KATEDRA ZA MEHANIZACIJU
MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU

Pogonske klase dizalica

Klasifikacija dizalica i mehanizama u pogonske klase

Profesor dr Nenad Zrnić, izvodi sa predavanja

Pogonske klase dizalica

Davno je uočeno da **dizalice rade pod vrlo različitim radnim uslovima**. To takođe važi i za pogonske mehanizme na jednoj istoj dizalici. Tako, **dizalice koje služe samo za montažu opreme**, kao na primer u hidro i termo elektranama rade **vrlo retko**, nedeljno ili mesečno, a takođe **još ređe dižu teret za koji su projektovane**, a najčešće dižu daleko manje terete. Kod velikih termoelektrana i hidroelektrana ove dizalice (portalne i mosne) su velikih nosivosti, 250-500 t, a dešava se da prođe i po nekoliko godina dok ne dođe do potrebe za generalnim remontom, a da ne podignu najveći teret - za koji su projektovane. Dakle **retko se upotrebljavaju i još ređe nose naznačene terete**. Osim toga i brzine su male pa praktično nema dodatnih, inercijalnih sila.
Na drugoj strani postoje dizalice, poput onih u železarama, **koje rade u tri smene, 24 sata, jer su sastavni deo tehnološkog procesa**. Osim toga rade pod **vrlo teškim radnim uslovima**: visokim temperaturama, prašini, sa velikim brzinama a time i velikim inercijalnim silama, velikim brojem radnih ciklusa po satu, vrlo često, ili stalno, nose naznačeni (maksimalni) teret. Dakle ove dizalice imaju veliki broj radnih ciklusa po satu i uglavnom nose naznačeni ili njemu blizak teret. Naravno, između ove dve grupe nalazi se **veliki broj dizalica koje rade pod radnim uslovima koji se nalaze između**. Zbog napred uočenih velikih razlika u radnim opterećenjima, kako dizalice kao celine tako i pojedinih njenih delova i mehanizama, postavljalo se davno pitanje kako sve to uzeti u obzir, kako pri ugovaranju tako i pri proračunavanju i projektovanju dizalice i njenih pogona.

Istorijat standarda i aktuelno stanje

1916 Prvi standard vezan za bezbedan rad sa dizalicama
1936 DIN 120, uzeo u obzir radne uslove kao značajne za projektovanje dizalica, daje koeficijenta za proračun, dizalice su podeljene u 4 pogonske klase.
Napredovanjem nauke došlo se do novih saznanja koja su omogućila stvaranje savremenijih standarda za projektovanje. Tako je došlo do podele dizalica i pogonskih mehanizama u pogonske klase. Tako postoje standardi ISO, DIN, EN ili FEM koji definišu klasifikaciju dizalica u pogonske klase. Da bi se što bolje prilagodile radnim uslovima, dizalica i njeni delovi su podeljeni u pogonske klase. Ova podela važi za **sve vrste dizalica koje služe za vertikalno dizanje tereta, kod kojih kao noseći organ služi uže ili lanac (industrijske, građevinske i lučke dizalice).** Podela ne važi za liftove, žičare i plovne dizalice. Danas, koristeći nova saznanja iz oblasti teorije i prakse, važeći standardi omogućavaju da daleko bolje i tačnije uzmemo u obzir stvarna naprezanja, i preko standarda - propisa unesemo ih u proračun i projektovanje dizalice. Tako se, podelom dizalica i pogonskih mehanizama u pogonske klase određuju odgovarajući sigurnosni faktori za proračun.
Standardi se suštinski ne razlikuju ali svakako da **ne treba mešati primenu tih standarda**.
Srbija je tek nedavno usvojila standarde (EN standardi), a stari standardi JUS M.D1.020 i JUS M.D1.050 su povučeni iz upotrebe, premda su većina postojećih dizalica kod nas projektovane po tim standardima, a oni se u nedostatku aktuelnih pravilnika za dizalice još uvek ponegde koriste u projektovanju.
Pogonske klase su nekada bile definisane standardom JUS M.D1.020/1964.

Prema režimu rada u bivšem JUS standardu postoje četiri (IV) pogonske **klase:Laki režim; Srednji režim; Teški režim;Veoma teški režim.**

Kao osnova za uvršćavanje dizalice u određenu pogonsku klasu služe brojčane vrednosti sledećih parametara:

•Broj radnih ciklusa na sat, n;

•Naznačeni (nazivni) teret, Q_n;

•Prosečni transportovani teret, Q_s;

•Relativno opterećenje, q_r;

•Stvarno radno vreme, T_s;

•Teorijsko radno vreme, T_t;

•Godišnje stvarno radno vreme, T_g;

•Teorijski vek trajanja, V_t;

Pogonska klasa se određuje za dizalicu kao celinu, noseću konstrukciju i pogonske mehanizme. Dizalica kao celina se razvrstava u pogonsku klasu noseće konstrukcije, a za noseću konstrukciju važi pogonska klasa pogona za glavno dizanje.

Pod radnim ciklusom podrazumeva se skup operacija koje dizalica, odnosno njen pojedini pogon, izvrši u toku jednokratnog dizanja, premeštanja i spuštanja tereta i dovođenja u stanje pripravnosti za sledeći zahvat.

Pod prosečnim transportovanim teretom Q_s podrazumeva se aritmetička sredina svih u izvesnom vremenskom intervalu (po pravilu za 24 h) transportovanih pojedinačnih tereta Q_x (x=1 do p, gde je p broj radnih ciklusa u posmatranom intervalu – 24h) u tonama:

$$Q_s = \frac{Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_p}{p} = \frac{\sum_{x=1}^{p} Q_x}{p}$$

Pod relativnim opterećenjem podrazumeva se odnos, izražen u procentima, prosečnog transportovanog tereta prema naznačenom teretu;

$$q_r = \frac{Q_s}{Q_n} \cdot 100\%$$

Pod stvarnim radnim vremenom T_s u h, podrazumeva se merenjem ustanovljeni zbir trajanja svih radnih ciklusa koje dizalica, odnosno njeni pojedini pogoni, izvrše za 24h.
Pod teorijskim radnim vremenom T_t podrazumeva se dužina vremena u h, u toku koga bi dizalica, odnosno njeni pojedini pogoni, trebalo da rade dnevno za 24h pod naznačenim opterećenjem Q_n, da bi njen (njihov) vek trajanja bio isti kao pri stvarnom radnom vremenu pri prosečnom transportovanom teretu Q_s.
Na osnovu opšteg odnosa između veka trajanja V i opterećenja Q i dužine radnog vremena T, koji se može izraziti empirijskom jednačinom, gde je k iskustvom određeni koeficijent:

$$V = \frac{k}{T \cdot Q^3}, \frac{k}{T_t \cdot Q_n^3} = \frac{k}{T_s \cdot Q_s^3}$$

Na osnovu ovog izraza dobija se odnos između teorijskog i stvarnog radnog vremena;

$$\frac{T_t}{T_s} = \frac{Q_s^3}{Q_n^3} = \left(\frac{q_r}{100}\right)^3, T_t = T_s\left(\frac{q_r}{100}\right)^3$$

Pod godišnjim stvarnim vremnom T_g u h, podrazumeva se zbir svih stvarnih radnih vremena za godinu dana.

