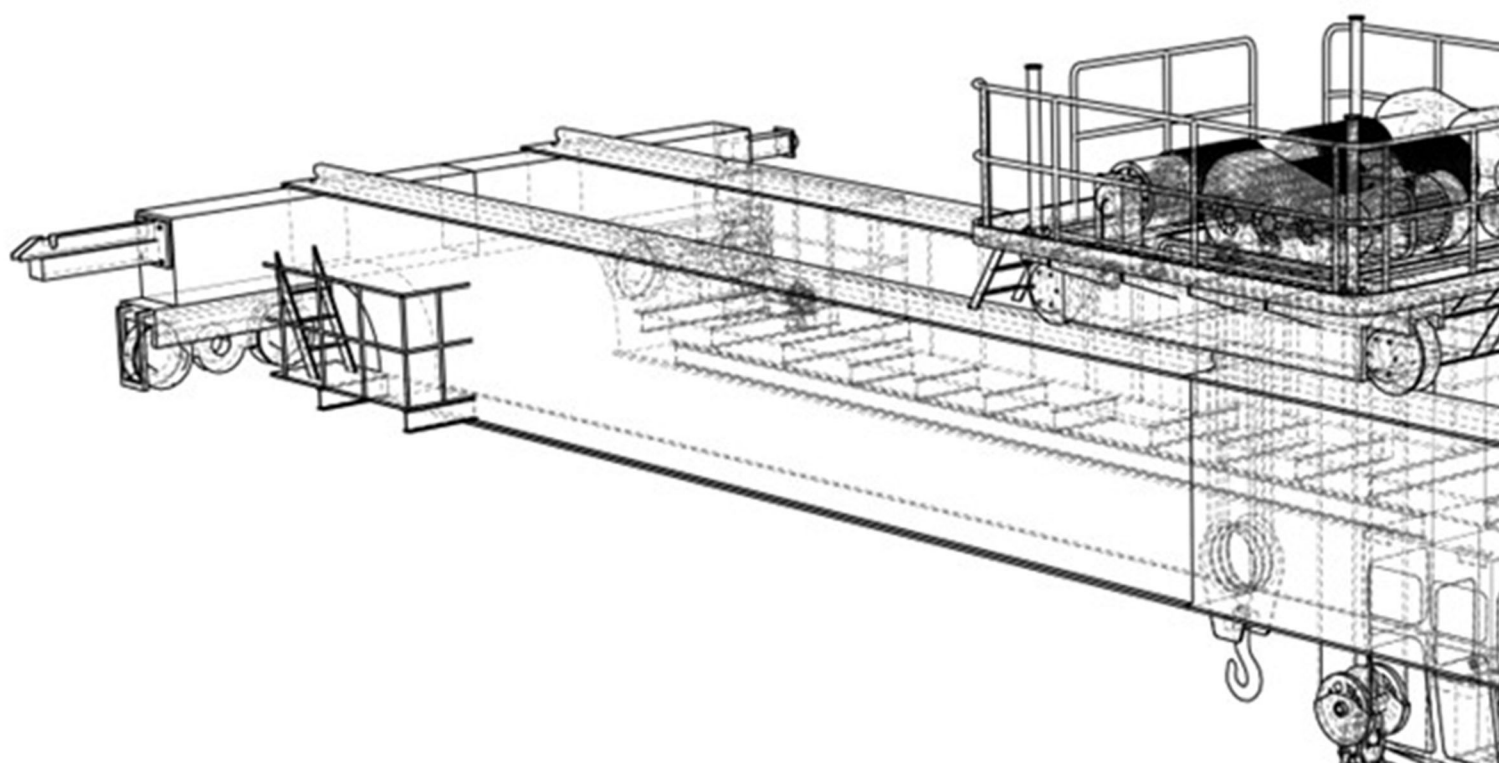


Mostni žerjavi v **INTRALOGISTIKI**

Tone LERHER





Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo

Mostni žerjavi v intralogistiki

Avtor

Tone Lerher

Oktober 2022

Naslov <i>Title</i>	Mostni žerjavi v intralogistiki <i>Industrial Overhead Cranes in Intralogistics</i>	
Avtor <i>Author</i>	Tone Lerher (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)	
Recenzija <i>Review</i>	Boris Jerman (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo)	
	Nenad Zrnić (Univerza v Beogradu, Fakulteta za strojništvo)	
Jezikovni pregled <i>Language editing</i>	Nataša Belšak	
Tehnični urednik <i>Technical editor</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)	
Oblikovanje ovitka <i>Cover designer</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)	
Grafike na ovitku <i>Cover graphics</i>	Mostni žerjav z dvema glavnima nosilcema © Adobe Stock, nakup, 2022	
Grafične priloge <i>Graphic material</i>	Avtor	
Založnik <i>Published by</i>	Univerza v Mariboru Univerzitetna založba Slomškovo trg 15, 2000 Maribor, Slovenija https://press.um.si , zalozba@um.si	
Izdajatelj <i>Issued by</i>	Univerza v Mariboru Fakulteta za strojništvo Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija https://www.fs.um.si , fs@um.si	
Izdaja <i>Edition</i>	Prva izdaja	Izdano <i>Published at</i> Maribor, oktober 2022
Vrsta publikacije <i>Publication type</i>	E-knjiga	Dostopno na <i>Available at</i> https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/693

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

621.874(0.034.2)

LERHER, Tone
Mostni žerjavi v intralogistiki [Elektronski vir] / Tone Lerher. - 1. izd. - E-publikacija. - Maribor : Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba, 2022

Način dostopa (URL):
<https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/693>
ISBN 978-961-286-619-8
doi: 10.18690/um.fs.5.2022
COBISS.SI-ID 124891395



© Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba
/ University of Maribor, University Press
Besedilo / Text © Lerher, 2022

To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Brez predelav 4.0 Mednarodna. / *This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0 International License.*

Uporabnikom je dovoljeno reproduciranje brez predelave avtorskega dela, distribuiranje, dajanje v najem in priobčitev javnosti samega izvirnega avtorskega dela, in sicer pod pogojem, da navedejo avtorja in da ne gre za komercialno uporabo.

Vsa gradiva tretjih oseb v tej knjigi so objavljena pod licenco Creative Commons, razen če to ni navedeno drugače. Če želite ponovno uporabiti gradivo tretjih oseb, ki ni zajeto v licenci Creative Commons, boste morali pridobiti dovoljenje neposredno od imetnika avtorskih pravic.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

ISBN 978-961-286-619-8 (pdf)

DOI <https://doi.org/10.18690/um.fs.5.2022>

Cena
Price Brezplačni izvod

Odgovorna oseba založnika
For publisher prof. dr. Zdravko Kačič,
rektor Univerze v Mariboru

Citiranje
Attribution Lerher, T. (2022). *Mostni žerjavi v intralogistiki*. Maribor: Univerzitetna založba. doi: 10.18690/um.fs.5.2022

Kazalo

Predgovor.....	1
1 Uvod	3
2 Transportne naprave za dviganje bremen	7
2.1 Dvigala	8
2.1.1 Navadne dvigalne naprave	8
2.1.2 Škripčevja	9
2.1.3 Vitli	10
2.1.4 Osebna in tovorna dvigala.....	12
2.1.5 Regalna dvigala.....	13
2.2 Žerjavi	13
2.2.1 Mostni žerjavi.....	14
2.2.2 Portalni, oz. kozičasti žerjavi.....	15
2.2.3 Konzolni žerjavi.....	16
2.2.4 Vrtljivi žerjavi	16
2.2.5 Kontejnerski žerjavi.....	18
2.2.6 Mobilni žerjavi.....	19
3 Mostni žerjavi v intralogistiki	21
3.1 Žerjavni most	23
3.2 Maček	25
3.2.1 Elementi vrvnih pogonov mačka	26
3.2.2 Elementi za prevzemanje bremena	41
3.2.3 Tirnice in tekalna kolesa	44
3.2.4 Zavore	46
4 Standard za žerjave EN 13001	49
4.1 Vrste obremenitev žerjava.....	50
4.2 Obremenitev zaradi dviga bremena	53
4.3 Določitev premera dvizne vrvi po standardu EN 13001-3-2:2014.....	56
4.3.1 Dokaz statične trdnosti vrvi.....	56
4.3.2 Dokaz trdnosti vrvi na utrujanje	62
4.4 Izbira bremenskega kavlja po standardu EN 13001-3-5:2016	66
4.4.1 Izbira materiala bremenskega kavlja	66
4.4.2 Dokaz statične trdnosti.....	66
4.4.3 Dokaz dinamične trdnosti.....	68
4.4.4 Kontrola napetosti v najmanjšem prerezu na nateg.....	71
4.4.5 Kontrola strižne napetosti v prvem navoju.....	73
Literatura	75

Pogosteje uporabljene oznake

Seznam kratic:

EN	–	evropski standard
HC i	–	dvižne skupine mostnega žerjava
HD i	–	razredi mehanizmov (pogonov) mostnega žerjava

Seznam simbolov:

Poglavje 3

a_m	–	pospešek mačka
d	–	premer dvižne vrvi
D	–	premer vrvenice, izravnalne vrvenice, vrvnega bobna
D_b	–	premer vrvnega bobna
D_h	–	zunani premer vrvnega bobna
D_{iv}	–	premer dvižne vrvi
D_p	–	premer pesta vrvnega bobna
D_v	–	premer vrvenice, izravnalne vrvenice
e_0	–	razdalja med čelno ploskvijo in prvim navojnim žlebom bobna
h	–	debelina stene vrvnega bobna
H	–	višina dviganja bremena

- F_{HB} – vodoravna sila na vrveni boben
 F_A – reakcijska sila v podpori A
 F_B – reakcijska sila v podpori B
 F_G – vlečna sila
 F_H – vztrajnostna sila
 F_K – sila teže na eno kolo mačka
 F_W – sila, ki deluje na kolo zaradi voznega upora
 G – sila teže vravnega bobna skupaj z vrvjo in drugimi elementi vravnega bobna
 G_0 – ocena sile teže mačka
 i_s – prestava škripčevja
 l – dolžina ene strani z navoji opremljenega bobna
 l_0 – razdalja med levo in desno navojnico bobna
 L_s – dolžina vrvi, navite na polovico bobna
 m_{G_0} – masa mačka
 m_Q – masa bremena
 M_u – maksimalni upogibni moment
 q – kontinuirana obremenitev, definirana na dolžino vravnega bobna
 Q – nosilnost žerjava
 R_{Dd} – razmerje premerov D/d
 $R_{p0,2}$ – meja plastičnosti
 s – korak ožlebljenja (vravnega bobna)
 S – sila v vrvi
 t_1 – debelina čelne stene vravnega bobna
 T, N – notranji sili
 T – kotalni odpor
 ν – varnostni koeficient
 w_{cel} – pospešek mačka
 W_x – odpornostni moment plašča vravnega bobna

Grške črke

- σ_{dop} – dopustna napetost
 σ_p – primerjalna napetost
 σ_u – upogibna napetost
 σ_t – tlačna napetost

μ_1 – koeficient trenja (jeklo – jeklo)

Poglavje 4

a – vertikalni pospešek ali pojemek

d – premer dvizhne vrvi

d_4 – premer najmanjšega prereza kavlja

d_5 – premer navoja kavlja

D – minimalni potrebni premer vravnega bobna, vrvenice in izravnalne vrvenice

F – sila

F_j – del j -te obremenitve (lastna teža G , teža tovora Q itn.)

$F_{d,j}$ – skupna obremenitev mostnega žerjava

F_{equ} – ekvivalentna sila, ki deluje na škripčevje in je odvisna od sile teže, odporov pri gibanju (kotaljenje ali drsenje), sile vetra ter preostalih vplivov, kot so spremembe klimatskih učinkov

f_1 – koeficient vpliva obratovalne temperature kavlja

f_f – koeficient nadaljnjih vplivov

F_h – vodoravna sila, ki deluje na dvigajoče breme

$F_{\phi,j}$ – osnovna obremenitev mostnega žerjava

$F_{\phi 2}$ – dinamična obremenitev zaradi dviga bremena s tal

$F_{\text{RD},s}$ – dopustna sila v vrvi mostnega žerjava

$F_{\text{RD},f}$ – dopustna sila v vrvi mostnega žerjava na utrujanje

$F_{\text{RD},sm}$ – minimalna statična mejna sila kavlja

$F_{\text{RD},fm}$ – minimalna dinamična mejna sila kavlja

$F_{\text{SD},s}$ – sila v vrvi mostnega žerjava

$F_{\text{SD},f}$ – sila v vrvi mostnega žerjava na utrujanje

$F_{\text{SD},si}$ – navpična statična sila na kavelj

$F_{\text{SD},fi}$ – navpična dinamična sila na kavelj

f_{S1} – koeficient izkoristka škripčevja dvizhnega mehanizma

f_{S1} – koeficient povečanja sile v vrvi

f_{S2} – koeficient nevzporednosti nosilnih vrvi bremena dvizhnega mehanizma

f_{S2} – koeficient povečanja sile v vrvi

f_{S2}^* – koeficient povečanja sile v vrvi

f_{S3} – koeficient povečanja sile v vrvi zaradi vodoravnih sil na dvigajoče breme

- f_{S3}^* – koeficient povečanja sile v vrvi
 F_U – minimalna raztržna sila dvižne vrvi
 g – gravitacijski pospešek
 h_3 – korak navoja kavlja
 k_c – koeficient pretvorbe
 m_H – masa bremena
 m_{Hr} – masa dvižnega bremena
 m_{RC} – masa bremena, ki ga dvigamo s kavljem
 n_m – število nosilnih vrvi spodnjega škripčnika
 n_m – število nosilnih vrvi enojnega škripčevja dvižnega mehanizma
 n_s – število fiksno nameščenih vrvenic med bobnom in škripcem dvižnega mehanizma
 $q(z)$ – normalizirana gostota višine žerjava
 Q – sila teže bremena (tovora)
 $R_{P_{0,2}}$ – meja plastičnosti
 s_r – parameter zgodovine obremenitvene sile v vrvi
 t – čas
 T – obratovalna temperatura, merjena v ($^{\circ}\text{C}$)
 v – varnost
 v_h – dvižna hitrost žerjava
 w – število upogibov pri pomiku
 z – višinska koordinata
 z_{ref} – referenčna višina

Grške črke

- β – kot med vrvjo in linijo delujoče sile
 β_2 – koeficient, ki je odvisen od togosti konstrukcije žerjava
 β_{max} – maksimalni kot med vrvenico in smerjo obremenitve
 γ – kot med smerjo delovanja gravitacije in dvižno vrvjo projicirano v ravnini (F_H) in (g).
 γ_n – koeficient tveganja
 $\gamma_{n,j}$ – koeficienti tveganja
 γ_p – varnostni koeficient
 $\gamma_{p,j}$ – varnostni koeficienti

- γ_{rf} – minimalni koeficient odpornosti vrvi ($\gamma_{rf} = 7$)
- γ_{rb} – minimalni koeficient odpornosti vrvi
- η_S – izkoristek vrvenice
- η_{tot} – celotni izkoristek škripčevja
- σ_n – dejanska natezna napetost
- σ_s – dejanska strižna napetost
- σ_{ndop} – dopustna natezna napetost
- σ_{sdop} – dopustna strižna napetost
- ϕ – dinamični koeficient vztrajnostnih in gravitacijskih učinkov
- ϕ^* – dinamični koeficient vztrajnostnih in gravitacijskih učinkov
- ϕ_2 – dinamični koeficient zaradi dviga bremena s tal
- Φ_2 – dinamični koeficient vztrajnostnih učinkov
- $\phi_{2,min}$ – minimalna veličina ϕ_2 , ki je odvisna od togosti konstrukcije žerjava in načina upravljanja dviznega mehanizma žerjava
- ϕ_5 – dinamični koeficient za obremenitve, ki so posledica pospeševanja (EN 13001-2: 2014)
- ϕ_6 – dinamični koeficient za testne obremenitve (EN 13001-2: 2014)
- ϕ_j – dinamični koeficient j -te obremenitve
- ω – kotna hitrost

Predgovor

Učbenik Mostni žerjavi v intralogistiki je namenjen študentom študijskega programa Strojništvo in inženirjem.

Vsebina učbenika Mostni žerjavi v intralogistiki je podana celovito. Za lažje razumevanje snovanja in dimenzioniranja posameznih komponent mostnih žerjavov je razlaga dopolnjena s slikovnim gradivom. Za razumevanje podane vsebine učbenika je potrebno osnovno znanje transportnih in dvigalnih naprav ter znanje matematike, kinematike in dinamike na ravni univerzitetnega študijskega programa Strojništvo.

V uvodnem poglavju sta na kratko podani zgodovina razvoja transportne in dvižne tehnike in osnovna statistika zadnjih let glede proizvodnje transportnih naprav za manipulacijo in dviganje bremen.

Sledi poglavje o transportnih napravah za dviganje bremen; le-te so se izraziteje uveljavile s pojavom parnega stroja ter kasneje z uporabo elektrotehnike in elektronike, ki je omogočila avtomatizacijo dvigalnih naprav. Podrobneje so predstavljene posamezne vrste dvigal in žerjavov.

Sledi osrednje poglavje o mostnih žerjavih v intralogistiki, kjer so predstavljene posamezne komponente mostnega žerjava; to so žerjavni nosilec, maček, elementi vrvnega pogona (vrvi, vrvenica in boben), tračnice in tekalna kolesa ter zavore. Posebej podrobneje je predstavljeno dimenzioniranje vrvnega bobna, ki je v osnovi obremenjen na upogib in na oklenitev (zadrg).

Temu sledi poglavje o standardu za žerjave EN 13001, kjer je posebej izpostavljena določitev premera dvizne vrvi po standardu EN 13001-3-2:2014 in določitev bremenskega kavlja po standardu EN 13001-3-5:2016.

