pogoni, skripta. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2012.
- [35] Slika 4.3: Obratovalni cikel S5, prekinjeno obratovanje z električnim zaviranjem. Dostopno na naslovu: <http://electrical-engineering-portal.com/selection-of-crane-duty-motors-part-3> [3.9.2016]
- [36] Slika 5.1: Zahtevani podatki za naročilo mostnega žerjava pri podjetju Indenna d.o.o. Dostopno na naslovu: <http://www.indenna.si/forms/enonosilcno.php> [3.9.2016]
- [37] Slika 6.1: Enosmerni motor s komutatorjem. Dostopno na naslovu: <http://image.slidesharecdn.com/generator-pps-130430013935-phpapp01/95/dc-generator-ppt-27-638.jpg?cb=1367286242> [3.9.2016]
- [38] Slika 6.2: Asinhronski motor s kratkostično kletko. Chapman, S. J. Electric machinery fundamentals. New York: McGraw-Hill, 2005, str. 382.