Pod teorijskim vekom trajanja V_t u h, podrazumeva se desetogodišnji zbir svih radnih vremena računajući godine samo po 365 dana, po obrascu:

$$V_t = 10 \times 365 T_t = 3650 T_t$$

Pogonska klasa dizalice ili njenih pojedinih pogona određuje se na osnovu vrednosti parametara u tabeli, a zatim je data približna korelacija između pog. klase i drugih parametara

Oznaka pogonske klase		Broj radnih ciklusa na sat n	Teorijsko radno vreme T_t u h
Naziv	Broj		
Laka	1	Do 16	Do 0,5
Srednja	2	Preko 16 do 32	Preko 0,5 do 1
Teška	3	Preko 32 do 63	Preko 1 do 2
Vrlo teška	4	Preko 63	Preko 2

Oznaka pogonske klase	Relativno opterećenje q_r %	Stvarno radno vreme za 24h, T_s u h	Teorijski vek trajanja $V_t \approx$h	Godišnje stvarno radno vreme, T_g u h
1	Do 56	2,8 do 5,6	2000	Do 2000
2	Preko 56 do 63	4 do 8	4000	Preko 2000 do 3000
3	Preko 56 do 70	5,6 do 11,2	8000	Preko 3000 do 4000
4	Preko 63	8 do 16	16000	Preko 4000

U pogonsku klasu 1 prema JUS M.D1.020 ulaze:
- Mosne dizalice sa ručnim pogonom;
- Montažne dizalice u energetskim postrojenjima;
- Industrijske dizalice za povremenu upotrebu;
- Mosne dizalice za održavanje;
-Dizalice sa krakom na portalu ili stubu za povremeno dizanje tereta koji je blizak nazivnim teretu.

U pogonsku klasu 2 ulaze:
- Dizalice za opštu upotrebu u radionicama, fabrikama i skladištima;
- Teške industrijske dizalice u livnicama, radionicama za teške čelične konstrukcije;
-Pretovarne dizalice.

U pogonsku klasu 3 ulaze:
- Dizalice sa čestim uključivanjem i sa visokim relativnim opterećenjem;
- Mosne dizalice u čeličanama i valjaonicama;
- Dizalice za težak rad u livnicama kao i dizalice za rad sa magnetom i grabilicom;
-Derik dizalice za rad u livnicama sa grabilicom.

U pogonsku klasu 4 ulaze:
- Dizalice sa kontinualnim radom u valjaonicama i čeličanama;
- Dizalice sa kontinualnim radom sa grabilicom;
- Pretovarne dizalice koje rade sa velikim brzinama i to u radu sa magnetima i grabilicama.

Prema standardu **ISO4301/1** klasifikacija važi za: mobilne-pokretne dizalice, toranjske-građevinske dizalice, dizalice sa strelom, mosne i portalne dizalice.
Za određivanje pogonske klase dizalice kao celine koriste se dva faktora:
•**učestanost opterećivanja - klasa korišćenja**,
•**stanje opterećenosti**.

Učestanost opterećivanja - klasa korišćenja
Učestanost opterećivanja ili klasa korišćenja, karakteriše **učestanost korišćenja dizalice kao celine**, odnosno **broj radnih ciklusa dizalice, u toku čitavog veka trajanja. Broj radnih ciklusa**, prema ISO4301/1 iz 1986 godine, je određen kao **konvencionalni broj radnih ciklusa**. Jedan radni ciklus opterećivanja počinje u momentu dizanja tereta a završava se kada je dizalica spremna za ponovni zahvat.
Međutim **FEM (1.001 iz 1987)** propisi daju nešto manji broj grupa, što se suštinski ne razlikuje od podele po ISO. Takođe treba reći da se i standardi drugih zemalja (DIN na primer) nešto razlikuju, na primer po usvojenom broju ciklusa po grupama, što je razumljivo, jer se **radi o proceni, a ne o egzaktnoj računici**.
Brojevi ciklusa podizanja dati u tabeli su rezultat stvarnog opterećenja, odnosno proističu iz opisanog režima rada dizalice. Naime, **uobičajeno je da je proračunski vek dizalice 10 godina**, pa za 250 radnih dana i 8 sati po smeni, ukupni računski vek trajanja iznosi T=10 x 250 x 8=20000 h. Ako se usvojeni konvencionalni brojevi ciklusa po klasama podele sa ovom vrednošću dobija se broj ciklusa podizanja po satu: za klasu A=3 cikl/h, što odgovara slučajnom neregularnom radu, za klasu B=10 cikl/h, što odgovara regularnom ali prekidnom radu, C=30 cikl/h, što odgovara regularnom trajnom radu, itd.

Klase korišćenja (ISO 4301/1-1986 god.)

Klasa korišćenja	Maksimalni broj radnih ciklusa	Primedba
K_o	$1,6 \cdot 10^4$	Neredovna slučajna upotreba
K_1	$3,2 \cdot 10^4$	
K_2	$6,3 \cdot 10^4$	
K_3	$1,25 \cdot 10^5$	
K_4	$2,5 \cdot 10^5$	Regularna upotreba sa dužim prekidima
K_5	$5 \cdot 10^5$	Redovna upotreba sa prekidima
K_6	$1 \cdot 10^6$	Redovna upotreba, intezivan rad
K_7	$2 \cdot 10^6$	Regularan, težak rad, više od jedne smene
K_8	$4 \cdot 10^6$	
K_9	$>4 \cdot 10^6$	

Učestanost opterećivanja (FEM)

Klasa učestanosti opterećivanja	Konvencionalni broj radnih ciklusa	Primedba
A	$6{,}3 \cdot 10^4$ (3 ciklusa/h)	Slučajan, neregularan rad
B	$2{,}0 \cdot 10^5$ (10 ciklusa/h)	Redovna upotreba sa prekidima
C	$6{,}3 \cdot 10^5$ (30 ciklusa/h)	Redovna upotreba, intezivan rad, sa malim prekidima
D	$2{,}0 \cdot 10^6$ (100 ciklusa/h)	Regularan, težak rad sa više od jedne smene

Stanje opterećenosti

Stanje opterećenosti ili spektar opterećenja, pokazuje koliko puta dizalica podiže naznačeni (maksimalni) teret Q_n ili neki manji teret Q. Ovo je jedan od najvažnijih faktora koji karakteriše težinu rada dizalice. Ovaj pojam se karakteriše spektrom podignutih tereta, koji označava broj ciklusa u kojima se postiže određeni razlomak nazivnog opterećenja. U praksi su usvojena 4 konvencionalna stanja opterećenosti - spektra opterećenja, koji se izražavaju preko **koeficijenta spektra opterećenja** K.