Na tem mestu bi se zahvalil vsem, ki so kakorkoli pripomogli pri nastanku tega učbenika, še posebej pa recenzentoma prof. dr. Nenadu Zrniću s Fakultete za strojništvo Univerze v Beogradu in prof. dr. Borisu Jermanu s Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani.

Vsem uporabnikom gradiva želim, da bi ga s pridom uporabljali med študijem transportnih in dvigalnih naprav.

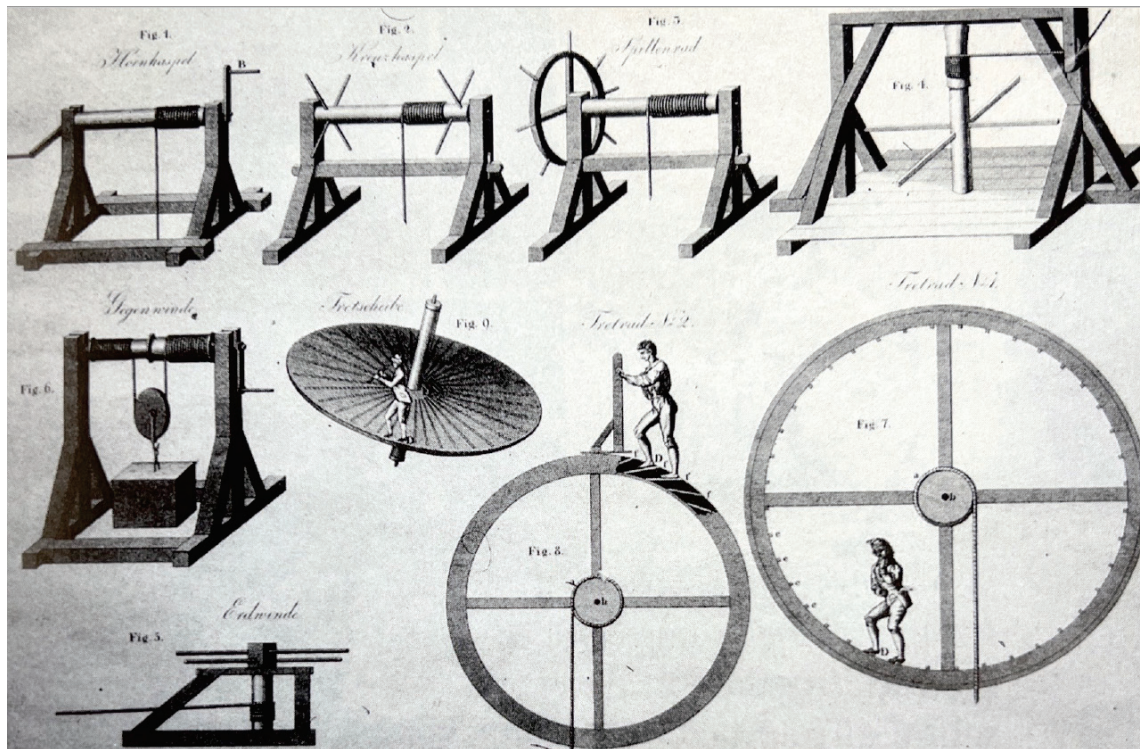
1 Uvod

Zgodovina transportne in dvižne tehnike sega tisočletja v preteklost, ko je bilo človeštvo pred izzivom osvajanja novih ozemelj in velikih infrastrukturnih (gradbenih) projektov.

Že razmeroma zgodaj v preteklosti se pojavi uporaba vzvoda kot enostavne naprave (stroja), s katero lahko povečamo silo, ko z uporabo vzvoda delujemo na izbrano telo. Pri gradnji piramid v Egiptu so npr. transportirali kamnite bloke iz oddaljenega kamnoloma do delovišča, pri čemer so uporabili vzvod za nalaganje in razlaganje kamnitih blokov na barke za transport po reki Nil. Nadalje so za transport kamnitih blokov do delovišča uporabili vlečno oz. mišično silo ljudi in živali. Pri vlečenju so se srečali s pojavom drsnega trenja, kjer so hitro ugotovili, da lahko zmanjšajo silo vlečenja z ustrezno pripravljeno podlago (zamakanje in mazanje tal).

Pred približno 5000 leti se pojavi prvo kolo, ki predstavlja revolucijo z vidika mobilnosti ljudi in transporta tovora na krajše in daljše razdalje. Izum kolesa ni bil pomemben samo za transport, ampak tudi za nadaljnji razvoj vodnega kolesa in škripca.

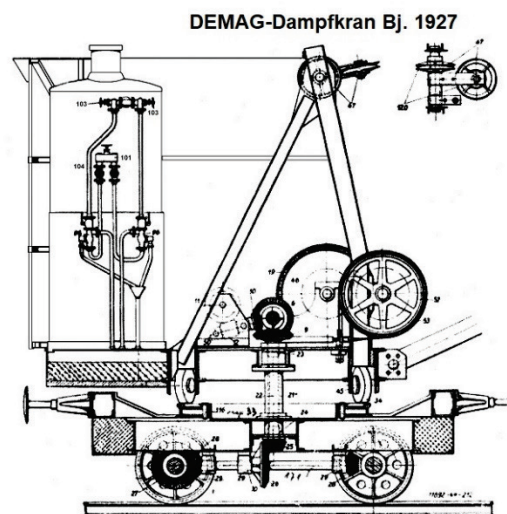
Na sliki 1 so prikazane enostavne oblike dvižnih mehanizmov, pri čemer je vir energije za pogon teh mehanizmov izključno mišična moč ljudi in živali.



Slika 1: Enostavne oblike dviznih mehanizmov

Vir: Ruckdeschel, 1791

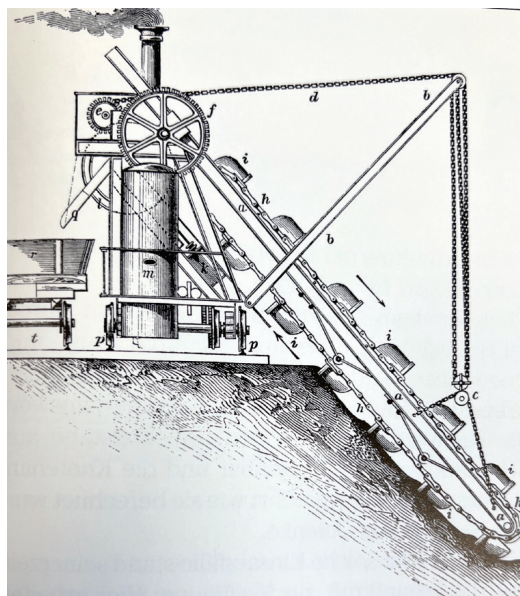
Do leta 1800 so predstavljali vire energije v transportni in dvizni tehniki mišična moč ljudi in živali, vodna energija (uporaba vodnega kolesa) in vetrna energija (uporaba mlinov na veter). Šele s pojavom parnega stroja leta 1769 (J. Watt) se je začela prva industrijska revolucija, ki je človeštvu omogočila velik napredek in blaginjo. Na sliki 2 je prikazan parni žerjav na tirnicah podjetja Demag.



Slika 2: Parni žerjav na tirnicah podjetja Demag

Vir: <http://spannwerk.buntbahn.de/fotos/data/714/01-Seitenansicht.jpg>

Na slikah 3 in 4 sta prikazana verižni elevator in industrijski mostni žerjav, pri katerih je pogon dviznega in drugih mehanizmov izveden s parnim pogonom.



Slika 3: Verižni elevator s parnim pogonom

Vir: Ruckdeschel, 1991

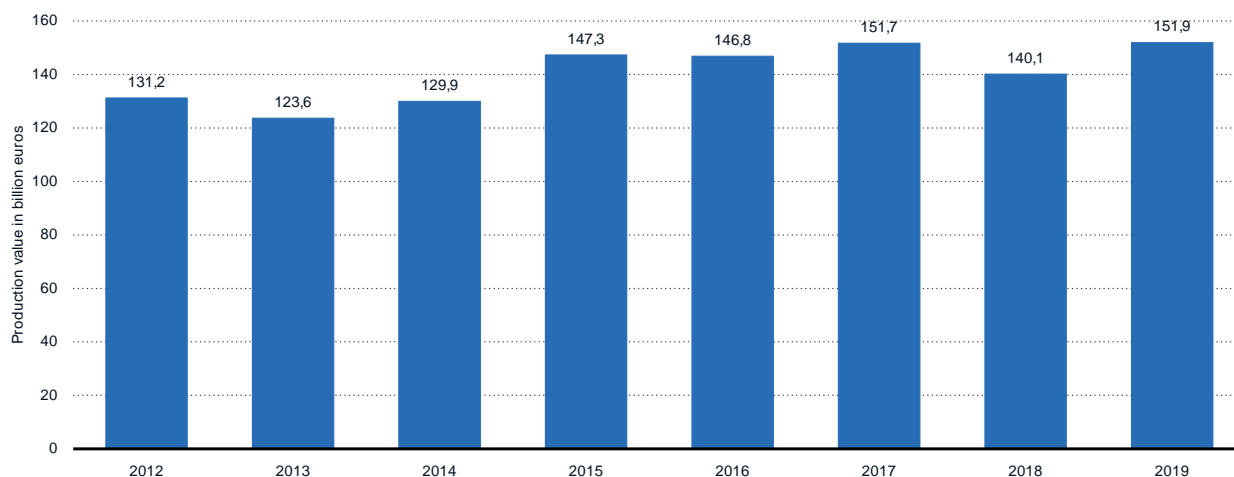


Slika 4: Industrijski mostni žerjav s parnim pogonom

Vir: Ruckdeschel, 1991

V zadnjih letih se za pogon naprav transportne in dvizne tehnike uporabljajo električni pogonski motorji na enosmerni in izmenični tok.

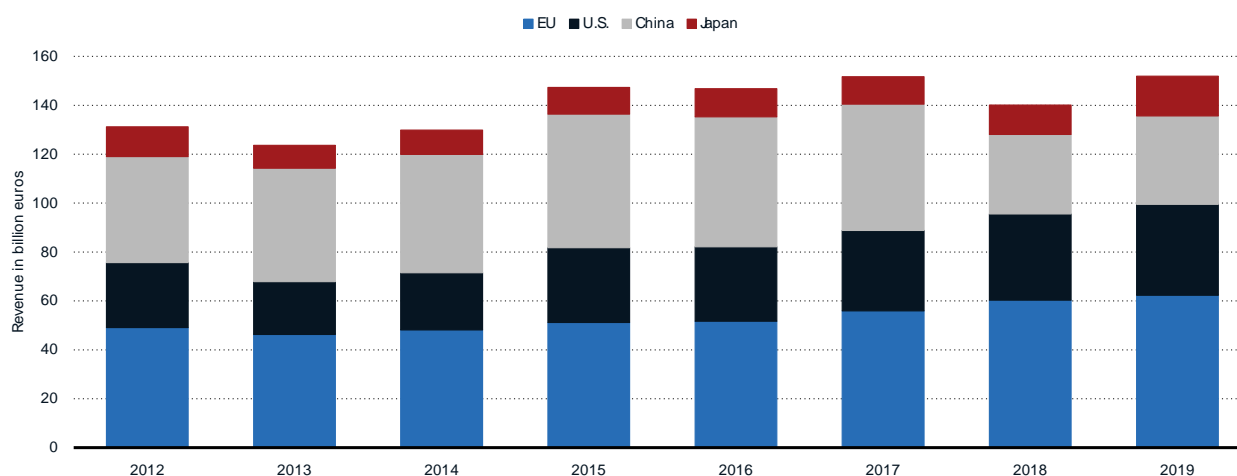
Transportna in dvizna tehnika kot hrbtenica učinkovitega izvajanja proizvodnih in skladiščnih procesov se vseskozi razvija in dopolnjuje. Na sliki 5 je prikazana vrednost proizvodnje transportnih naprav za manipulacijo in dviganje bremen od leta 2012 do leta 2019. Vidno je, da je vrednost skozi leta vztrajno in stabilno naraščala.



Slika 5: Vrednost proizvodnje transportnih naprav za manipulacijo in dviganje bremen v svetu od leta 2012 do leta 2019

Vir: <https://www.statista/>

Na sliki 6 lahko vidimo naraščanje prihodkov s področja proizvodnje transportnih naprav za manipulacijo in dviganje bremen za države Evropske unije. Prav tako lahko vidimo prihodke za druge visokorazvite države, kot so ZDA, Kitajska in Japonska.



Slika 6: Vrednost prihodkov s področja proizvodnje transportnih naprav za manipulacijo in dviganje bremen v svetu od leta 2012 do leta 2019

Vir: <https://www.statista/>

Z naraščanjem proizvodnje narašča tudi potreba po učinkovitih sistemih transportne in dvigalne tehnike za oskrbo proizvodnih in skladiščnih procesov. Kakor vsa druga področja v industriji 4.0 se tudi posamezni sistemi transportne in dvigalne tehnike uspešno avtomatizirajo in robotizirajo, kar zagotavlja večjo produktivnost v proizvodnih in skladiščnih sistemih.

2 Transportne naprave za dviganje bremen

Transportne naprave za dviganje bremen (dvigalne naprave) so se izraziteje uveljavile z uporabo elektrotehnike in elektronike, ki je omogočila avtomatizacijo dvigalnih naprav.

Oblika in konstrukcija dvigalnih naprav sta odvisni od vrste transportiranega materiala, ki je lahko (Potrč, 2005):

- kosovni material ali
- sipki material.

V primeru kosovnega materiala izvedemo manipulacijo posameznih proizvodov s prijemali (magnetna, vakuumska), pri čemer proizvodi med transportom ne spreminjajo svoje oblike. H kosovnemu materialu prištevamo tudi posode, ki so napolnjene s sipkim materialom, tekočino ali plinom.

V primeru sipkega materiala se izvaja transport z grabilci ali posodami, kamor nasujemo sipki material. Med transportom sipki material spremeni svojo obliko.

Po načinu delovanja delimo transportne naprave za dviganje bremen na (Potrč, 2005):

- naprave, ki delujejo s prekinitvami (ciklično delovanje),
- stalno delujoče naprave (zvezno delovanje).

Po smeri premikanja bremena delimo transportne naprave za dviganje bremen na (Potrč, 2005):

- naprave z enosmernim gibanjem bremena (elevatorji, lifti),
- naprave s sestavljenim večsmernim gibanjem bremena (manipulatorji, žerjavi).

Transportne naprave za dviganje bremen (dvigalne naprave) v veliki večini delujejo ciklično in jih razdelimo na:

- dvigala,
- žerjave.

2.1 Dvigala

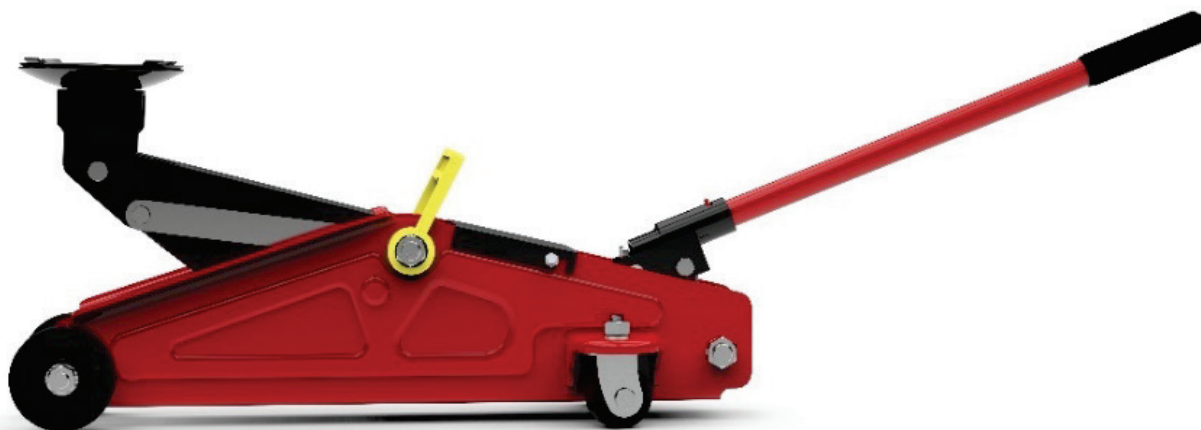
Dvigala v osnovi delimo na (Potrč, 2005):

- navadne dvigalne naprave (vijačna dvigala, dvigala z zobatim drogom in hidravlična dvigala),
- škripčevja,
- vitle,
- osebna in tovorna dvigala,
- regalna dvigala.

2.1.1 Navadne dvigalne naprave

Med navadne dvigalne naprave spadajo mehanizmi, ki jih uporabljamo za dvig bremena na razmeroma majhno višino. Imajo majhno lastno težo, zato jih lahko prenašamo. Uporabljamo jih pri montažnih in remontnih delih. Nosilnost navadnih dvigalnih naprav (vijačna dvigala, dvigala z zobatim drogom in hidravlična dvigala) znaša od 20 kN (vijačna dvigala) do 300 kN (hidravlična dvigala), medtem ko je višina dviga med 300 in 400 mm (Isakovič, 1963).

Na sliki 6 je prikazano ročno hidravlično dvigalo.



Slika 6: Ročno hidravlično dvigalo

Vir: ©/Adobe Stock

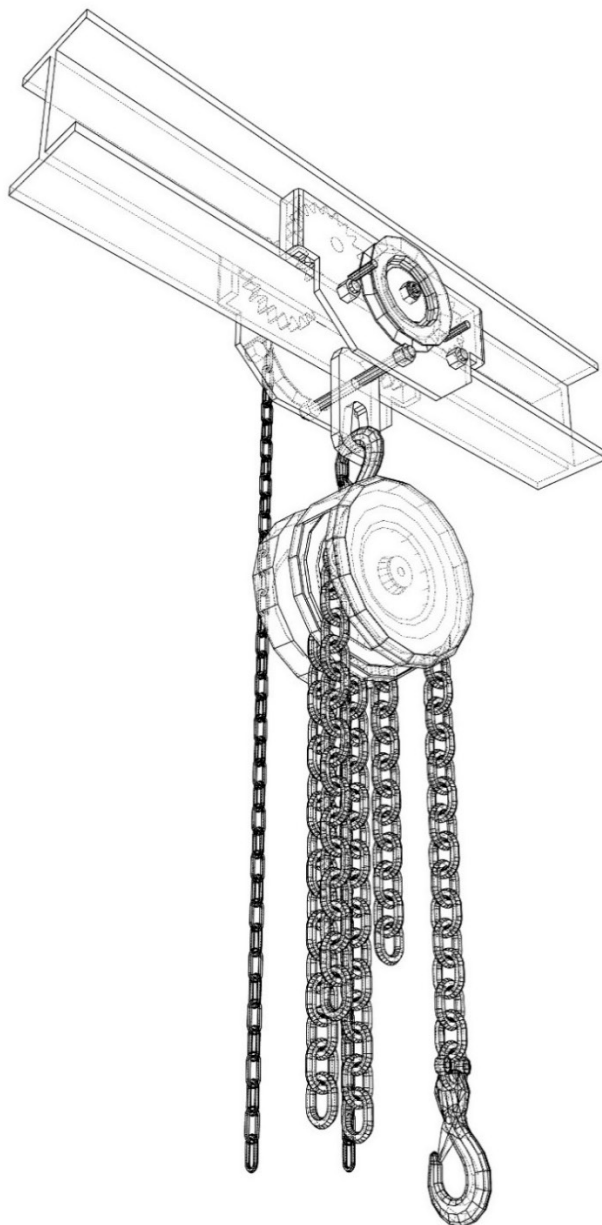
2.1.2 Škripčevja

Škripčevja so mehanizmi za dviganje bremen, ki so sestavljeni iz obešenega in gibljivega škripčnika, med katerima je napeljana vrv ali veriga. Vrvna škripčevja (slika 7) uporabljamo za bremena do 2,5 kN, medtem ko verižna škripčevja (slika 8) uporabljamo za bremena od 5 kN do 200 kN, pri višini dviganja do 10 m (Isakovič, 1963).



Slika 7: Vrvni škripčnik

Vir: ©/Adobe Stock



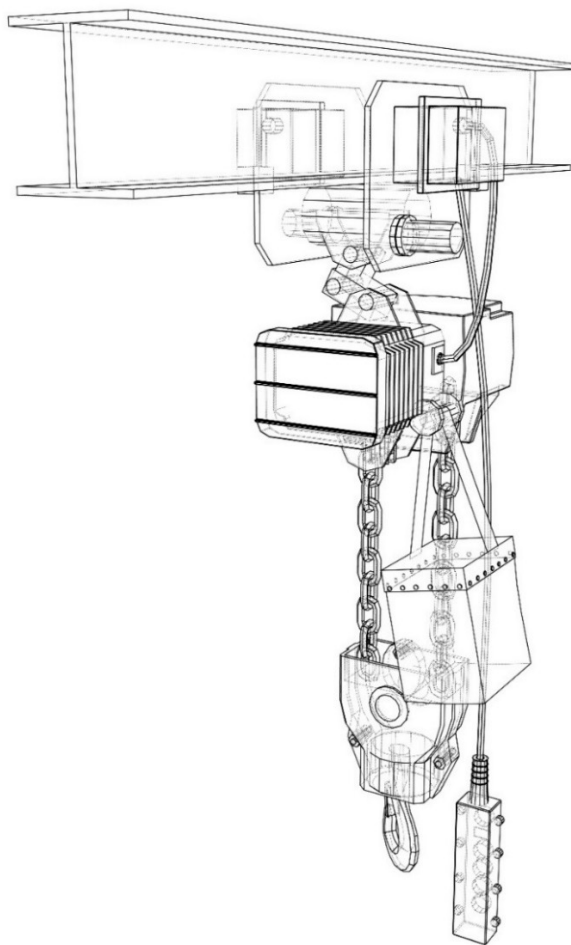
Slika 8: Verižno škripčevje, obešeno na I-profilu

Vir: ©/Adobe Stock

2.1.3 Vitli

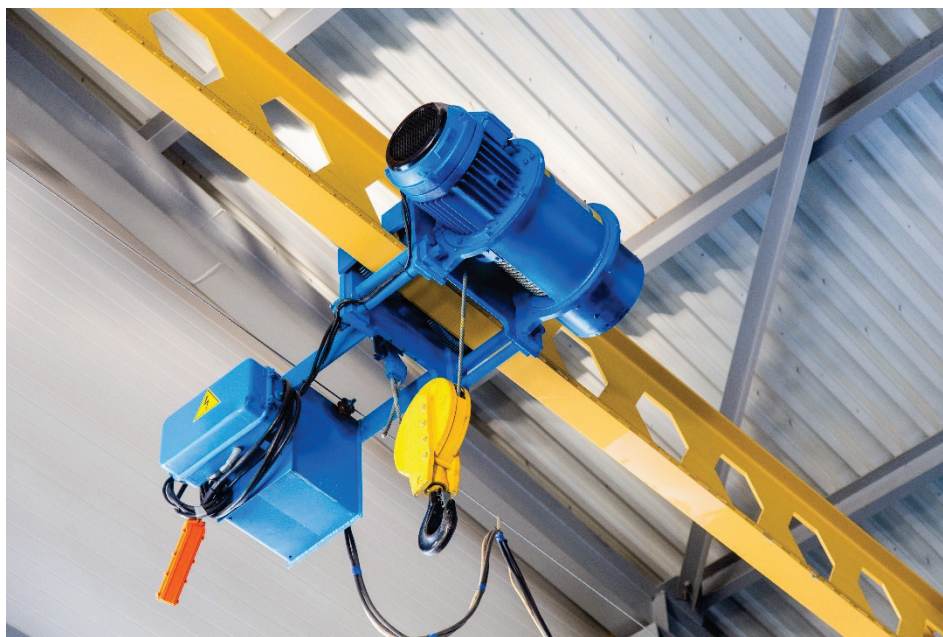
Vitel uporabljamo kot samostojni mehanizem za dviganje bremen ali pa kot sestavni del žerjavov. Vitel je sestavljen iz bobna, na katerega se navija vrv, pogona z zavoro, gonila (reduktorja) in ogrodja, kjer so nameščeni preostali elementi vitla. Vitli so lahko ročni, ki se v praksi redkeje uporabljajo za bremena do 15 kN (Isakovič et al., 1992).

V večjem obsegu se uporabljajo vitli z električnim pogonom (elektrovitli) z vlečno verigo (slika 9) in vrvjo (slika 10) za bremena do 25 kN (Isakovič et al., 1992).



Slika 9: Elektrovitel z verigo, obešen na I-profilu

Vir: ©/Adobe Stock



Slika 10: Elektrovitel z vrvo, nameščen na prečnem nosilcu

Vir: ©/Adobe Stock

2.1.4 Osebna in tovorna dvigala

Osebna in tovorna dvigala uporabljamo za vertikalno prevažanje oseb s kabinami in blaga s košarami; kabine in košare se premikajo med vodili. Lastna teža kabine ali košare in polovica dopustnega koristnega bremena je pri večini naprav izravnana s protiutežjo (Potrč, 2005).

Po vrsti pogona jih delimo na (Potrč, 2005):

- vrvna dvigala, pri katerih kabina ali košara in protiutež visita na vrveh,
- dvigala s hidravličnim pogonom, pri katerih je kabina nameščena na batnici hidravličnega cilindra.

Pogonska naprava dvigala (slika 11) je običajno v zaprtem prostoru nad stropom jaška, v katerem so odprtine za prehod vrvi. Sestavni deli pogonske naprave z gonilnimi koluti so (Potrč, 2005):

- elektromotor,
- elastična sklopka z zavornim kolutom,
- zavora z odvorno napravo,
- gonilo,
- gonilni kolut.

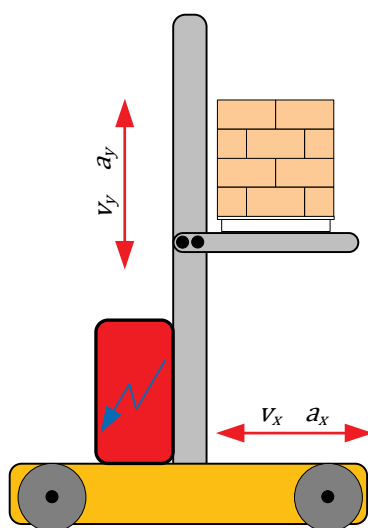


Slika 11: Pogonska naprava kabinskega dvigala

Vir: ©/Adobe Stock

2.1.5 Regalna dvigala

Regalno dvigalo (slika 12) omogoča sočasno vožnjo v vodoravni (v_x, a_{x+}, a_{x-}) in pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični smeri (v_y, a_{y+}, a_{y-}), za kar skrbita dva neodvisna pogonska sklopa. Hitrosti in pospeški/pojemki regalnega dvigala se razlikujejo glede na tovor (palete, zabojčki, kartoni) in znašajo tudi do $v = 6 \text{ m/s}$ in $a = 5 \text{ m/s}^2$ pri regalnih dvigalih za transport zabojčkov. Dvižna miza regalnega dvigala lahko sprejme eno transportno-skladiščno enoto ali več teh enot hkrati. Regalno dvigalo lahko deluje samo v enem hodniku ali pa je prek tirnic omogočeno delovanje v več hodnikih.



Slika 12: Regalno (paletno) dvigalo

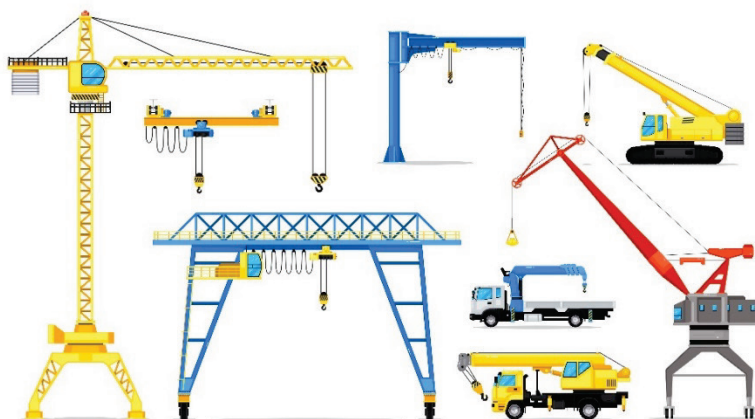
Vir: lasten

2.2 Žerjavi

Žerjave uporabljamo za dviganje in prenašanje oz. prestavljanje bremen znotraj delovnega območja (Isakovič, 1963).

Glede na konstrukcijske oblike in značilnosti žerjave delimo na (slika 13):

- mostne žerjave,
- portalne žerjave,
- konzolne žerjave,
- vrtljive žerjave,
- kontejnerske žerjave,
- mobilne žerjave.



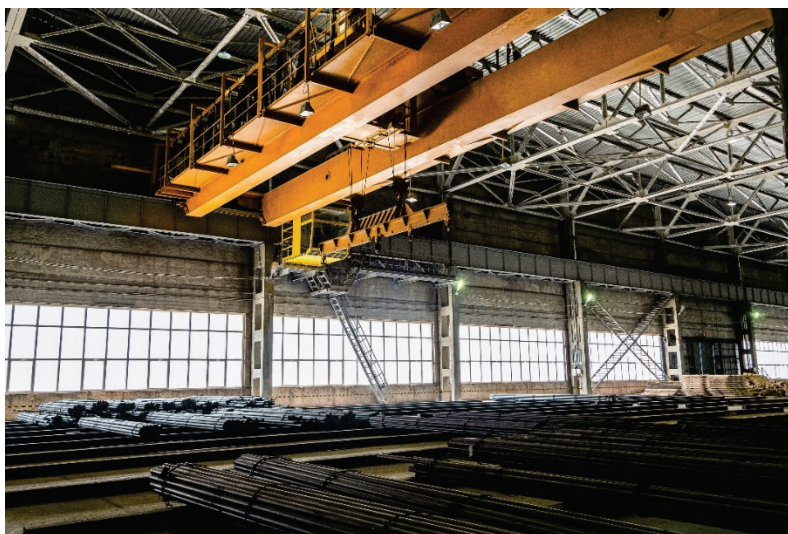
Slika 13: Žerjavi v industriji

Vir: ©/Adobe Stock

2.2.1 Mostni žerjavi

Mostni žerjavi (slika 14) so v praksi najbolj razširjene transportne naprave za dvig bremena. Uporabljajo se v proizvodnih objektih, skladiščih in strojnicah. Gibanje mostnega žerjava se izvaja po tirnicah, nameščenih na žerjavni progi v vodoravni (y) smeri. Gibanje mačka žerjava poteka po glavnem nosilcu žerjava v prečni (x) smeri, medtem ko se dviganje bremena izvaja z dvižnim mehanizmom na mačku v navpični (z) smeri. S pokrivanjem vseh treh smeri (x, y, z) omogočajo mostni žerjavi celotno pokritost svojega delovnega območja, ki ima obliko pravokotnika.

Mostni žerjavi bodo podrobneje obravnavani v poglavju 3.



Slika 14: Mostni žerjav v jeklarski industriji

Vir: ©/Adobe Stock

2.2.2 Portalni, oz. kozičasti žerjavi

Portalne žerjave imenujemo tudi kozičasti žerjavi. Uporabljajo se v kamnolomih, na tovornih železniških postajah in v skladiščih ter na dvoriščih tovarn (Isakovič, 1963).

Portalni žerjavi so lahko nepremični ali premični. Nepremične portalne žerjave uporabljamo na tovornih železniških postajah za nakladanje in razkladanje železniških vagonov (slika 15). Premične portalne žerjave pa uporabljamo v skladiščih na prostem in na dvoriščih tovarn (Isakovič, 1963).

Premične portalne žerjave uporabljamo tudi za manipulacijo ladijskih kontejnerjev v pristaniških kontejnerskih terminalih (slika 16).



Slika 15: Portalni (kozičasti) žerjav na tovorni železniški postaji

Vir: ©/Adobe Stock

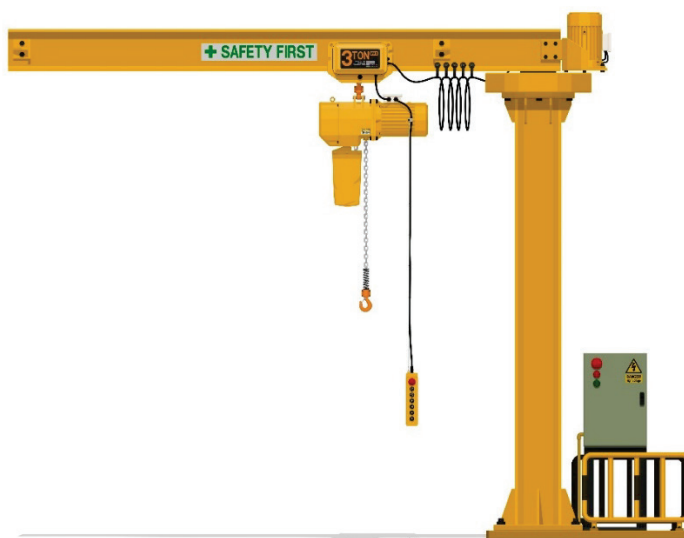


Slika 16: Portalni žerjav na pristaniškem kontejnerskem terminalu

Vir: ©/Adobe Stock

2.2.3 Konzolni žerjavi

Konzolne žerjave (slika 17) ali stenske tekalne žerjave uporabimo za razbremenitev mostnih žerjavov v delovnih (proizvodnih) okoljih. Stenski tekalni žerjavi se premikajo na vozni progi, ki je speljana vzdolž proizvodnega objekta, medtem ko so fiksni konzolni žerjavi nameščeni ob delovnem mestu kot podpora zaposlenim pri manipulaciji z materialom (Isakovič, 1963).



Slika 17: Konzolni žerjav

Vir: ©/Adobe Stock

2.2.4 Vrtljivi žerjavi

Vrtljivi žerjavi prenašajo breme po krožni poti, lahko pa z dodatnim gibanjem krožno pot spremenimo v kolobarjasto ploskev (slika 18). Vrtljive žerjave (nepremične in premične) uporabljamo na prostem, npr. na tovornih železniških postajah, v pristaniščih, v ladjedelnicah, na gradbiščih itn. (Isakovič, 1963).

Posebna oblika vrtljivih žerjavov so nagibni vrtljivi žerjavi (slika 19, 20), ki jih delimo na:

- enopomolne žerjave,
- žerjave z elipsastim vodenjem,
- dvopomolne žerjave.