Koeficijent spektra opterećenja (**koeficijent kolektiva opterećenja**) se određuje izrazom:

$$K = \sum \left(\frac{C_i}{C_T} \left(\frac{Q_i}{Q_n} \right)^3 \right)$$

gde su:
C_i=srednji broj ciklusa rada za svaki nivo opterećenja, $C_i=C_1,C_2,C_3, \ldots,C_n$.
C_T=ukupan broj svih posebnih ciklusa za sve nivoe podizanja

$$C_T = \sum_{i=1}^{n} C_i = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots C_n$$

Qi=broj pojedinih posebnih nivoa opterećenja, $Q_i = Q_1, Q_2, Q_3, \ldots, Q_n$

$Q_n = Q_{max}$ je naznačeno opterećenje

Ako se prethodna jednačina razvije dobija se izraz za koeficijent spektra opterećenja:

$$K = \frac{C_1}{C_T}\left(\frac{Q_1}{Q_{max}}\right)^3 + \frac{C_2}{C_T}\left(\frac{Q_2}{Q_{max}}\right)^3 + \frac{C_3}{C_T}\left(\frac{Q_3}{Q_{max}}\right)^3 + \ldots + \frac{C_n}{C_T}\left(\frac{Q_n}{Q_{max}}\right)^3$$

Očigledno je da **koeficijent spektra opterećenja (K) zavisi od:**

-**broja ciklusa rada za svaki nivo opterećenja,**
-ukupnog broja svih posebnih ciklusa za sve nivoe opterećenja,
-broja posebnih nivoa opterećenja,
-naznačenog (nazivnog) opterećenja.

Na taj način je formirana tabela za stanje opterećenosti, prema ISO 4301/1:

Stanje opterećenosti	Koeficijent K	Opis stanja opterećenosti
1 lako	0,125	Dizalica izuzetno diže nazivni teret, a stalno diže manje terete
2 srednje	0,25	Dizalica retko diže nazivni teret a obično diže terete oko 1/3 nazivnog tereta
3 teško	0,50	Dizalica često diže nazivni teret a stalno terete između 1/3 i 2/3 nazivnog tereta
4 vrlo teško	1,00	Dizalica po pravilu diže terete bliske nazivnom teretu

Pogonski mehanizmi dizalica su u radu različito opterećeni. Na jednoj dizalici njeni pogoni takođe nisu podjednako opterećeni. Pogon dizanja može biti veoma opterećen kod jedne dizalice, a pogon kretanja veoma malo. Npr. kod obalskih kontejnerskih dizalica opterećeni su pogoni dizanja i kretanja kolica, dok je pogon kretanja cele dizalice malo opterećen i koristi se isključivo za pozicioniranje dizalice na mestu pretovara u luci.

Određivanje pogonske klase

Na osnovu faktora klase korišćenja odnosno učestanosti opterećivanja i faktora stanja opterećenosti, sve dizalice i sklopni delovi podeljeni su u osam (ISO 4301/1), odnosno šest klasa (FEM), koje su date u tabelama na sledećem slajdu.

Pogonske klase dizalica i sklopnih delova, ISO 4301 /1 -1986 god.

Stanje opterećenosti	Koeficijent spektra opterećenja	Klasa korišćenja i maksimalni broj radnih ciklusa									
		K_0	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9
1 lako	0,125			A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
2 srednje	0,25		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	
3 teško	0,5	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8		
4 vrlo teško	1,00	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8			

Pogonske klase dizalica i sklopnih delova po FEM

Stanje opterećenosti	Koeficijent spektra opterećenja	Učestanost opterećivanja			
		A $6,3\cdot10^3$ 3ciklusa/h	B $2,0\cdot10^5$ 10 ciklusa/h	C $6,3\cdot10^5$ 30 ciklusa/h	D $2,0\cdot10^6$ 100 ciklusa/h
1 lako	0,125	1	2	3	4
2 srednje	0,25	2	3	4	5
3 teško	0,5	3	4	5	6
4 vrlo teško	1,00	4	5	6	6

Približna podele dizalica u pogonske klase

Vrlo često je teško odrediti odnosno dobiti stvarne podatke za navedene parametre koji bliže definišu pogonsku klasu dizalice, pa se pogonska klasa dizalice može odrediti na osnovu njene namene a prema sledećoj tabeli.

Vrsta dizalice	Učestanost opterećivanja	Stanje opterećenosti	Klasa
1.Mosne dizalice	A	1-2	1-2
2.Montažne i demontažne dizalice	A	2-3	2-3
3.Skladišne dizalice	B-C	2-3	3-4-5
4.Radionićke dizalice sa kukom	B	2-3	3-4
5.Dizalice sa grabilicom	B-C-D	4	5-6
6.Dizalice na prostoru za otpad ili magnetne dizalice	B-C	4	5-6
7.Livačke dizalice	B	4	5
8.Dizalice za opsluživanje čekića sa slobodnim padom	B-C	4	5-6
9.Striper dizalice	C-D	4	6
10.Dizalice za opsluživanje dubinskih peći	B-C	4	5-6
11.Dizalice za šaržiranje	C-D	4	6
12.Kovačke dizalice	C-D	3-4	5-6
13.Dizalice sa teleskopskom strelom			4-5-6
14.Portalne dizalice sa kukom za teret za skladištenje materijala	B-C	3	4-5
15.Portalne dizalice sa grabilicom	B-C-D	4	5-6
16.Portalne dizalice sa kukom za utovar i istovar vozila	B-C	3	4-5
17.Portalne dizalice za skladišni prostor	B-C-D	4	- 5-6
18.Portalne dizalice za istovar materijala	A-B	2-3	2-3-4

Vrsta dizalice	Učestanost opterećivanja	Stanje opterećenosti	Klasa
20.Obrtne dizalice za utovar i istovar materijala	A-B	2-3	2-3-4
21 .Obrtne dizalice sa kukom	B-C	3	4-5
22.Obrtne dizalice sa grabilicom	B-C-D	4	5-6
23.Heling-dizalice	B	3-4	4-5
24.Lučke dizalice sa kukom	B-C	3	4-5
25.Lučke dizalice sa grabilicom	B-C	4	5-6
26.Obrtne dizalice za neuobičajeni pogon	A	1-2	1-2
27.Plovne dizalice sa kukom	A-B	3	3-4
28.Plovne dizalice sa grabilicom	A-B	4	4-5
29.Građevinske dizalice	A-B	3	3-4
30.Dizalice za raščišćavanje pruge posle nesreće	A	2-3	2-3
31.Brodske dizalice	B	3-4	4-5
32.Veiosiped dizalice	B-C	3	4-5
33.Derik dizalice	A	3	3
34.Mačka na kretnoj šini (zavisno od vrste primene)			4-5-6

Važeći standard **SRPS EN 13001-1**

Bezbednost dizalica – Konstrukcija uopšte –
Deo 1: Opšti principi i zahtevi

Klasifikacija se koristi da odredi i ugovori uslove rada dizalice i/ili dodatnih uređaja za dizanje koji su pojedinačno projektovani i proizvedeni. Ona se takođe koristi da odredi uslove rada dizalice i/ili dodatnih uređaja za dizanje koji su projektovani za serijsku proizvodnju, čime omogućava da se takvi sklopovi izaberu u skladu sa predviđenom namenom. Uslovi rada se razmatraju uopšteno, nezavisno od vrste dizalice i načina njenog pogona.

Uslovi rada određeni su sledećim parametrima:
a) ukupni broj radnih ciklusa za vreme određenog veka trajanja,
b) prosečna rastojanja,
c) relativne učestanosti transportovanih tereta (kolektiv ili spektar tereta),
d) prosečni broj ubrzanja po kretanju.
Kada se koriste klasifikovani opsezi parametara, projektovanje mora da se bazira na najvećim vrednostima parametara unutar određenih klasa. Dozvoljena je upotreba međuvrednosti parametra, ali u tom slučaju umesto klase mora da se odredi i označi ova projektna vrednost.

Opseg ukupnih brojeva radnih ciklusa *C* klasifikovan je u tabeli.

Klasa	Ukupni broj radnih ciklusa
U_0	$C \leq 1{,}60 \cdot 10^4$
U_1	$1{,}60 \cdot 10^4 < C \leq 3{,}15 \cdot 10^4$
U_2	$3{,}15 \cdot 10^4 < C \leq 6{,}30 \cdot 10^4$
U_3	$6{,}30 \cdot 10^4 < C \leq 1{,}25 \cdot 10^5$
U_4	$1{,}25 \cdot 10^5 < C \leq 2{,}50 \cdot 10^5$
U_5	$2{,}50 \cdot 10^5 < C \leq 5{,}00 \cdot 10^5$
U_6	$5{,}00 \cdot 10^5 < C \leq 1{,}00 \cdot 10^6$
U_7	$1{,}00 \cdot 10^6 < C \leq 2{,}00 \cdot 10^6$
U_8	$2{,}00 \cdot 10^6 < C \leq 4{,}00 \cdot 10^6$
U_9	$4{,}00 \cdot 10^6 < C \leq 8{,}00 \cdot 10^6$

Klase *U* ukupnih brojeva radnih ciklusa *C*

Postoje operacije koje se javljaju ređe nego radni ciklusi, ali koje moraju da se uzmu u obzir pri dokazu čvrstoće na zamor, kao što su:

a) dizanje/spuštanje strele dizalice za pretovar brodova,

b) montaža/demontaža mobilne ili toranjske dizalice,

c) premeštanje lučke dizalice iz jednog radnog položaja u drugi.

Mora da se odredi ukupni broj takvih operacija u toku veka trajanja.

Ukupni broj radnih ciklusa dizalice u toku veka trajanja može da se podeli u brojeve radnih ciklusa koji odgovaraju određenom broju tipičnih zadataka.

Relativni broj radnih ciklusa $\boldsymbol{\alpha}_r$ za svaki radni zadatak *r* dat je izrazom:

$\alpha_r = C_r/C$

gde je:

C - ukupni broj radnih ciklusa u toku veka trajanja dizalice,

C_r - broj radnih ciklusa u zadatku *r*.

Učestanost opterećenja

Faktor kolektiva spektra tereta k_Q jedan je od parametara koji specificiraju radne uslove dizalice opisujući različite neto terete kojima se manipuliše tokom radnih kretanja; on takođe opisuje promenljiva opterećenja pogona dizanja tokom radnih kretanja i on mora da se uzme u obzir pri dokaznom proračunu.

Faktor kolektiva (spektra tereta) k_{Qr} za svaki zadatak r određen je sa:

$$k_{Q_r} = \sum_i \frac{C_i}{C_r} \cdot \left(\frac{Q_i}{Q_r}\right)^3$$

gde je:

C_i broj radnih ciklusa tokom kojih se u radnom zadatku r manipuliše teretom i veličine Q_i,

C_r broj radnih ciklusa u radnom zadatku r,

Q_i veličina i-tog tereta,

Q_r najveći neto teret u radnom zadatku r.

Izraz C_i/C_r daje relativni broj radnih ciklusa. Relativni teret je dat sa Q_i/Q_r.

Ako ima više od jednog zadatka, veličina k_Q za sve zadatke određena je kao:

$$k_Q = \sum_r \frac{C_r}{C} \cdot kQ_r \cdot \left(\frac{Q_r}{Q}\right)^3$$

gde je Q najveća vrednost Q_r u svim zadacima

$$C = \sum_r C_r$$

Ako nisu poznate pojedinosti u vezi broja radnih ciklusa i mase pojedinih neto tereta kojima treba da se manipuliše, korisnik, proizvođač i projektant moraju da ugovore odgovarajuću relativnu učestanost za svaki radni zadatak *r*.
Tabela pokazuje klase *Q* faktora kolektiva spektra tereta k_Q.

Klasa	Faktor kolektiva (spektra) tereta
Q_0	$kQ \leq 0{,}0313$
Q_1	$0{,}0313 < kQ \leq 0{,}0625$
Q_2	$0{,}0625 < kQ \leq 0{,}1250$
Q_3	$0{,}1250 < kQ \leq 0{,}2500$
Q_4	$0{,}2500 < kQ \leq 0{,}5000$
Q_5	$0{,}5000 < kQ \leq 1{,}0000$

Klase *Q* faktora kolektiva (spektra) tereta k_Q

Kada je na osnovu klasifikacije, za opis tereta kojima treba da se manipuliše, upotrebljen samo jedan faktor kolektiva spektra tereta, neophodno je da se odrede relativne učestanosti koje izazivaju najveći deo zamornog oštećenja na razmatranom mestu. Ovo stoga što pri istom faktoru kolektiva (spektra) tereta različite učestanosti neto tereta mogu da proizvedu različite efekte od zamora na pojedinim mestima.

Pogonske grupe mehanizama

Pogonski mehanizmi dizalica su u svom radu različito opterećeni. Sve što je rečeno napred za različite radne uslove dizalica važi i za mehanizme, s tim što i na samoj dizalici pogoni nisu podjednako opterećeni. Za razvrstavanje pogonskih mehanizama u pogonske grupe-klase, koriste se dva faktora:

- **klasa radnog vremena - klasa upotrebe mehanizma**
- **stanje opterećenosti.**

Klasa upotrebe mehanizma - klasa radnog vremena

Klasa radnog vremena se određuje prema srednjem vremenu rada na dan (u satima), broja radnih dana u godini i broja predviđenih godina rada. Za pogonski mehanizam se smatra da je u radu samo onda kada isti radi, odnosno nalazi se u pokretu.

U toku tako definisanog radnog vremena pogonski mehanizam je različito opterećen odgovarajućim spektrom opterećenja.