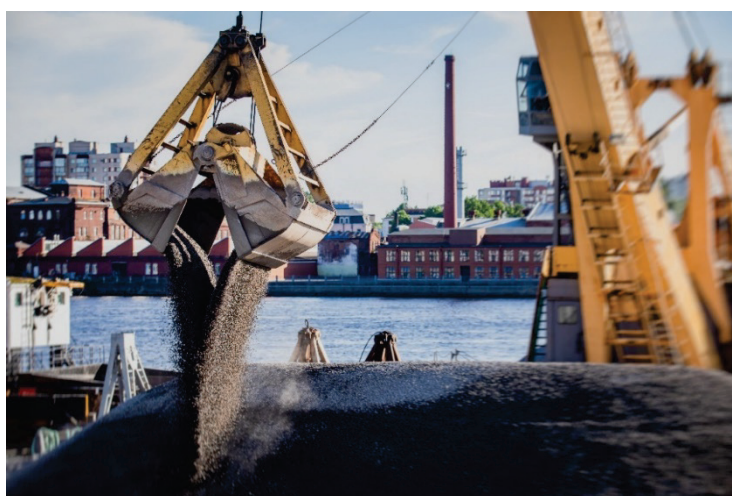
Slika 18: Vrtljivi (konzolni) žerjav

Vir: ©/Adobe Stock



Slika 19: Vrtljivi pomolni žerjavi

Vir: ©/Adobe Stock

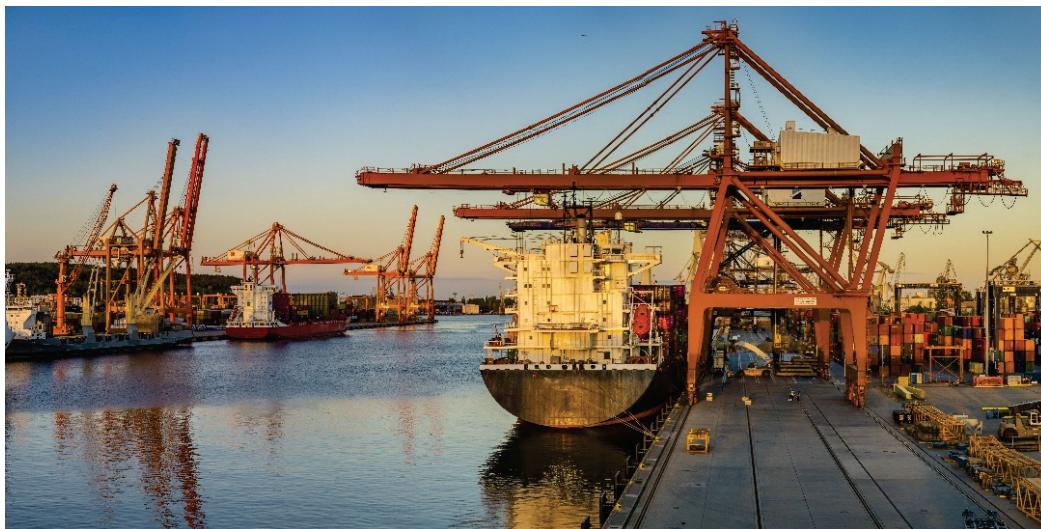


Slika 20: Vrtljivi pomolni žerjav z grabilnikom razsutega tovora

Vir: ©/Adobe Stock

2.2.5 Kontejnerski žerjavi

Kontejnerske žerjavi (slika 21) so vrsta portalnih (kozičastih) žerjavov, ki se uporabljajo za nakladanje in razkladanje ladijskih kontejnerjev iz kontejnerskih ladij. Kontejnerski žerjavi so nameščeni na tire in se lahko premikajo vzdolž kontejnerske ladje. Ti žerjavi uporabljajo posebna kontejnerska prijemala (slika 22) za zanesljivo in hitro manipulacijo ladijskih kontejnerjev.



Slika 21: Kontejnerski žerjavi

Vir: ©/Adobe Stock



Slika 22: Prijemalo kontejnerskega žerjava

Vir: ©/Adobe Stock

Za transport kontejnerjev do ali od kontejnerskih žerjavov uporabljamo posebno vrsto tovornih vozil in avtomatsko vodenih tovornih vozil (slika 23).



Slika 23: Avtomatsko vodena tovorna vozila za transport ladijskih kontejnerjev

Vir: ©/Adobe Stock

2.2.6 Mobilni žerjavi

Mobilni žerjavi (avtodvigala) so premični žerjavi na kolesih ali gosenicah vozila in so namenjeni dviganju in prenašanju tovora (slika 24).

Mobilne žerjave v osnovi delimo na:

- cestne žerjave,
- tirne žerjave,
- plovne žerjave.

Mobilne žerjave uporabljamo tam, kjer je potrebna hitra in zanesljiva uporaba, zato so nepogrešljivi v gradbeništvu in pri transportu težkega tovora.



Slika 24: Mobilni avtožerjav

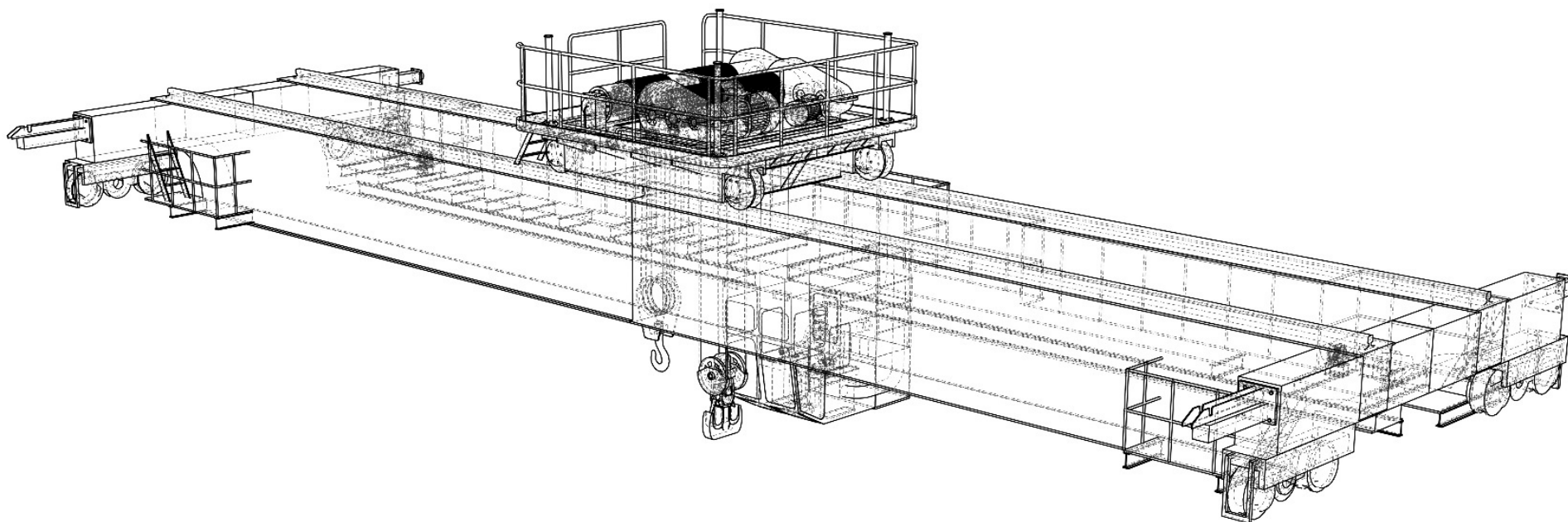
Vir: ©/Adobe Stock

3 Mostni žerjavi v intralogistiki

Mostni žerjavi omogočajo učinkovito podporo notranjemu transportu. Omogočajo nakladanje, razkladanje in transport materiala, polizdelkov in izdelkov večjih nosilnosti ter geometrijskih oblik. Učinkovito jih uporabljamo v kovinskopredelovalni industriji ter drugih panogah industrije, v skladiščih in strojnicah (Isakovič, 1963, Potrč, 2005).

Posamezne komponente mostnega žerjava (slika 25) so naslednje (Isakovič, 1963, Potrč, 2005):

- glavni prečni nosilec (most) žerjava, ki omogoča premikanje bremena v vodoravni (y) smeri; v odvisnosti od obremenitve je lahko eden ali pa sta dva,
- maček z dvižnim mehanizmom žerjava, ki omogoča dviganje in spuščanje bremena v navpični (z) smeri ter premikanje bremena v prečni (x) smeri,
- čelni nosilec žerjava, ki služi za prenos obremenitev iz glavnega prečnega nosilca žerjava na pogonska kolesa žerjava,
- pogon vožnje mačka in dvižnega mehanizma,
- pogon vožnje mostnega žerjava,
- odbijači mačka in mostnega žerjava,
- kabina upravljalca mostnega žerjava.



Slika 25: Mostni žerjav z dvema glavnima nosilcema

Vir: ©/Adobe Stock

3.1 Žerjavni most

Žerjavni most je sestavljen iz enega ali dveh glavnih (prečnih) nosilcev, ki prevzemata vertikalne obremenitve lastnih tež in kolesne pritiske premikajočega se mačka z bremenom.

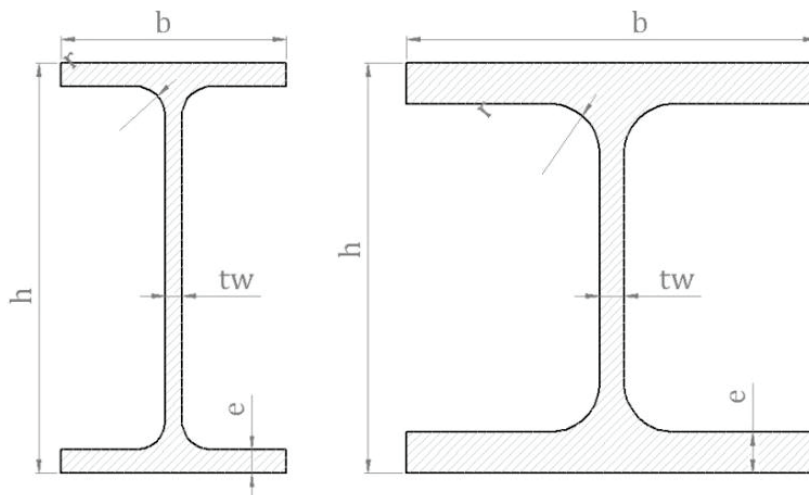
Klasični mostni žerjavi imajo nosilnost od $Q = 10$ kN do $Q = 1000$ kN. Obstajajo posebne izvedbe mostnih žerjavov do nosilnosti $Q = 5000$ kN. Pri manjših obremenitvah se maček premika po spodnji pasnici glavnega prečnega nosilca (slika 26). Pri večjih obremenitvah pa se maček premika po tračnicah, nameščenih na dveh vzporednih glavnih prečnih nosilcih žerjava (Isakovič, 1963, Potrč, 2005).

Mostni žerjavi manjših nosilnosti in razponov so po navadi izvedeni z enim glavnim prečnim nosilcem (valjani I-profil, slika 27). Žerjavni vitel (dvižni mehanizem) je vgrajen v mačka, ki se premika po spodnji pasnici glavnega nosilca. Primerni so za nosilnosti od $Q = 10$ kN do $Q = 25$ kN.



Slika 26: Mostni žerjav z mačkom, ki potuje po spodnji pasnici I-profila

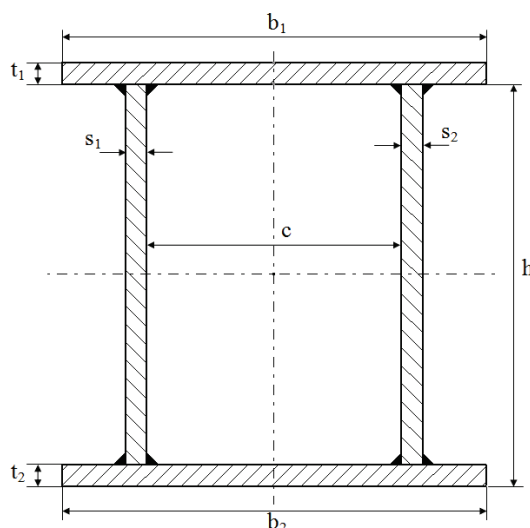
Vir: ©/Adobe Stock



Slika 27: I-profil glavnega nosilca mostnega žerjava

Vir: Srt, 2012

Za večje nosilnosti ($Q > 100$ kN) in razpone se uporabljajo žerjavi z dvema glavnima nosilcema iz škatlastega profila (slika 28). Mostna konstrukcija žerjava je izvedena kot škatlasti nosilec s tračnico na notranji nosilni strani ali v sredini nosilca. Maček se premika po tirnici, nameščeni na zgornjem delu glavnega nosilca.



Slika 28: Škatlasti profil glavnega nosilca mostnega žerjava

Vir: Srt, 2012

Viseča izvedba mostnega žerjava je primerna tam, kjer konstrukcija objekta omogoča vgradnjo tirnic na strop objekta. Nosilnost visečih mostnih žerjavov je podobna nosilnosti z enim glavnim prečnim nosilcem od $Q = 10$ kN do $Q = 25$ kN. Mostni žerjavi lahko dosežejo hitrost do $v = 200$ m/min v vzdolžni (y) smeri, medtem ko lahko maček doseže hitrost $v =$ od 10 do 100 m/min v prečni (x) smeri (Isakovič, 1963, Potrč, 2005).

Mostne žerjave upravljamo iz kabine upravljavca žerjava (slika 29) ali pa jih daljinsko brezžično krmili upravljaavec žerjava.



Slika 29: Upravljanje mostnega žerjava iz kabine upravljavca žerjava

Vir: ©/Adobe Stock

Glede na varnostne predpise moramo med konstrukcijo mostnega žerjava in objektom, kjer je mostni žerjav nameščen, zagotoviti dovolj prostora med hodnikom vzdolž žerjavne proge in kabino upravljavca žerjava (slika 30).



Slika 30: Prostor med hodnikom vzdolž žerjavne proge in kabino upravljavca žerjava

Vir: ©/Adobe Stock

3.2 Maček

Maček z dvižnim mehanizmom (slika 31) se premika po glavnem prečnem nosilcu žerjava. Pogon mačka v prečni (x) smeri je izveden s pogonskim elektromotorjem z nasadnim gonilom, medtem ko za dvižni mehanizem mačka uporabljamo 3-fazne asinhronske elektromotorje večjih moči (odvisno od bremena). Dviganje bremena je izvedeno z jeklenimi vrvmi, povezanimi s spodnjim škripčnikom.

Maček mostnega žerjava je sestavljen iz naslednjih glavnih sklopov (Isakovič, 1963, Potrč, 2005):

- dviznega mehanizma, ki obsega jeklene vrvi, spodnjega škripčnika, vrvnega bobna, izravnalne vrvenice, reduktorja, sklopke z zavoro, pogonskega elektromotorja in stikala,
- voznega mehanizma mačka, ki obsega tekalna kolesa, reduktor, sklopko z zavoro in pogonski elektromotor z nasadnim gonilom,
- ogrodja mačka, kjer so združeni vsi mehanski deli.



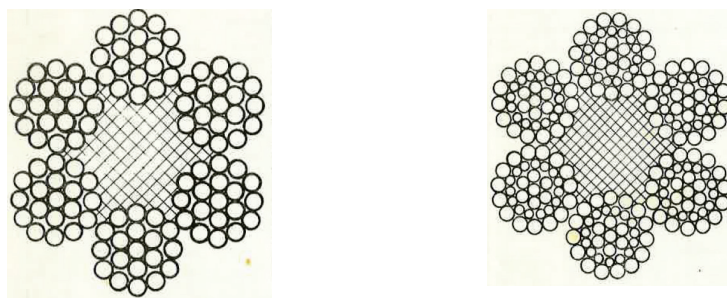
Slika 31: Izvedba mačka mostnega žerjava za večje obremenitve

Vir: ©/Adobe Stock

3.2.1 Elementi vrvnih pogonov mačka

Vrvi

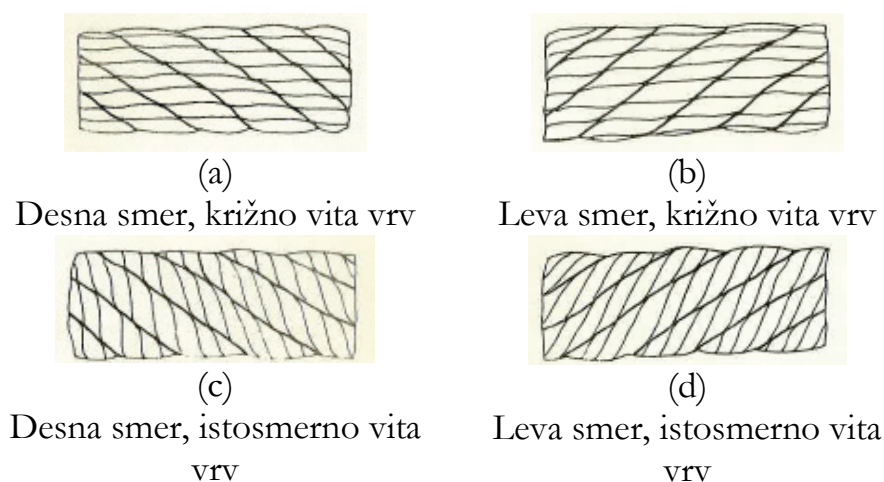
Pri mostnih dvigalih za dvizne vrvi uporabljamo jeklene žične vrvi z določeno natezno trdnostjo ($\sigma_M = 1400, 1600$ ali 1800 N/mm^2). Vrvi so lahko brez stržena ali s strženom (slika 32). Pri mostnih dvigalih uporabljamo vrvi s strženom, ki so sestavljene iz šestih ali osmih žičnih spleto, ovitih okoli stržena. Stržen je lahko iz konoplje ali iz mehke jeklene žice (Isakovič, 1992).



Slika 32: Jeklena vrv s strženom

Vir: Potrč, 1980

Žica je v splet ovita v levi ali desni smeri. Z ovijanjem spleta v isti smeri, kot je ovita žica, nastane istosmerno vito vrv. Na sliki 33 so prikazane različne izvedbe vite vrvi.