Za pogonske mehanizme koji se u toku godine neravnomerno koriste, što je najčešći slučaj, dnevno radno vreme se određuje tako što se ukupno godišnje radno vreme podeli sa 250 dana. Klase radnog vremena date su u tabeli na sledećem slajdu.

Klase upotrebe	Srednje dnevno radno vreme u satima	Teorijski vek trajanja u satima	Opis rada mehanizma
$V_{0,12}$	0,25	400	Slučajno korišćenje
$V_{0,25}$	0,5	800	
$V_{0,5}$	1	1600	Neredovna upotreba sa dužim pauzama
V_1	2	3200	Redovan rad sa dužim pauzama
V_2	4	6300	Redovan rad
V_3	8	12500	Intezivan neredovan rad
V_4	16	25000	Intezivan rad
V_5	>16	50000	Intezivan rad više od jedne smene

Stanje opterećenosti

Stanje opterećenosti označava u kojoj je meri neki mehanizam opterećen potpuno ili delimično. Stanje opterećenosti se i ovde izražava preko koeficijenta spektra opterećenosti K, i usvojena su četiri konvencionalna stanja opterećenosti. Međutim **koeficijent K se posebno određuje za mehanizam za dizanje a posebno za mehanizam za kretanje.**

Stanje opterećenosti mehanizma za dizanje

Stanje opterećenosti mehanizma za dizanje se izražava koeficijentom spektra opterećenja K_Q, koji se određuje izrazom:

$$K_Q = \sum \left(\frac{t_i}{t_T} \left(\frac{Q_i}{Q_n} \right)^3 \right)$$

gde su:

t_i=srednje vreme rada za dati nivo individualnog opterećenja $t_i = t_1, t_2, t_3, ..., t_n$

t_T je ukupno vreme rada svih individualnih vremena na svim nivoima opterećenja.

$$t_T = \sum_{i=1}^{n} t_i = t_1 + t_2 + t_3 + ...t_n$$

Q_i je broj pojedinih posebnih nivoa opterećenja $Q_i = Q_1, Q_2, Q_3, ..., Q_n$

$Q_n = Q_{max}$ je naznačeno opterećenje

Prethodna jednačina može da se razvije:

$$K_Q = \frac{t_1}{t_T} \left(\frac{Q_1}{Q_{max}} \right)^3 + \frac{t_2}{t_T} \left(\frac{Q_2}{Q_{max}} \right)^3 + \frac{t_3}{t_T} \left(\frac{Q_3}{Q_{max}} \right)^3 + ... + \frac{t_n}{t_T} \left(\frac{Q_n}{Q_{max}} \right)^3$$ ili da se napiše u obliku:

$$K_Q = (\beta_1 + \gamma)^3 t_1 + (\beta_2 + \gamma)^3 t_2 + ... + \gamma^3 t_0$$ gde su:

β_i = koristan teret/naznačeni (nazivni) teret

γ = mrtvi teret/naznačeni (nazivni) teret

$t_i = (t_i) / \sum t_i$ = radno vreme sa korisnim teretom/ukupno radno vreme

$t_0 = (t_0) / \sum t_i$ = vreme sa mrtvim teretom/ukupno radno vreme, prema ISO 4301/1, u FEM 9.511 oznaka je t_Δ

U mrtav teret spadaju mase zahvatnih uredjaja, npr. grabilica, magnet, traverza, itd.

Stanje opterećenosti mehanizma za kretanje

Izračunavanje stanja opterećenosti mehanizma za kretanje je dosta komplikovanije. Zbog značajnog uticaja na opterećenje mehanizma treba uzeti u obzir inercijalne sile koje nastaju pri ubrzanju i kočenju, vremena njihovog trajanja, broj ubrzanja i kočenja itd. Zato jednostavna primena izraza kao kod mehanizama za dizanje ne bi bila opravdana jer nije jasan način kako izračunati veličine pojedinih nivoa opterećenja. Osim toga kod najvećeg broja dizalica proces opterećivanja je manje-više stohastički pa to još komplikuje proračun koeficijenta spektra opterećenja. Da bi se shvatila suština procesa opterećivanja jednog pogonskog mehanizma u daljem postupku daje se postupak za izračunavanje koeficijenta K koji se primenjuje kod pogona regalnih dizalica kod kojih su napred navedeni faktori (ubrzanje, putevi) određeni, ali koji može da se primeni i za ostale dizalice, uz ograde koje su već navedene.

Stanje opterećenosti mehanizma za kretanje određuje se prema vrednosti koeficijenta K_M koji je dat izrazom:

$$K_M = K_1 \cdot K_2$$

Koeficijenat K_1 izražava uticaj masa koje se kreću i određuje se na sličan način kao koeficijent mehanizma za dizanje:

$$K_1 = \sum \left(\frac{t_i}{t_T} \left(\frac{Q_i + G}{Q_n + G} \right)^3 \right)$$

gde su:
G = masa dizalice koju pokreće mehanizam; za pogon kolica (mačke) to je masa kolica sa masom zahvatnih organa; za pogon dizalice to je ukupna masa dizalice. Q_i = delimični tereti koji se prenose u vremenima t, Q_n = naznačeni teret, a t_T = ukupno vreme. Prethodna jednačina može se napisati u obliku:

$$K_1 = \left(\beta_1 + \gamma_M\right)^3 t_1 + \left(\beta_2 + \gamma_M\right)^3 t_2 + \ldots + \gamma_M^3 t_0$$ gde su:

β_i = koristan teret/ukupna masa

γ = mrtvi teret/ukupna masa

$t_i = (t_i) / \sum t_i$ = radno vreme sa korisnim teretom/ukupno radno vreme

$t_0 = (t_0) / \sum t_i$ = vreme sa mrtvim teretom/ukupno radno vreme, prema ISO, prema FEM 9.511 je t_Δ.

Koeficijenat K_2 izražava uticaj opterećenja za vreme rada. Rad svakog mehanizma sastoji se iz tri perioda (pri tome se usvaja da periodi ubrzanja i usporenja imaju isto vreme):

- perioda ubrzanja
- perioda stacionarnog kretanja
- perioda usporenja

Koeficijenat K_2 odredjuje se izrazom:

$$K_2 = \alpha_1^3 t_1 + \alpha_2^3 t_2$$

gde su:

α_1=naprezanja od inercijalnih sila/maksimalna naprezanja; t_1 = vreme ubrzanja i usporenja/ukupno vreme; α_2 = naprezanja pri ustaljenom kretanju/maksimalna naprezanja; t_2=vreme ustaljenog kretanja/ukupno vreme kretanja

Stanje opterećenosti mehanizma dizanja i kretanja izražava se kao što je već rečeno kroz četiri konvencionalna stanja opterećenosti, koja su data u tabeli na sledećem slajdu.