Slika 33: Ovijanje žice v splet

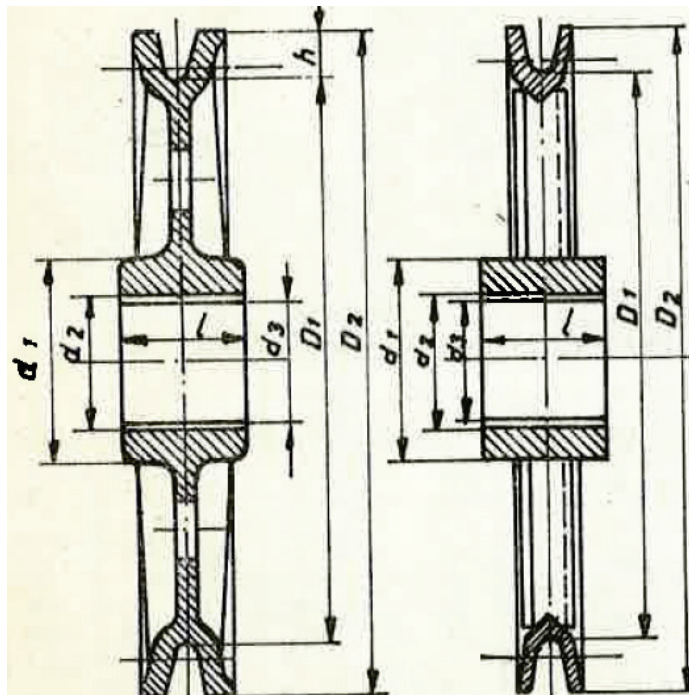
Vir: Potrč, 1980

Z ovijanjem spleta v nasprotni smeri, kot je ovita žica, nastane križno vito vrv. Istoosmerno vito vrv se lažje upogiba, lahko pa se hitro razplete, zato pri mostnih dvigalih uporabljamo križno vito vrv. Za zagotavljanje ustrezne življenjske dobe vrvi je potrebno mazanje vrvi že pri ovijanju žic in kasneje med obratovanjem mostnega žerjava. Mazivo preprečuje povečano obrabo vrvi in omogoča lažje upogibanje vrvi (Isakovič, 1992).

Opomba: Določitev premera dvizne vrvi po standardu EN 13001 bo podrobneje predstavljeno v poglavju 4.3.

Vrvenice

Vrvenice so lahko vodilne ali izravnalne in jih uporabljamo za vodenje vrvi. Izdelane so iz sive ali jeklene litine ali pa so kovane iz jekla ter v varjeni izvedbi. Vrvenica (slika 34) je vrtljiva na osi ali pa je pritrjena na rotirajočo os (Isakovič, 1992).



Slika 34: Primer izvedbe vrvenice

Vir: Potrč, 1980

Dimenzioniranje vrvenic in izravnalnih vrvenic po standardu EN 13001-3-2:2014

Dimenzioniranje vrvenic in izravnalnih vrvenic izvedemo na osnovi izbranega razmerja premerov (D/d) v preglednici 1 in ga označimo z (R_{Dd}).

Preglednica 1: Določitev razmerja premerov (D/d) po EN 13001-3-2:2014

Razred	S_{R0}	S_{R1}	S_{R2}	S_{R3}	S_{R4}	S_{R5}	S_{R6}	S_{R7}	S_{R8}	S_{R9}
Razmerje R_{Dd}	11,2	12,5	14,0	16,0	18,0	20,0	22,4	25,0	28,0	31,5

Določitev premera (D) vrvenice in izravnalne vrvenice je enaka izrazu (3.1):

$$R_{Dd} = \frac{D}{d} \Rightarrow D = R_{Dd} \cdot d \quad (3.1)$$

kjer je:

D – premer vrvenice, izravnalne vrvenice

d – premer dvizžne vrvi

R_{Dd} – razmerje premerov D/d

Glede na priporočilo standarda EN 13001-3-2:2014 je treba upoštevati naslednjo odvisnost (3.2):

$$D = \min (D_v; 1,125 \cdot D_{iv}) \quad (3.2)$$

kjer je:

D_v – premer vrvenice, izravnalne vrvenice

D_{iv} – premer dvizžne vrvi

Minimalni premer vrvenice ($D_{v \min}$) je enak izrazu (3.3):

$$D_{v \min} = D \quad (3.3)$$

Minimalni premer izravnalne vrvenice ($D_{iv \min}$) je enak izrazu (3.4):

$$D_{iv \min} = \frac{D}{1,125} \quad (3.4)$$

Standardni premer vrvenice (D_v) in izravnalne vrvenice (D_{iv}) izberemo iz preglednice 2.

Preglednica 2: Standardni premeri vrvnih bobnov, vrvenic in izravnalnih vrvenic

Standardni premeri vrvnih bobnov, vrvenic in izravnalnih vrvenic (mm)										
225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225

Vrvni bobni

Vrvni bobni mostnih žerjavov omogočajo dvig bremen. Površina vrvnega bobna je lahko gladka, če se vrv navija na boben v več plasteh. Pogosteje se v praksi uporablja ožlebljen vrvni boben, kjer se vrv navija v eni plasti. Tako je vrv v žlebu bobna vodena in ne drsi po vrvnem bobnu. Vrvni bobni so lahko liti iz sive litine, večji vrvni bobni pa so varjeni iz jeklene pločevine.

Dimenzioniranje vravnega bobna po standardu EN 13001-3-2:2014

Tudi dimenzioniranje vravnega bobna izvedemo na osnovi izbranega razmerja premerov (D/d) v preglednici 1 in ga označimo z (R_{Dd}).

Določitev premera (D) vravnega bobna je enaka izrazu (3.5):

$$R_{Dd} = \frac{D}{d} \Rightarrow D = R_{Dd} \cdot d \quad (3.5)$$

kjer je:

D – premer vravnega bobna

d – premer dvizhne vrvi

R_{Dd} – razmerje premerov D/d

Glede na priporočilo standarda EN 13001-3-2:2014 je treba upoštevati naslednjo odvisnost (3.6):

$$D = \min (1,125 \cdot D_b) \quad (3.6)$$

kjer je:

D_b – premer vravnega bobna

Minimalni premer vravnega bobna ($D_{b \min}$) je enak izrazu (3.7):

$$D_{b \min} = \frac{D}{1,125} \quad (3.7)$$

Standardni premer vravnega bobna (D_b) izberemo iz preglednice 2.

Opomba: Nadaljnji preračun vravnega bobna temelji na neobjavljenem gradivu (rokopisu) *Preračun mačka na tekalnem žerjavu* (Potrč, 1985).

Vrvni boben izvedemo z levimi in desnimi navojnimi žlebi. Na vsako polovico vrvnega bobna se navije dolžina vrvi (L_s), kar je enako izrazu (3.8):

$$L_s = i_s \cdot H \quad (3.8)$$

kjer je:

L_s – dolžina vrvi, navite na polovico bobna

i_s – prestava škripčevja

H – višina dviganja bremena

Število navojev (n) na eno polovico bobna je enako izrazu (3.9):

$$n = \frac{L_s}{\pi \cdot D_b} + 2 \quad (3.9)$$

kjer je:

L_s – dolžina vrvi, navite na polovico bobna

D_b – premer vrvnega bobna

Vrvni boben mora biti izveden tako, da ostaneta pri najnižji legi kavlja na vrvnem bobnu še dva navoja vrvi.

Potrebno število navojev (n_{dej}) na eno polovico bobna je enako izrazu (3.10):

$$n_{dej} = n + 2 \quad (3.10)$$

Dolžina ene strani z navojem opremljenega bobna (l) je enaka izrazu (3.11):

$$l = n_{dej} \cdot s \quad (3.11)$$

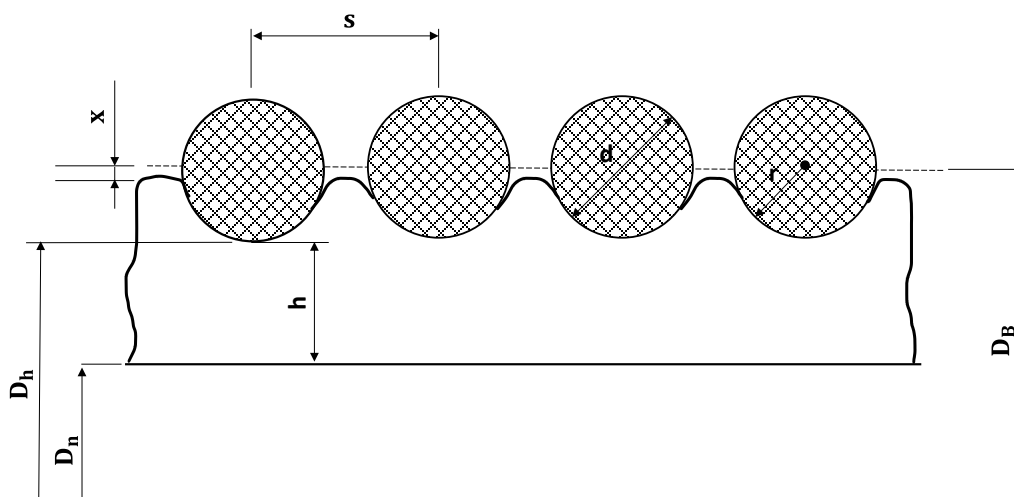
kjer je:

s – korak ožlebljenja (slika 35)

Standardni premeri vrvi in koraki ožlebljenja so podani v preglednici 3.

Preglednica 3: Standardni premeri vrvi in koraki ožlebljenja, Žlender, 2013

d [mm]	s [mm]	a [mm]	e [mm]	R [mm]	r [mm]
6	7	0,7	0,2	3,2	0,5
7	8	0,8		3,7	
8	9,5	1		4,2	
9	10,5		0,3	4,8	
10	11,5			5,3	
11	13	1,5	0,5	6	0,8
12	14			6,5	
13	15			7	
14	16	2	1	7,5	1,3
15	17			8	
16	18			9	
18	20	2,5	1,5	10	1,6
20	22			11	
22	25	3	2	12	1,6
24	27			13	
27	30	3,5	1,5	14,5	1,3
29	33			15,5	
31	35			17	
33	37	4	1,5	18	1,3
35	39			19	
37	41	4,5	1,5	20	1,3
40	44			22	
42	47	5	2	23	1,6
44	49	5,5		24	



Slika 35: Korak ožlebljenja vrvnega bobna

Vir: lasten

Celotna dolžina vravnega bobna (l_b), prikazana na sliki 36, je enaka izrazu (3.12):

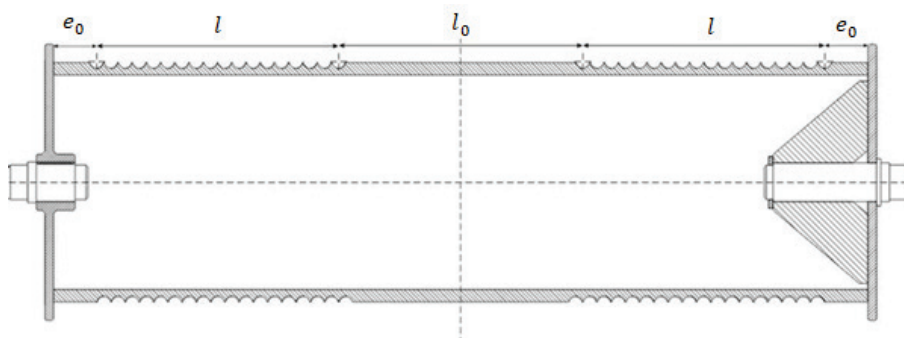
$$l_b = 2 \cdot l + l_0 + 2 \cdot e_0 \quad (3.12)$$

kjer je:

l – dolžina ene strani z navoji opremljenega bobna

l_0 – razdalja med levo in desno navojnico bobna

e_0 – razdalja med čelno ploskvijo in prvim navojnim žlebom bobna



Slika 36: Dimenzije vrvnega bobna

Vir: Srt, 2012

Trdnostna kontrola vrvnega bobna

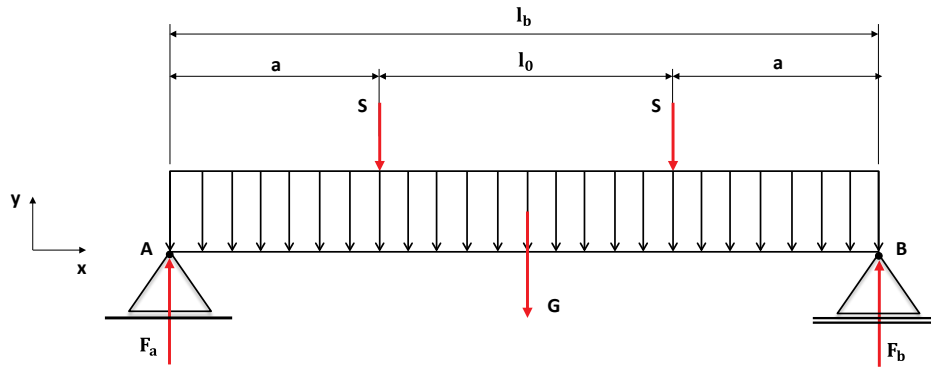
Vrvni boben je obremenjen na:

- upogib, ki ga povzroča vlek odtekajočih sil,
- torzijo zaradi vrtilnega momenta,
- oklenitev (zadrg) zaradi stiskanja vrvnega bobna z navoji.

Obremenitev na torzijo ne vpliva izrazito na vrvni boben, zato jo zanemarimo in v nadaljevanju upoštevamo samo obremenitev na upogib in oklenitev (zadrg).

Obremenitev na upogib vrvnega bobna

Vrvni boben obravnavamo kot prosto ležeči nosilec (slika 37), ki je podprt na dveh podporah. Štrcelj bobna leži s svojo osjo v ležaju, kjer deluje reakcija (F_B). Reakcijo (F_A) prevzame štrcelj reduktorja. Najneugodnejša obremenitev vrvnega bobna je pri polno naviti vrvi, ko je kavelj v najvišji legi mostnega žerjava.



Slika 37: Sile, ki delujejo na vrveni boben

Vir: lasten

Opomba: Težo vravnega bobna in težo vrvi predpostavimo glede na inženirske izkušnje. Dimenzija na sliki 37 je enaka $a = l + e_0$.

Reakcijo (F_B) določimo iz ravnotežnega pogoja $\sum M_{(A)} = 0$ in je enaka izrazu (3.13):

$$\begin{aligned} \sum M_{(A)} &= 0 \\ -S \cdot a - G \cdot \frac{l_b}{2} - S \cdot (a + l_0) + F_B \cdot l_b &= 0 \\ F_B &= \frac{S \cdot a + G \cdot \frac{l_b}{2} + S \cdot (a + l_0)}{l_b} \end{aligned} \quad (3.13)$$

kjer je:

F_B – reakcijska sila v podpori B

S – sila v vrvi

G – sila teže vravnega bobna skupaj z vrvjo ter drugimi elementi vravnega bobna

Reakcijo (F_A) določimo iz ravnotežnega pogoja $\sum F_{(y)} = 0$ in je enaka izrazu (3.14):

$$\begin{aligned} \sum F_{(y)} &= 0 \\ F_A + F_B - 2 \cdot S - G &= 0 \\ F_A &= 2 \cdot S + G - F_B \end{aligned} \quad (3.14)$$

kjer je:

F_B – reakcijska sila v podpori B

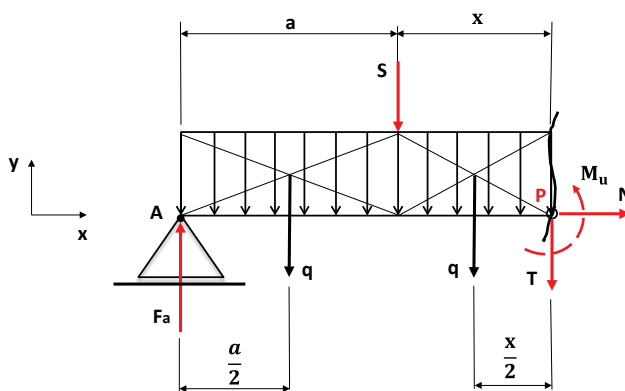
F_A – reakcijska sila v podpori A

S – sila v vrvi

G – sila teže vravnega bobna skupaj z vrvjo ter drugimi elementi vravnega bobna

Maksimalni upogibni moment vravnega bobna

Prerez vravnega bobna z obremenitvami, notranjimi silami in upogibnim momentom je prikazan na sliki 38.



Slika 38: Obremenitve, notranje sile in upogibni moment na prerezu vravnega bobna

Vir: lasten

Upogibni moment vravnega bobna (M_u) je enak izrazu (3.15):

$$\begin{aligned} \sum M_{(P)} &= 0 \\ S \cdot x + q \cdot \frac{x}{2} + q \cdot \left(\frac{a}{2} + \frac{x}{2}\right) - F_A \cdot (a + x) + M_u & \\ &= 0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$M_u = F_A \cdot (a + x) - S \cdot x - q \cdot \frac{x}{2} - q \cdot \left(\frac{a}{2} + \frac{x}{2}\right)$$

kjer je:

F_A – reakcijska sila v podpori A

S – sila v vrvi

q – kontinuirana obremenitev, definirana na dolžino vravnega bobna

T, N – notranji sili

M_u – upogibni moment

Odpornostni moment (W_x) plašča vravnega bobna je enak izrazu (3.16):

$$W_x = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_h^4 - D_n^4}{D_h} \quad (3.16)$$

kjer je:

D_h – zunanji premer vravnega bobna

D_n – notranji premer vravnega bobna

Upogibna napetost (σ_u) vravnega bobna je enaka izrazu (3.17):

$$\sigma_{up} = \frac{M_u}{W_x} \leq \sigma_{dop} \quad (3.17)$$

kjer je:

M_u – maksimalni upogibni moment

W_x – odpornostni moment plašča vravnega bobna

σ_{dop} – dopustna upogibna napetost

Kontrola vravnega bobna zaradi obremenitve na oklenitev (zadrg)

Navoji vrvi oklenejo vravni boben in ga obremenjujejo na tlak in upogib na mestih, kjer vrv nateka na vravni boben.

Obremenitev na tlak je enaka izrazu (3.18):

$$\sigma_t = 0,5 \cdot \frac{S}{h \cdot s} \quad (3.18)$$

kjer je:

- σ_t – napetost na bobnu zaradi tlaka
- S – sila v vrvi
- h – debelina stene vrvnega bobna
- s – korak ožlebljenja vrvnega bobna

Obremenitev na upogib je enaka izrazu (3.19):

$$\sigma_u = 0,96 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{1}{D_b \cdot h^3}} \quad (3.19)$$

kjer je:

- σ_u – napetost na bobnu zaradi upogiba
- S – sila v vrvi
- D_b – premer vrvnega bobna
- h – debelina stene vrvnega bobna

Primerjalna napetost (σ_p) je enaka izrazu (3.20):

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_u^2 - \sigma_t \cdot \sigma_u} \quad (3.20)$$

kjer je:

- σ_u – napetost na bobnu zaradi upogiba
- σ_t – napetost na bobnu zaradi tlaka

Kontrola maksimalne napetosti

Maksimalna napetost (σ_{\max}) je enaka izrazu (3.21):

$$\sigma_{\max} = \sigma_u + \sigma_p \quad (3.21)$$

kjer je:

σ_u – napetost na bobnu zaradi upogiba

σ_p – primerjalna napetost

Dopustna napetost (σ_{dop}) je enaka izrazu (3.22):

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{p0,2}}{\nu} \quad (3.22)$$

kjer je:

$R_{p0,2}$ – meja plastičnosti

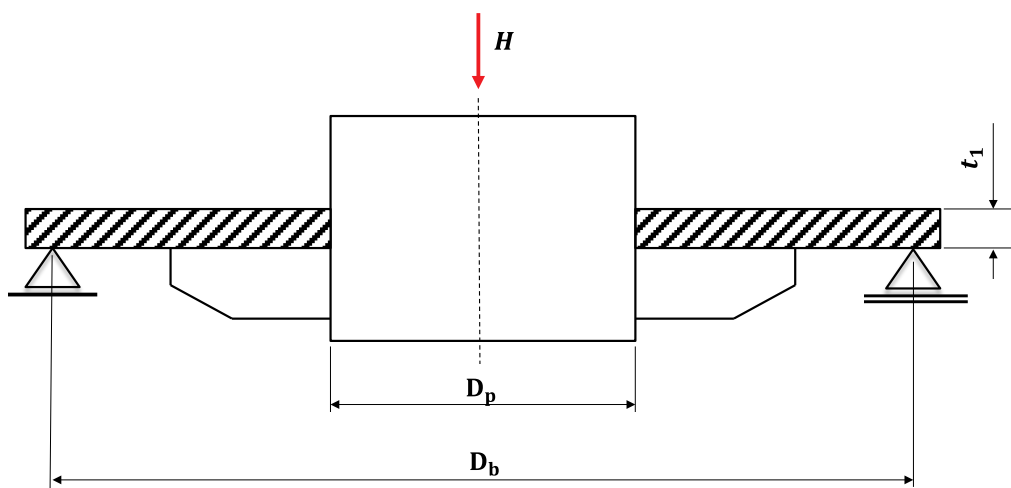
ν – varnostni koeficient

Pri maksimalni napetosti (σ_{max}) mora biti zagotovljen naslednji izraz (3.23):

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{dop} \quad (3.23)$$

Čelna plošča bobna

Računamo jo kot krožno ploščo (slika 39), ki je obremenjena zaradi poševnega vleka vrvi (slika 40).



Slika 39: Delovanje vodoravne sile (H) na vrtnem bobnu

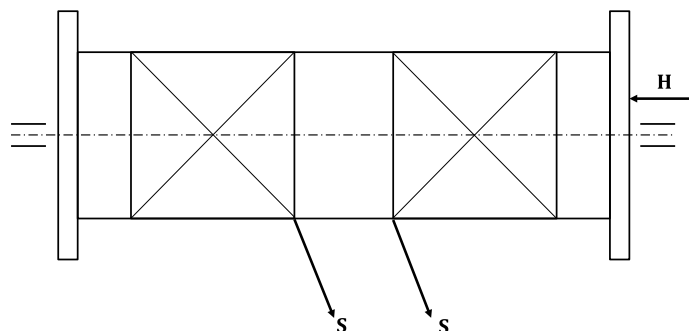
Vir: lasten

Vodoravna sila ($F_{HB} = H$) znaša približno 10 % vrvne sile vseh odtekajočih vrvi na bobnu in je enaka izrazu (3.24):

$$F_{HB} = 0,1 \cdot 2 \cdot S \quad (3.24)$$

kjer je:

S – sila v vrvi



Slika 40: Delovanje vodoravne sile ($F_{HB} = H$) zaradi poševnega vleka vrvi

Vir: lasten

Napetost v čelni plošči (σ_c) je enaka izrazu (3.25):

$$\sigma_c = 1,44 \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D_p}{D_b}\right) \cdot \frac{F_{HB}}{t_1^2} \quad (3.25)$$

kjer je:

D_p – premer pesta vrvnega bobna

D_b – premer vrvnega bobna

F_{HB} – vodoravna sila na vrvni bobnen

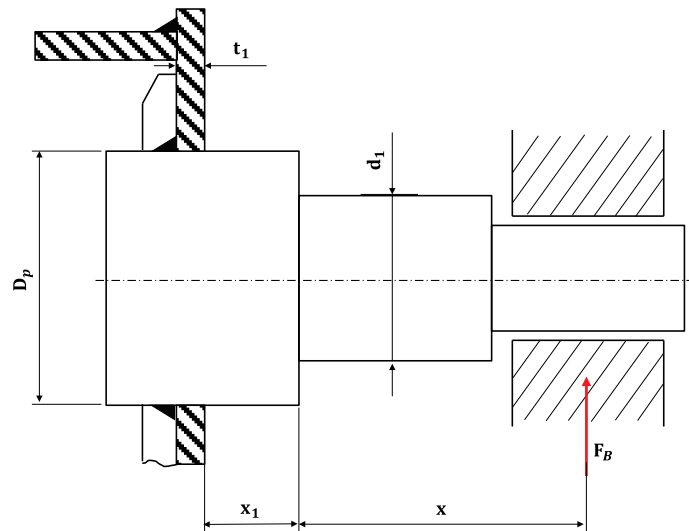
t_1 – debelina čelne stene vrvnega bobna

Pri napetosti v čelni plošči (σ_c) vrvnega bobna mora biti zagotovljen naslednji izraz (3.26):

$$\sigma_c \leq \sigma_{dop} \quad (3.26)$$

Štrclj vrvnega bobna

Kontroliramo ga na upogib v kritičnem prerezu (slika 41) in mu določimo (d_1) glede na dopustno napetost (σ_{dop}) za izbrani material.



Slika 41: Štrclj vrvnega bobna

Vir: lasten

Upogibni moment (M_u) je enak izrazu (3.27):

$$M_u = F_B \cdot x \quad (3.27)$$

kjer je:

M_u – upogibni moment

F_B – reakcijska sila v podpori B

Premer štrclja vrvnega bobna (d_1) je enak izrazu (3.28):

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{M_u}{0,1 \cdot \sigma_{\text{dop}}}} \quad (3.28)$$

3.2.2 Elementi za prevzemanje bremena

Bremenski kavljji

Bremenski kavljji se uporabljajo za prenašanje bremena. Sestavljeni so iz zakrivljenega dela in stebra. Pri majhnih obremenitvah pritrdimo kavelj direktno na vrv, pri večjih obremenitvah pa je kavelj pritrjen na škripec, zato ima steblo kavlja navoj za pritrditev na prečko (Isakovič, 1992).

Ločimo enojne in dvojne bremenske kavljje (slika 42), ki jih uporabimo za težka bremena. Lamelne kavljje uporabimo v posebnih pogojih, ko so kavljji izpostavljeni visokim temperaturam. Kavljji so izdelavi iz jekla in so prosto ali utopno kovani (Isakovič, 1992).



Slika 42: Enojni bremenski kavelj

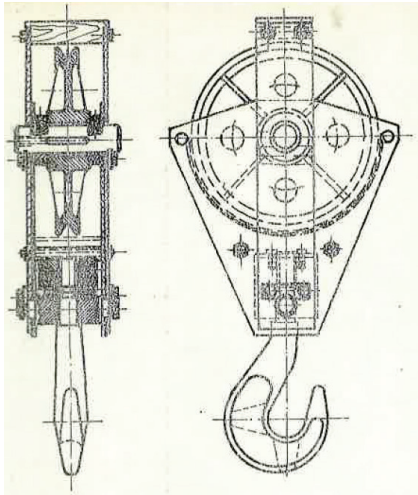
Vir: ©/Adobe Stock

Opomba: Izbira ustreznega kavlja po standardu EN 13001-3-5:2016 je podrobneje predstavljena v poglavju 4.4.

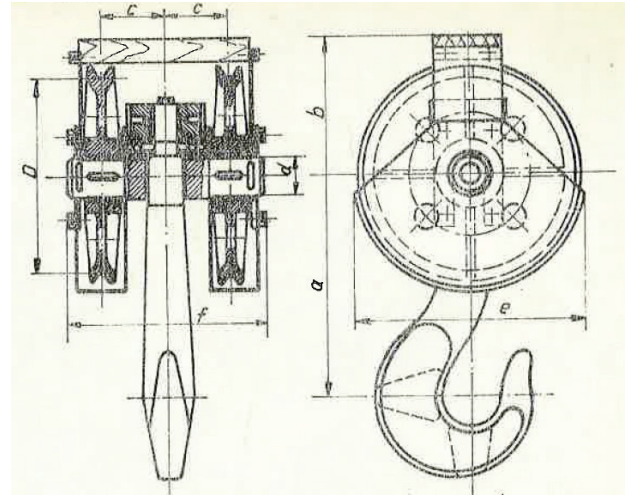
Škripci

Škripec je element, na katerega je pritrjen kavelj. Ločimo dve obliki škripca, in sicer:

- škripec v dolgi izvedbi (slika 43), kjer je vrvenica vrtljiva na mirujoči osi, pod vrvenico pa je na prečko nameščen kavelj,
- škripec v kratki izvedbi (slika 44), kjer sta vrvenici vrtljivi na prečki kavlja (Isakovič, 1992).



Slika 43: Spodnji škripčnik v dolgi izvedbi
Vir: Potrč, 1980



Slika 44: Spodnji škripčnik v kratki izvedbi
Vir: Potrč, 1980

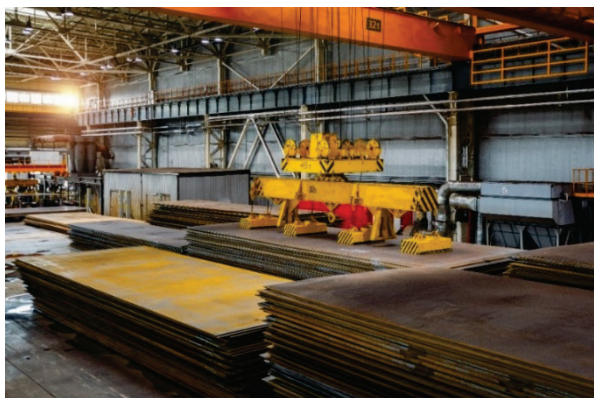


Slika 45: Uporaba spodnjega škripčnika v dolgi izvedbi
Vir: ©/Adobe Stock

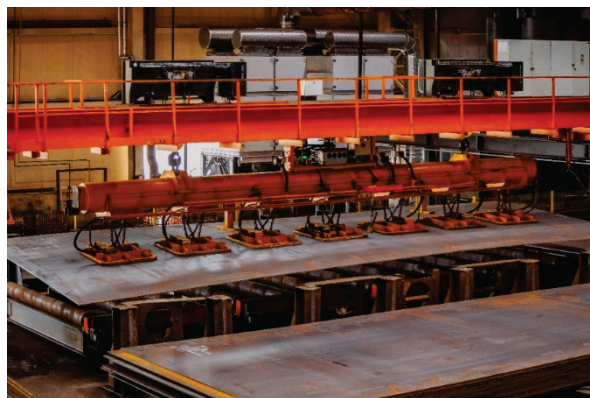
Uporaba spodnjega škripčnika v dolgi izvedbi je prikazana na sliki 45.

Obešalni pripomočki in prijemala

Za transport kosovnega in razsutega tovora z mostnimi žerjavi v praksi uporabljamo obešalne pripomočke in prijemala (slike 46, 47, 48, 49, 50, 51).



Slika 46: Magnetno prijemalo za pločevino
Vir: ©/Adobe Stock



Slika 47: Vakuumsko prijemalo za pločevino
Vir: ©/Adobe Stock



Slika 48: Nosilec za pločevinaste kolute
Vir: ©/Adobe Stock



Slika 49: Obešalne jeklene vrvi
Vir: ©/Adobe Stoc



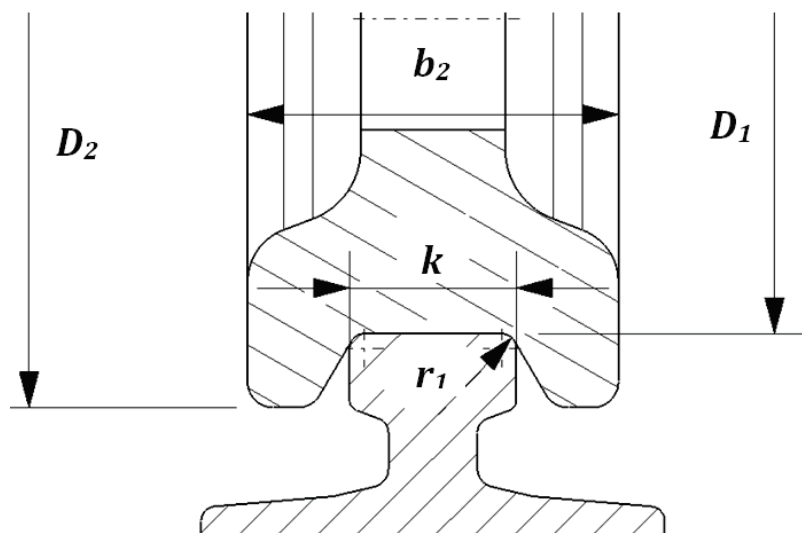
Slika 50: Obešalne verige in pasovi
Vir: ©/Adobe Stock



Slika 51: Obešalo za prenos večjih obremenitev
Vir: ©/Adobe Stock

3.2.3 Tirnice in tekalna kolesa

Za majhne obremenitve uporabljamo ploščate jeklene tirnice, za večje obremenitve pa tirnice s posebnim profilom (slika 52), ki so standardizirane (Isakovič, 1992).



Slika 52: Tirnica in tekalno kolo mačka mostnega žerjava

Vir: Srt, 2012

Tekalna kolesa žerjava prenašajo obremenitve žerjava na tirnice in omogočajo vožnjo žerjava. Enako velja za mačka; tekalna kolesa mačka prenašajo obremenitve mačka z bremenom na tirnice in omogočajo vožnjo mačka po mostu žerjava (Isakovič, 1992).

V nadaljevanju bo prikazan primer kontrole drsenja mačka (Srt, 2012).

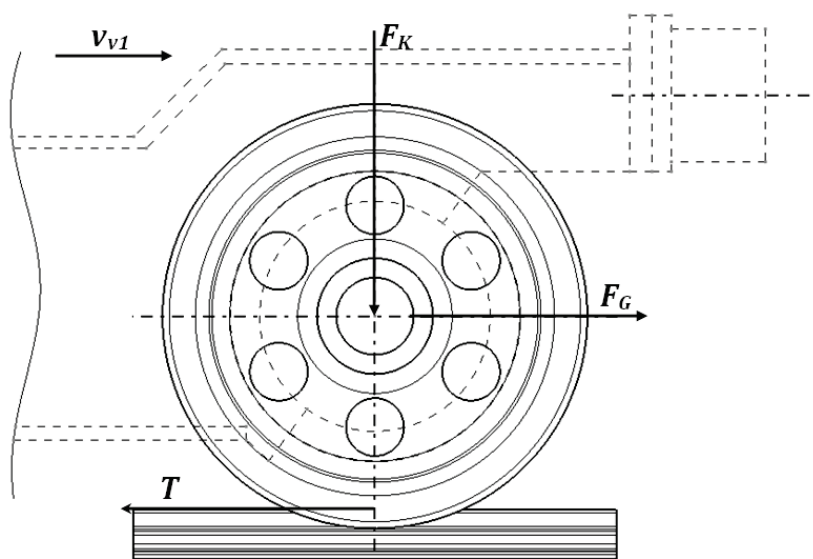
Pogonska kolesa mačka ne bodo spodsavala po tračnici (slika 53), če bo sila drsnega trenja (T) med gnanima tekalnima kolesoma in tračnico večja, kot je vlečna sila (F_G) mačka, kar je enako izrazu (3.29):

$$T > F_G \quad (3.29)$$

kjer je:

T – sila drsnega trenja

F_G – vlečna sila



Slika 53: Sile na tekalno kolo in tirnico

Vir: Srt, 2012

Sila teže (F_K) na eno kolo mačka je enaka izrazu (3.30):

$$F_K = \frac{(Q + G_0)}{4} \quad (3.30)$$

kjer je:

Q – nosilnost žerjava

G_0 – ocena sile teže mačka

Opomba: maček ima štiri kolesa.

Sila drsnega trenja (T) je enaka izrazu (3.31):

$$T = 2 \cdot F_K \cdot \mu_1 \quad (3.31)$$

kjer je:

F_K – sila teže na eno kolo mačka

μ_1 – koeficient trenja (jeklo – jeklo)

Opomba: maček ima dve pogonski kolesi.