Stanje opterećenosti pogonskih mehanizama, ISO 4301/1

Stanje opterećenosti	Opis stanja opterećenosti	Koeficijenti K_Q, K_M
1 lako	Pogonski mehanizmi ili delovi izuzetno izloženi najvećim opterećenjima, a stalno manjim	0,125
2 srednje	Pogonski mehanizmi ili delovi mehanizama koji su otprilike za isto vreme opterećeni malim, srednjim i velikim opterećenjima odnosno naprezanjima	0,25
3 teško	Pogonski mehanizmi ili delovi mehanizama koji su najčešće izloženi najvećim i njima sličnim opterećenjima odnosno naprezanjima	0,50
4 vrlo teško	Pogonski mehanizmi koji su redovno izloženi najvećim opterećenjima odnosno naprezanjima	1,00

Na osnovu ova dva faktora, faktora klase upotrebe mehanizma odnosno klase radnog vremena i stanja opterećenosti, određuju se pogonske grupe mehanizama date u tabeli na sledećem sjajdu. Prema FEM 9.511, koji po suštini u potpunosti odgovara standardu ISO, koeficijent spektra opterećenja računa se kao kubni koren:

$$k = \sqrt[3]{\left(\beta_1 + \gamma\right)^3 t_1 + \left(\beta_2 + \gamma\right)^3 t_2 + \ldots + \gamma^3 t_\Delta}$$

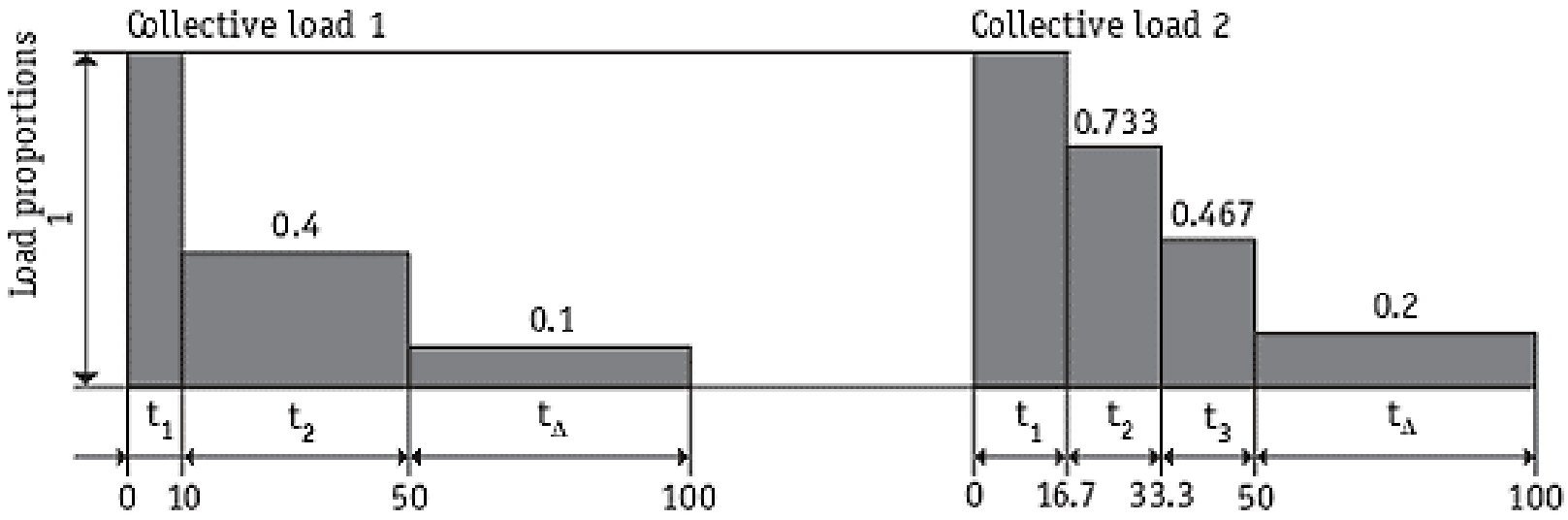
Grupe pogonskih mehanizama

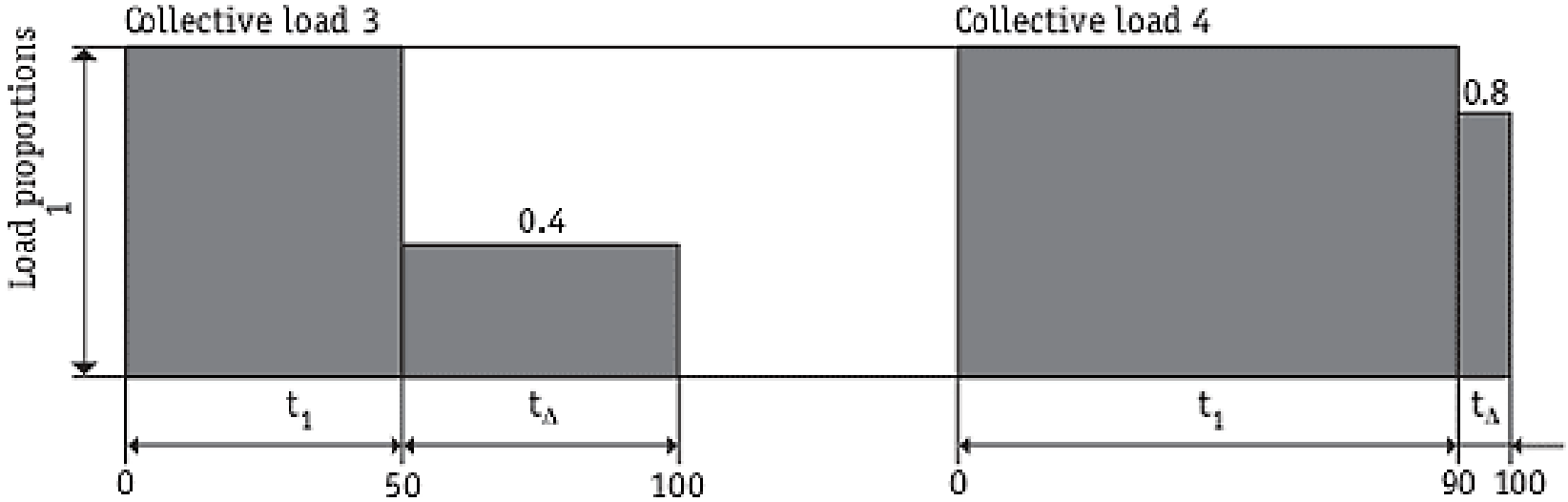
Stanje opterećenosti	Koef. K_Q, K_M	Klasa radnog vremena							
		$V_{o,12}$	$V_{o,25}$	$V_{o,5}$	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
		Srednje dnevno radno vreme u časovima							
		≤0.25	≤0.5	≤1	≤2	≤4	≤8	≤16	>16
		Srednje godišnje trajanje opterećenja u časovima							
		40	80	160	320	630	1250	2500	5000
1 lako	K≤0,125		1Dm	1Cm	1Bm	1Am	2m	3m	4m
2 srednje	0,125<K≤0,25	1Dm	1Cm	1Bm	1Am	2m	3m	4m	5m
3 teško	0,25<K≤0,5	1Cm	1Bm	1Am	2m	3m	4m	5m	
4 vrlo teško	0.5<K≤1,00	1Bm	1Am	2m	3m	4m	5m		