Vlečna sila (F_G) mačka je enaka izrazu (3.32):

$$F_G = F_H + F_W \quad (3.32)$$

kjer je:

F_H – vztrajnostna sila mačka

F_W – sila, ki deluje na kolesa zaradi voznega upora

Vztrajnostna sila (F_H) mačka je enaka izrazu (3.33):

$$F_H = (m_Q + m_{G_0}) \cdot a_m \quad (3.33)$$

kjer je:

m_Q – masa bremena

m_{G_0} – masa mačka

a_m – pospešek mačka

Sila, ki deluje na kolesa zaradi voznega upora (F_W), je enaka izrazu (3.34):

$$F_W = \frac{(Q + G_0) \cdot w_{cel}}{1000} \quad (3.34)$$

kjer je:

Q – nosilnost žerjava

G_0 – ocena sile teže mačka

w_{cel} – koeficient voznega upora (N/kN)

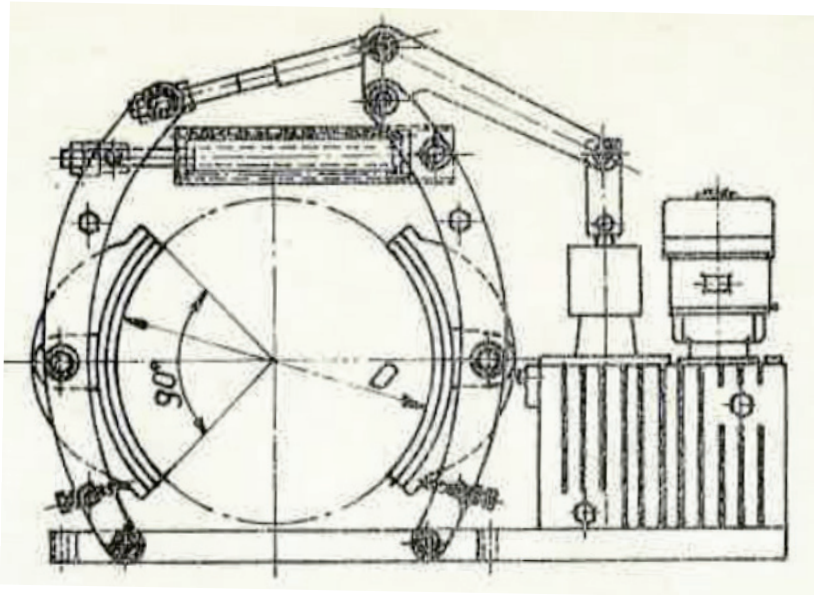
3.2.4 Zavore

Vsak žerjav mora biti opremljen z zanesljivo zavoro. Glede na osnovne naloge zavore ločimo tri vrste zavor (Isakovič, 1992):

- spuščalne zavore, ki uravnavajo hitrost spuščanja bremena,

- vozne zavore, ki zavirajo vožnjo žerjava,
- drzalne zavore, ki morajo po končanem dviganju ali spuščanju breme obdržati na določeni višini.

Pri mostnih žerjavih najpogosteje na mačku uporabljamo dvočeljustno (slika 54a) ali kolutno zavoro (slika 54b).



Slika 54: Dvočeljustna zavora z elektro-hidravlično odvorno napravo

Vir: Potrč, 1980

Na sliki 55 je prikazan primer uporabe dvočeljustne zavore na mačku mostnega žerjava.



Slika 55: Primer uporabe čeljustne zavore na mačku mostnega žerjava

Vir: ©/Adobe Stock

4 Standard za žerjave EN 13001

V Evropi in tudi v Sloveniji je sprejet in uveljavljen standard za žerjave EN 13001.

Osnove standarda EN 13001 so naslednje:

- stabilnost žerjava oz. njegovih delov (prevrnitev),
- prekoračitev trdnostnih mej (tečenje, porušitev, utrujanje),
- elastična nestabilnost žerjava ali njegovih delov (uklon, izbočenje),
- prekoračitev temperaturnih mej materiala ali komponent,
- prekoračitev deformacijskih mej.

Struktura standarda EN 13001 je naslednja:

- 1. del: Splošna načela in zahteve
EN 13001-1:2015
- 2. del: Učinki obremenitev
EN 13001-2:2014
- 3-1. del: Mejna stanja in dokaz varnosti jeklene nosilne konstrukcije
EN 13001-3-1:2012+A2:2018

- 3-2. del: Mejna stanja in dokaz varnosti jeklenih vrvi pri vrvnih pogonih
EN 13001-3-2:2014
- 3-3. del: Mejna stanja in dokaz varnosti stika kolo-tirnica
EN 13001-3-3:2014
- 3-4. del: Mejna stanja in dokaz varnosti mehanizma – Ležaji
EN 13001-3-4:2019
- 3-5. del: Mejna stanja in dokaz varnosti kovanih in litih kavljev
EN 13001-3-5:2016
- 3-6. del: Mejna stanja in dokaz varnosti mehanizma – Hidravlični cilindri
EN 13001-3-6:2018

Princip dimenzioniranja žerjava temelji na metodi mejnih stanj s privzeto stopnjo tveganja in metodi dopustne napetosti (glej standard EN 13001-1:2015).

4.1 Vrste obremenitev žerjava

Nosilna konstrukcija (mostni žerjav) je pri svojem delovanju izpostavljena posameznim obremenitvam, kot so teža tovora, lastna teža konstrukcije, vodoravne obremenitve kot posledica pospeševanja pogonskih mehanizmov, sila vetra in temperaturne spremembe (Herold, 2020).

Navedene obremenitve ne delujejo na mostni žerjav sočasno in so različne glede na velikost, čas trajanja in pogostost posamezne obremenitve.

Dimenzioniranje konstrukcije mostnega žerjava z upoštevanjem sočasnega delovanja vseh možnih obremenitev bi vodilo do predimenzioniranih ter stroškovno dragih izvedb (Herold, 2020).

Kombinacije obremenitev tako temeljijo na inženirskih izkušnjah in statistični verjetnosti sočasnega pojava različnih vrst obremenitev. Za nosilne konstrukcije se zahteva preračun trdnosti in togosti konstrukcije.

Mostni žerjav je konstrukcija, ki je podvržena statičnim in dinamičnim obremenitvam. Osnovno obremenitev mostnega žerjava ($F_{\phi,j}$) je zato treba povečati s pripadajočim dinamičnim koeficienti (Herold, 2020):

$$F_{\phi,j} = \phi_j \cdot F_j \quad (4.1)$$

kjer je:

F_j – del j -te obremenitve (lastna teža G , teža tovora Q itn.)

ϕ_j – dinamični koeficient j -te obremenitve

Skupaj z dinamičnimi koeficienti (ϕ_j) posameznih obremenitev upoštevamo tudi posamezne varnostne koeficiente ($\gamma_{p,j}$) in v primeru nevarnih situacij s koeficienti tveganja ($\gamma_{n,j}$).

Skupna obremenitev mostnega žerjava je enaka izrazu (4.2):

$$F_{d,j} = \gamma_{n,j} \cdot \gamma_{p,j} \cdot F_{\phi,j} = \gamma_{n,j} \cdot \gamma_{p,j} \cdot \phi_j \cdot F_j \quad (4.2)$$

Če mostni žerjav ne obratuje v nevarnih okoliščinah, je faktor tveganja ($\gamma_{n,j} = 1$), zato je skupna obremenitev mostnega žerjava enaka izrazu (4.3):

$$F_{d,j} = \gamma_{p,j} \cdot F_{\phi,j} = \gamma_{p,j} \cdot \phi_j \cdot F_j \quad (4.3)$$

Z namenom definiranja merodajnih kombinacij obremenitev mostnega žerjava so posamezne obremenitve, definirane po standardu EN 13001, razdeljene v tri osnovne skupine; to so:

- I. glavne obremenitve mostnega žerjava,
- II. dodatne obremenitve mostnega žerjava,
- III. izredne (posebne) obremenitve mostnega žerjava.

V nadaljevanju bodo v preglednici 4 podrobneje predstavljene glavne obremenitve mostnega žerjava, ki nastopajo v praksi pri delovanju mostnega žerjava (Herold, 2020).

Preglednica 4: Posamezne obremenitve iz I. skupine obremenitev skupaj s pripadajočimi dinamičnimi faktorji (Φ_j), definirane po standardu EN 13001-3-2:2014, (Herold, 2020)

Zap. št.	Posamezna obremenitev	Posledica obremenitve	Dinamični faktor	Povečana obremenitev
I. glavne obremenitve žerjava				
1	Obremenitev zaradi lastne teže konstrukcije žerjava $F_1 = G$	Vibracije nosilne konstrukcije med obratovanjem žerjava	Φ_1	$F_{\Phi_1} = \Phi_1 \cdot F_1$
2	Obremenitev zaradi bremena $F_2 = Q$	Vibracije zaradi dviganja bremena s tal	Φ_2, Φ_{2C}	$F_{\Phi_2} = \Phi_2 \cdot F_2$
3	Obremenitev zaradi hitrega razkladanja tovora (grabilci, magnetna prijemala) $F_3 = G$	Vibracije zaradi hitrega odlaganja tovora	Φ_3	$F_{\Phi_3} = \Phi_3 \cdot F_3$
4	Obremenitev zaradi vožnje žerjava po neravni površini $F_4 = G + Q$	Vibracije zaradi udarcev pri vožnji žerjava po neravni površini	Φ_4	$F_{\Phi_4} = \Phi_4 \cdot F_4$
5	Vodoravne obremenitve zaradi pospeševanja pogonskih mehanizmov $F_5 = F_H$	Vztrajnostne sile zaradi pospeševanja in pojemanja pogonskih mehanizmov	Φ_5	$F_{\Phi_5} = \Phi_5 \cdot F_5$
6	Obremenitve zaradi premikov podpor	Posledica netočnosti pri montaži ali izdelavi nosilne konstrukcije žerjava in vozne proge	$\Phi_6 = 1$	$F_{\Phi_6} = F_6$

Poleg glavnih obremenitev mostnega žerjava pa poznamo še dodatne in izredne (posebne) obremenitve mostnega žerjava, ki so prikazane v preglednici 5.

Preglednica 5: Posamezne obremenitve iz II. in III. skupine obremenitev, definiranih po standardu EN 13001-3-2:2014

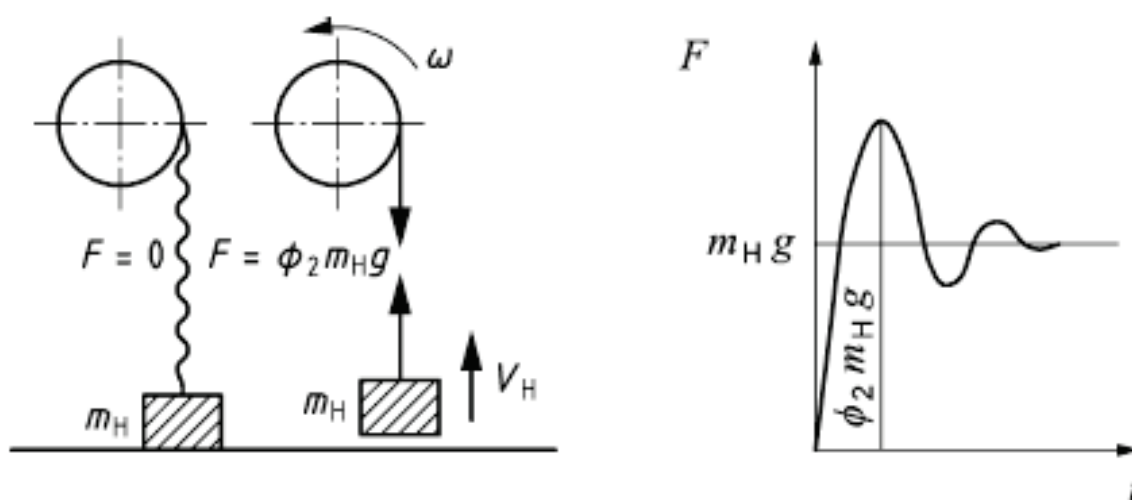
II. Dodatne obremenitve žerjava	III. Izredne (posebne) obremenitve žerjava
<ul style="list-style-type: none"> - obremenitve zaradi vetra pri obratovanju žerjava - obremenitve zaradi poševnega teka žerjava - obremenitve zaradi snega in leda - toplotne obremenitve 	<ul style="list-style-type: none"> - obremenitve zaradi dvigovanja bremena s tal s polno hitrostjo - obremenitve zaradi vetra izven obratovanja žerjava - preskusne obremenitve - obremenitve zaradi trka v odbijače žerjava - obremenitve zaradi sil nagibanja žerjava - obremenitve zaradi prisilne ustavitve žerjava - obremenitve zaradi odpovedi pogona žerjava - obremenitve zaradi zunanega vzbujanja podlage - obremenitve pri montaži in demontaži žerjava

V nadaljevanju bo podrobneje predstavljena najbolj izrazita obremenitev mostnega žerjava, in sicer obremenitev zaradi dviga tovora (Q), ki je definirana po standardu EN 13001-3-2:2014.

4.2 Obremenitev zaradi dviga bremena

Breme (Q) je vsota teže tovora (material, polproizvod ali proizvod) in teže delov žerjava za pripenjanje tovora (spodnji škripčnik, dvizni kavelj, različna prijemala itn.).

Poleg tovora se pri obratovanju dviznega mehanizma žerjava prenašajo na nosilno jekleno konstrukcijo žerjava navpične vztrajnostne sile kot posledica vibracij pri dvigu bremena s tal (slika 56), zaviranja pri dvigu in spustu tovora ter kotalnega trenja žerjava pri vožnji tekalnega kolesa po tirnicah (Herold, 2020).



Slika 56: Dinamični učinki pri dvigu bremena s tal

Vir: EN 13001-2:2014

Skladno s karakteristikami dinamičnega sistema mostnega žerjava glede na rezultate meritev in inženirskih izkušenj so mostni žerjavi razdeljeni v štiri osnovne dvizne skupine: HC1, HC2, HC3 in HC4 (preglednica 6). Osnova za takšno razdelitev je togost konstrukcije mostnega žerjava oz. karakteristični vertikalni pomik tovora (δ), ki se ugotavlja z meritvami ali z dinamično analizo elastičnega sistema nosilne konstrukcije, vrvi in podlage (Herold, 2020).

Preglednica 6: Togostni razredi žerjava, definirani po standardu EN 13001-2:2014

Togostni razred	Karakteristični vertikalni pomik bremena (δ)	Koeficient (β_2) [s/m]
HC1	$0,8 \text{ m} \leq \delta$	0,17
HC2	$0,3 \text{ m} \leq \delta < 0,8 \text{ m}$	0,34
HC3	$0,15 \text{ m} \leq \delta < 0,3 \text{ m}$	0,51
HC4	$\delta < 0,15 \text{ m}$	0,68

Vpliv dinamične obremenitve zaradi dviga bremena s tal (F_{ϕ_2}) določimo tako, da se sila teže tovora (Q) pomnoži z dinamičnim koeficientom (ϕ_2), ki je enak izrazu (4.4):

$$\phi_2 = \phi_{2,\min} + \beta_2 \cdot v_h \quad (4.4)$$

kjer je:

v_h – dvižna hitrost žerjava

β_2 – koeficient, ki je odvisen od togosti konstrukcije žerjava oz. od osnovne dvižneskupine HC1, HC2, HC3 in HC4

$\phi_{2,\min}$ – minimalna veličina ϕ_2 (preglednica 7), ki je odvisna od togosti konstrukcije žerjava in načina upravljanja dvižnega mehanizma žerjava

Preglednica 7: Vrednosti veličine ($\phi_{2,\min}$) v odvisnosti od HCi in HDi , definirane po standardu EN 13001-2:2014

Togostni razred	Razredi mehanizmov dviganja				
	HD1	HD2	HD3	HD4	HD5
HC1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
HC2	1,1	1,1	1,05	1,1	1,05
HC3	1,15	1,15	1,05	1,15	1,05
HC4	1,2	1,2	1,05	1,2	1,05

Glede na način upravljanja dvižnega mehanizma žerjava poznamo različne razrede mehanizmov (pogonov) žerjava HD:

- HD1: Počasna hitrost dviga bremena ni omogočena ali dvig bremena brez počasne hitrosti je omogočen.
- HD2: Dvig bremena je omogočen samo s počasno hitrostjo ali pa samo za določen čas dviga bremena.
- HD3: Avtomatska kontrola zagotavljanja počasne hitrosti dviga bremena, dokler tovora ne dvignemo s tal.
- HD4: Zvezna spremenljiva hitrost dviga bremena.
- HD5: Zvezna spremenljiva hitrost dviga bremena, ki zagotavlja, da dinamični koeficient (ϕ_2) ne prekorači ($\phi_{2,\min}$).

Vrednosti koeficienta (β_2) in veličine ($\phi_{2,\min}$) v odvisnosti od HC i in HD i , definirane po standardu EN 13001-2:2014, so predstavljene v preglednici 8.

Preglednica 8: Vrednosti koeficienta (β_2) in veličine ($\phi_{2,\min}$) v odvisnosti od HC i in HD i , definiranih po standardu EN 13001-2:2014, (Herold, 2020)

Togostni razred	Karakteristični vertikalni pomik bremena (δ)	Koeficient (β_2) [s/m]	Razredi mehanizmov dviganja				
			HD1	HD2	HD3	HD4	HD5
HC1	$0,8 \text{ m} \leq \delta$	0,17	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
HC2	$0,3 \text{ m} \leq \delta < 0,8 \text{ m}$	0,34	1,1	1,1	1,05	1,1	1,05
HC3	$0,15 \text{ m} \leq \delta < 0,3 \text{ m}$	0,51	1,15	1,15	1,05	1,15	1,05
HC4	$\delta < 0,15 \text{ m}$	0,68	1,2	1,2	1,05	1,2	1,05

V preglednici 9 so predstavljeni posamezni dvižni razredi HC i glede na vrsto žerjava.