Upoređenje ISO i FEM standarda

Stanje opterećenosti (Kolektiv opterećenja)		Opis stanja opterećenosti Definicija	Kubni koren FEM	Koef. spektra opter. ISO
1 (low)	L1	Pogonski mehanizmi ili delovi izuzetno izloženi najvećim opterećenjima, a stalno manjim	$k \leq 0{,}50$	$k_m = k^3 = 0{,}125$
2 (average)	L2	Pogonski mehanizmi ili delovi mehanizama koji su otprilike za isto vreme opterećeni malim, srednjim i velikim opterećenjima odnosno naprezanjima	$0{,}50 < k \leq 0{,}63$	$k_m = k^3 = 0{,}25$
3 (high)	L3	Pogonski mehanizmi ili delovi mehanizama koji su najčešće izloženi najvećim i njima sličnim opterećenjima odnosno naprezanjima	$0{,}63 < k \leq 0{,}80$	$k_m = k^3 = 0{,}5$
4 (very high)	L4	Pogonski mehanizmi koji su redovno izloženi najvećim opterećenjima odnosno naprezanjima	$0{,}80 < k \leq 1{,}00$	$k_m = k^3 = 1$

Granične vrednosti koeficijenta K_Q, date u ovoj tabeli odgovaraju sledećim **idealizovanim** stanjima opterećenosti (spektrima opterećenja):





- **Stanje opterećenosti 1**

10% rada sa najvećim teretom (mrtav teret + 1/1 koristan teret)

t_1=0.1 β_1=1-γ=0.9

40% rada sa mrtvim teretom + 1/3 koristan teret

t_2=0.4 β_2=(1-γ)/3=0.3

50% rada sa mrtvim teretom

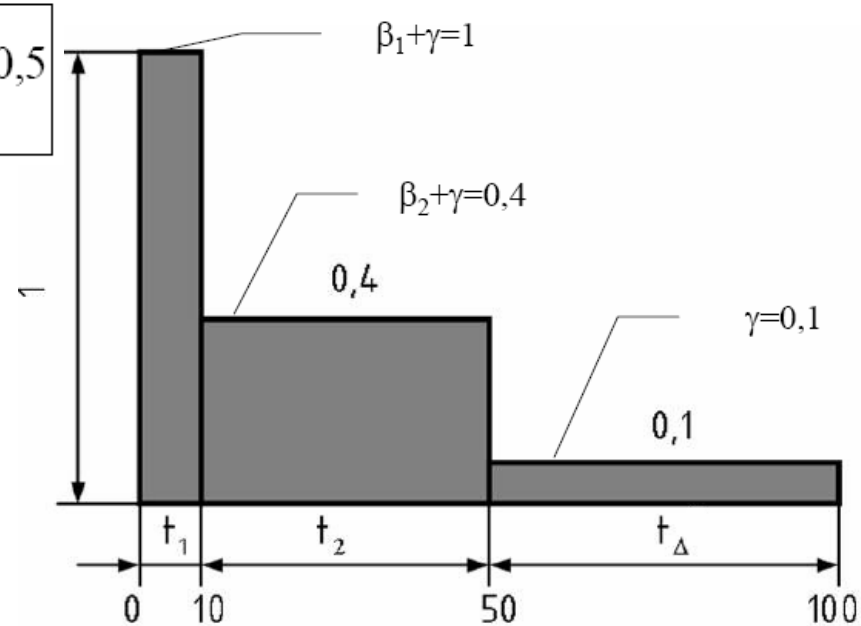
Δt=0.5 γ=0.1

β_i = koristan teret/naznačeni teret

γ = mrtvi teret/naznačeni teret

$$k_1 = \sqrt[3]{(0{,}9+0{,}1)^3 \cdot 0{,}1 + (0{,}3+0{,}1)^3 \cdot 0{,}4 + 0{,}1^3 \cdot 0{,}5} \approx 0{,}5$$

$$K_{Q1} = k_1^3 = 0{,}125$$



- Stanje opterećenosti 2

1/6 rada sa najvećim teretom (mrtav teret + 1/1 koristan teret)

t_1=0.167 $ß_1$=1-γ=0.8

1/6 rada sa mrtvim teretom + 2/3 koristan teret

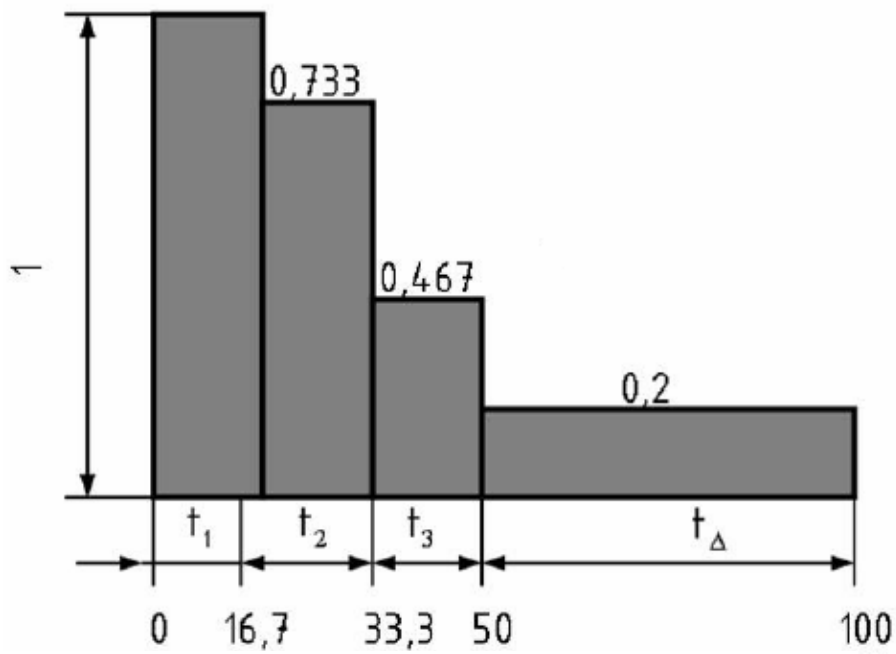
t_2=0.167 $ß_2$=2(1 - γ)/3=0.533

1/6 rada sa mrtvim teretom + 1/3 sa korisnim teretom

t_3=0.167 $ß_3$=(1-γ)/3=0.266

50% rada sa mrtvim teretom

Δt=0.5 γ=0.2



$$k_2 = \sqrt[3]{(0{,}8+0{,}2)^3 \cdot 0{,}167 + (0{,}533+0{,}2)^3 \cdot 0{,}167 + (0{,}267+0{,}2)^3 \cdot 0{,}167 + 0{,}2^3 \cdot 0{,}5} \approx 0{,}63$$

$$K_{Q2} = k_2^3 = 0{,}25$$

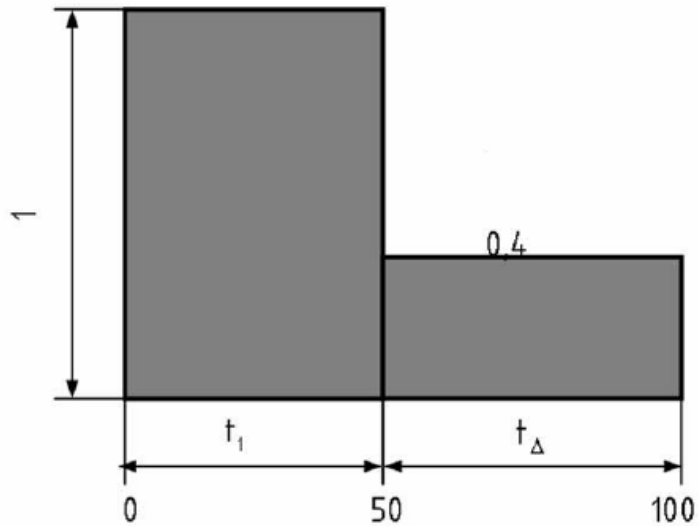
-Stanje opterećenosti 3

50% rada sa najvećim teretom (mrtav teret + 1/1 koristan teret)

t_1=0.9 $ß_1$=1-γ=0.6

50% rada sa mrtvim teretom

Δt=0.5 γ=0.4



$$k_3 = \sqrt[3]{(0{,}6+0{,}4)^3 \cdot 0{,}5 + 0{,}4^3 \cdot 0{,}5} \approx 0{,}8$$

$$K_{Q3} = k_3^3 = 0{,}5$$

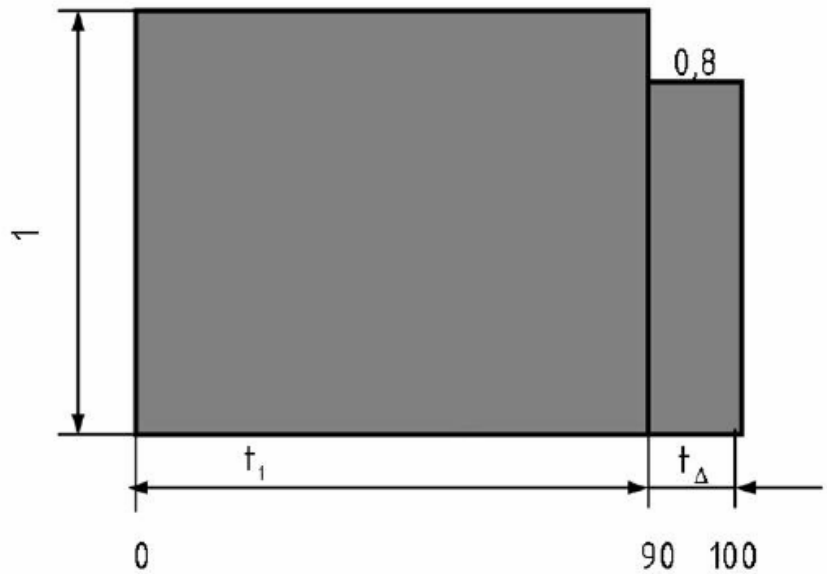
-Stanje opterećenosti 4

90% rada sa najvećim teretom (mrtav teret + 1/1 koristan teret)

t_1=0.9 $ß_1$=1-γ=0.2

10% rada sa mrtvim teretom

Δt=0.1 γ =0.8



$$k_4 = \sqrt[3]{(0{,}2+0{,}8)^3 \cdot 0{,}9 + 0{,}8^3 \cdot 0{,}1} \approx 1{,}0$$

$$K_{Q4} = k_4^3 = 1{,}0$$

Približna podela mehanizama u pogonske grupe

Razvrstavanje pogonskih mehanizama prema tabeli omogućava da se dobije očekivani vek trajanja mehanizma. Kada se na raspolaže pouzdanim podacima o radu mehanizma, pogonska grupa se odredjuje na osnovu namene mehanizma a prema tabeli na sledećem slajdu. Prikazan je samo početak tabele, za sve ostale tipove dizalica videti knjigu ‘’Dizalice’’.

Skraćenice korišćene u tabeli koje označavaju neko kretanje imaju sledeće značenje:

L - dizanje,
LA- pomoćno dizanje,
D - vožnja kolica (mačke),
DA- vožnja pomoćnih kolica,
T - vožnja dizalice,
O - obrtanje,
R - promena dohvata,
F - zatvaranje (grabilice),
P - zatvaranje klješta (striper dizalice),
B - podizanje prepusta.

Pogonska klasa prema FEM	**1Bm**	**1Am**	**2m**	**3m**	**4m**	**5m**
Pogonska klasa prema JUS	**1**	**1**	**2**	**3**	**4**	**4**

Približna korelacija između pogonskih klasa prema FEM i JUS standardu

Vrsta dizalice	Kretanje	Pogonski mehanizam			E-motor	
		Klasa radnog vremena	Spektar opterećenja	Pogonska klasa	Intermitenca ED(%)	Broj uključenja na sat
1)dizalice za livnice	L-LA	$V_{0.5}$	1-2	1Bm	20(3)	150
	D	$V_{0.5}$	1-2	1Bm	20	150
	T	$V_{0.5}$	2	1Bm	10	150
2)mosna dizalica sa kablom za upravljanje	L-LA	$V_{0.5}$	1-2	1Bm	20	150
	D	$V_{0.5}$	1-2	1Bm	20	150
	T	$V_{0.5}$	2	1Bm	20	150
3)dizalice za skladišta	L-LA	V_1-V_2	2	1Am-2m	20-40	150-300
	D	V_1-V_2	2	1Am-2m	20-40	150-300
	T	V_1	2-3	1Am-2m	20-40	150-300
4)dizalice za radionice	L	V_1-V_2	2	1Am-2m	20-40	150-300
	LA	V_1	2-3	1Am-2m	20-40	150-300
	D	V_2	2	2m	20-40	150-300
	T	V_2	2-3	2m-3m	20-40	150-300
5)dizalice sa grabilicom	L	V_2-V_4	3	3m-5m	40-60	300-600
	F	V_2-V_4	3	3m-5m	20-60	300-600
	D	V_2-V_4	3	3m-5m	60	300-600
	T	V_2-V_4	3	3m-4m	40-60	300-600
6)dizalice za skladišta otpadnog materijala	L	V_2-V_3	3	3m-4m	40-60	150-300
	LA	V_2-V_3	2-3	2m-4m	20-40	150-300
	D	V_2-V_3	3	3m-4m	40-60	150-300
	T	V_2	3	3m	40-60	150-300