Preglednica 9: Dvižni razredi žerjavov po standardu EN 13001, Žlender, 2013

Zap. št.	Vrsta žerjava	Način obratovanja	Dvižni razred
1	ročni žerjavi		HC1
2	montažni žerjavi		HC1, HC2
3	žerjavi v strojnici		HC1
4	skladiščni žerjavi	prekinjeno obratovanje	HC2
5	skladiščni, traverzni žerjavi, žerjavi na odpadu za staro železo	kontinuirano obratovanje	HC3, HC4
6	delavniški žerjavi		HC2, HC3
7	mostni, zabijačni žerjavi	prijemalno ali magnetno obratovanje	HC3, HC4
8	livarniški žerjavi		HC2, HC3
9	žerjavi za globoke peči		HC3, HC4
10	striper žerjavi, nakladalni žerjavi		HC4
11	žerjavi za v kovačnice		HC4
12	nakladalni most, polportalni žerjavi, portalni žerjavi z mačkom ali vrtljivi žerjavi	kaveljno obratovanje	HC2
13		prijemalno ali magnetno obratovanje	HC3, HC4
14	premična tračna premostitev s fiksnim ali gibljivo grajenim trakom		HC1
15	ladjedelniški žerjav	kaveljno obratovanje	HC2
16	pristaniški, obračalni, plavajoči, prevesni žerjavi	kaveljno obratovanje	HC2
17		prijemalno ali magnetno obratovanje	HC3, HC4
18	plavajoči žerjavi za velike obremenitve, železniški žerjavi		HC1
19	palubni žerjavi	kaveljno obratovanje	HC2
20		prijemalno ali magnetno obratovanje	HC3, HC4
21	stolpasti vrtljivi žerjav za gradbeništvo		HC1
22	montažni, visoko-jamborni žerjavi	kaveljno obratovanje	HC1, HC2
23	tirni vrtljivi žerjavi	kaveljno obratovanje	HC2
24		prijemalno ali magnetno obratovanje	HC3, HC4

Zap. št.	Vrsta žerjava	Način obratovanja	Dvižni razred
25	železniški žerjavi		HC2
26	avtožerjavi, mobilni žerjavi	kaveljno obratovanje	HC2
27		prijemalno ali magnetno obratovanje	HC3, HC4
28	avtožerjavi, mobilni žerjavi (velike nosilnosti)		HC1

4.3 Določitev premera dvižne vrvi po standardu EN 13001-3-2:2014

Dimenzioniranje vrvi mostnega žerjava po standardu EN 13001-3-2:2014 se izvaja glede na:

- dokaz statične trdnosti vrvi (ang. *proof of static strength*),
- dokaz trdnosti vrvi na utrujanje (ang. *proof of fatigue strength*).

V nadaljevanju bosta predstavljena oba pristopa.

4.3.1 Dokaz statične trdnosti vrvi

Izraz za dokaz statične trdnosti vrvi velja za vse obremenitvene kombinacije, prikazane v standardu EN 13001-2:2014:

$$F_{Sd,s} \leq F_{Rd,s} \quad (4.5)$$

kjer je:

$F_{Sd,s}$ – sila v vrvi mostnega žerjava

$F_{Rd,s}$ – dopustna sila v vrvi mostnega žerjava

Pri izbiri premera dvižne vrvi (d) moramo upoštevati ustrezen koeficient varnosti (ν), ki mora znašati vsaj $\nu = 5$ ali več.

Navpično dviganje bremena

Sila v vrvi

V primeru navpičnega dviganja bremena je sila v vrvi mostnega žerjava ($F_{Sd,s}$) enaka izrazu (4.6):

$$F_{Sd,s} = \frac{m_{Hr} \cdot g}{n_m} \cdot \phi \cdot f_{S1} \cdot f_{S2} \cdot f_{S3} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n \quad (4.6)$$

kjer je:

m_{Hr} – masa dvižnega bremena

g – gravitacijski pospešek

n_m – število nosilnih vrvi spodnjega škripčnika

ϕ – dinamični koeficient vztrajnostnih in gravitacijskih učinkov

f_{S1} – koeficient izkoristka škripčevja dvižnega mehanizma

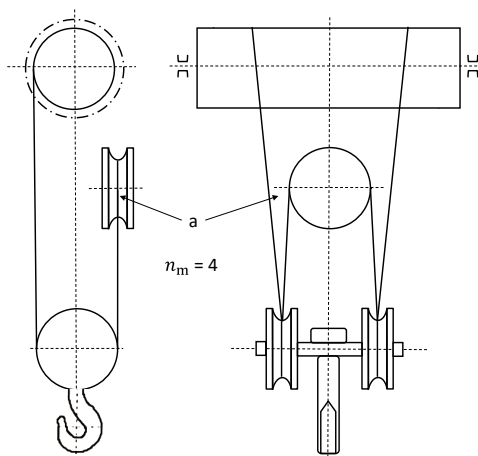
f_{S2} – koeficient nevzporodnosti nosilnih vrvi bremena dvižnega mehanizma

f_{S3} – koeficient povečanja sile v vrvi zaradi vodoravnih sil na dvigajoče breme

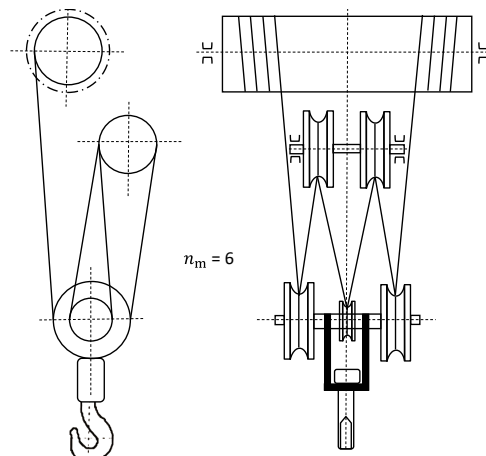
γ_p – varnostni koeficient

γ_n – koeficient tveganja

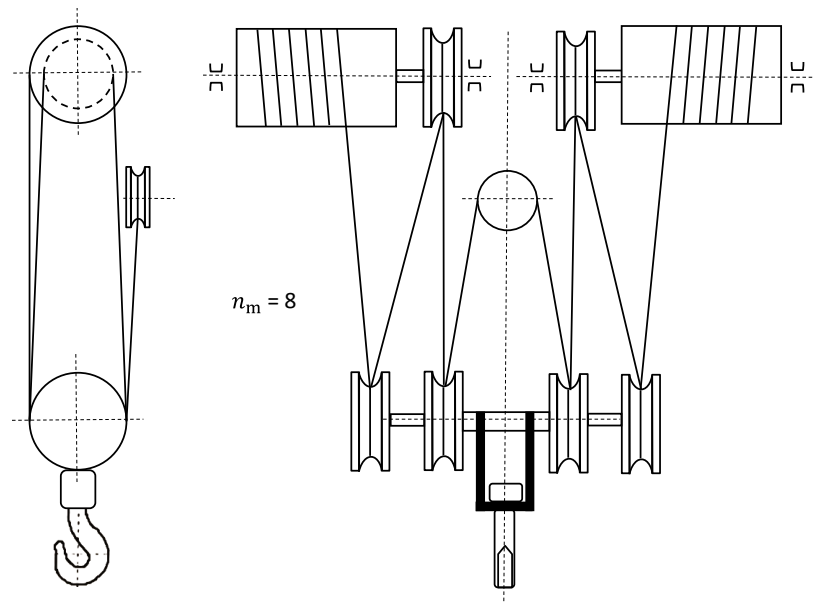
V nadaljevanju so predstavljene vrednosti števila nosilnih vrvi spodnjega škripčnika (n_m) pri različnih načinih obešanja bremena (slike 57, 58, 59).



Slika 57: Vrednost (n_m) pri 4-kratnem obešanju bremena
Vir: lasten



Slika 58: Vrednost (n_m) pri 6-kratnem obešanju bremena
Vir: lasten



Slika 59: Vrednost (n_m) pri 8-kratnem obešanju bremena
Vir: lasten

Vztrajnostni in gravitacijski učinki

- Obremenitev zaradi dviga bremena

V primeru obremenitve zaradi dviga bremena je dinamični koeficient (ϕ) enak izrazu (4.7):

$$\begin{aligned}\phi &= \phi_2 \\ \phi_2 &= \phi_{2,\min} + \beta_2 \cdot v_h\end{aligned}\tag{4.7}$$

kjer je:

- v_h – dvižna hitrost žerjava
- β_2 – koeficient, ki je odvisen od togosti konstrukcije žerjava oz. od osnovne dvižne skupine HC1, HC2, HC3 in HC4
- $\phi_{2,\min}$ – minimalna veličina ϕ_2 (preglednica 7), ki je odvisna od togosti m konstrukcije žerjava in načina upravljanja dvižnega mehanizma žerjava

– Pospeševanje ali zaviranje viseče obremenitve

V primeru pospeševanja ali zaviranja viseče obremenitve je dinamični koeficient (ϕ) enak izrazu (4.8):

$$\phi = 1 + \phi_5 \cdot \frac{a}{g} \quad (4.8)$$

kjer je:

ϕ_5 – dinamični koeficient za obremenitve, ki so posledica pospeševanja (EN 13001-2: 2014)

a – vertikalni pospešek ali pojemek

g – gravitacijski pospešek

– Testna obremenitev

V primeru testne obremenitve je dinamični faktor (ϕ) enak izrazu (4.9):

$$\phi = \phi_6 \quad (4.9)$$

kjer je:

ϕ_6 – dinamični koeficient za testne obremenitve (EN 13001-2: 2014)

Izkoristek škripčevja

– Izkoristek škripčevja dvižnega mehanizma

Povečanje sile v vrvi v odvisnosti od koeficienta izkoristka škripčevja (f_{S1}) je enako izrazu (4.10):

$$f_{S1} = \frac{1}{\eta_{tot}} \quad (4.10)$$

kjer je:

η_{tot} – celotni izkoristek škripčevja

Celotni izkoristek škripčevja (η_{tot}) je nadalje enak izrazu (4.11):

$$\eta_{\text{tot}} = \frac{(\eta_S)^{n_s}}{n_m} \cdot \frac{1 - (\eta_S)^{n_m}}{1 - \eta_S} \quad (4.11)$$

kjer je:

η_S – izkoristek vrvenice

$\eta_S = 0,985$ – za vrvenico, vležajeno s kotalnimi ležaji

n_m – število vrvi enojnega škripčevja dvižnega mehanizma

n_s – število fiksno nameščenih vrvenic med bobnom in škripcem dvižnega mehanizma

– Nevzporedne nosilne vrvi dvižnega mehanizma

Kadar so nosilne vrvi dvižnega mehanizma nevzporedne, posledično narašča sila v vrvi. Koeficient nevzporednosti nosilnih vrvi bremena (f_{S2}) je izbran za primer najbolj neugodne situacije. Koeficient nevzporednosti nosilnih vrvi bremena (f_{S2}) lahko izračunamo s poenostavljenim zapisom, ki je enak izrazu (4.12):

$$f_{S2} = \frac{1}{\cos \beta_{\max}} \quad (4.12)$$

kjer je:

$\beta_{\max} = 5^\circ$ – maksimalni kot med vrvenico in smerjo obremenitve

– Vodoravne sile na dvigajoče breme

Delovanje vodoravnih sil na breme ima izrazit vpliv na silo v vrvi, kar moramo upoštevati pri dimenzioniranju ustreznega premera dvižne vrvi. Koeficient povečanja sile v vrvi zaradi vodoravnih sil na dvigajoče breme (f_{S3}) lahko izračunamo s poenostavljenim zapisom, ki je enak izrazu (4.13):

$$f_{S3} = 1 + \frac{F_h}{m_H \cdot g \cdot \tan(\gamma)} \leq 2 \quad (4.13)$$

kjer je:

F_h – vodoravna sila, ki deluje na dvigajoče breme

m_H – masa bremena

g – gravitacijski pospešek

γ – kot med smerjo delovanja gravitacije in dvižno vrvjo, projicirano v ravnini (F_H) in (g)

Varnostni koeficient in koeficient tveganja

Glede na standard EN 13001-3-2: 2014 je varnostni koeficient (γ_p) razdeljen v tri razrede, in sicer:

- redne obremenitve: $\gamma_p = 1,34$ (kombinacija obremenitve A),
- občasne obremenitve: $\gamma_p = 1,22$ (kombinacija obremenitve B),
- izjemne obremenitve: $\gamma_p = 1,10$ (kombinacija obremenitve C).

Opomba: Kombinacije obremenitev A, B in C so predstavljene v standardu EN 13001-2:2014. Prav tako so vrednosti koeficienta tveganja obravnavane v standardu EN 13001-2:2014.

V primeru nenavpičnega pogona (ang. *non-vertical drive*) je sila v vrvi ($F_{Sd,s}$) enaka izrazu (4.14):

$$F_{Sd,s} = \frac{F_{equ}}{n_m} \cdot \phi \cdot f_{S1} \cdot f_{S2} \cdot \gamma_n \quad (4.14)$$

kjer je:

F_{equ} – ekvivalentna sila, ki deluje na škripčevje in je odvisna od sile teže, odporov pri gibanju (kotaljenje ali drsenje), sile vetra ter drugih vplivov, kot so spremembe klimatskih učinkov

n_m – število vrvi spodnjega škripčnika

ϕ – vztrajnostni dinamični koeficient

f_{S1} – koeficient povečanja sile v vrvi

f_{S2} – koeficient povečanja sile v vrvi

γ_n – koeficient tveganja

Dopustna sila v vrvi

Dopustna sila v vrvi ($F_{Rd,s}$) je enaka izrazu (4.15):

$$F_{Rd,s} = \frac{F_U}{\gamma_{rb}} \quad (4.15)$$

kjer je:

F_U – določena minimalna raztržna sila dvižne vrvi

γ_{rb} – minimalni koeficient odpornosti vrvi

Minimalni koeficient odpornosti vrvi (γ_{rb}), definiran v preglednici 10, je odvisen od geometrijskih lastnosti vrvenice in je enak izrazu (4.16):

$$\gamma_{rb} = 1,35 + \frac{5,0}{\left(\frac{D}{d}\right)^{0,8} - 4} \geq 2,07 \quad (4.16)$$

kjer je:

D – minimalni potrebni premer vravnega bobna, vrvenice in izravnalne vrvenice

d – premer dvižne vrvi

Razmerje premerov (D/d) ne sme biti manjše od 11,2.

Preglednica 10: Minimalni koeficient odpornosti vrvi (γ_{rb}), definiran po standardu EN 13001-2:2014

(D/d)	11,2	12,5	14,0	16,0	18,0	$\geq 20,0$
γ_{rb}	3,07	2,76	2,52	2,31	2,17	2,07

4.3.2 Dokaz trdnosti vrvi na utrujanje

Za dokaz trdnosti vrvi na utrujanje velja naslednji izraz (4.17):

$$F_{Sd,f} \leq F_{Rd,f} \quad (4.17)$$

kjer je:

$F_{Sd,f}$ – sila v vrvi mostnega žerjava na utrujanje

$F_{Rd,f}$ – dopustna sila v vrvi mostnega žerjava na utrujanje

Pri izbiri premera dvizne vrvi (d) moramo upoštevati ustrezen koeficient varnosti (ν), ki mora znašati vsaj $\nu = 5$ ali več.

Navpično dviganje bremena

Sila v vrvi

Opomba: Izračun sile v vrvi ($F_{Sd,f}$) je predviden za redne obremenitve (obremenitvena kombinacija A) z varnostnimi koeficienti ($\gamma_p = 1$) in izkoristkom škripčevja ($\eta_{tot} = 1$).

V primeru navpičnega dviganja bremena je sila v vrvi mostnega žerjava ($F_{Sd,f}$) enaka izrazu (4.18):

$$F_{Sd,s} = \frac{m_{Hr} \cdot g}{n_m} \cdot \phi^* \cdot f_{S2}^* \cdot f_{S3}^* \cdot \gamma_n \quad (4.18)$$

kjer je:

m_{Hr} – masa dviznega bremena

g – gravitacijski pospešek

n_m – število nosilnih vrvi spodnjega škripčnika

ϕ^* – dinamični koeficient vztrajnostnih in gravitacijskih učinkov

f_{S2}^* – koeficient povečanja sile v vrvi

f_{S3}^* – koeficient povečanja sile v vrvi

γ_n – koeficient tveganja

V primeru nenavpičnega pogona (ang. *non-vertical drive*) je sila v vrvi ($F_{Sd,f}$) enaka izrazu (4.19):

$$F_{Sd,s} = \frac{F_{equ}}{n_m} \cdot \phi^* \cdot f_{S2}^* \cdot \gamma_n \quad (4.19)$$

kjer je:

- F_{equ} – ekvivalentna sila, ki deluje na škripčevje in je odvisna od sile teže, odporov pri gibanju (kotaljenje ali drsenje), sile vetra in drugih vplivov, kot so spremembe klimatskih učinkov
- n_m – število vrvi spodnjega škripčnika
- ϕ^* – vztrajnostni dinamični koeficient
- f_{S2}^* – koeficient povečanja sile v vrvi
- γ_n – koeficient tveganja

Vztrajnostni učinki

Ker vztrajnostni učinki delujejo samo kratek časovni interval, ne vplivajo na vse upogibe vrvi. Dinamični koeficient vztrajnostnih in gravitacijskih učinkov (ϕ^*) je enak izrazu (4.20):

$$\phi^* = \sqrt[3]{\frac{(w-1) + \phi^3}{w}} \text{ kadar je } w \geq 2 \quad (4.20)$$

Opomba: $\phi^* = \phi$, kadar je $w = 2$.

kjer je:

- w – število upogibov pri pomiku
- ϕ – dinamični koeficient

Ne vzporedne nosilne vrvi

Za dokaz trdnosti vrvi na utrujanje upoštevamo vpliv nevzporednih nosilnih vrvi. Porazdelitev višine in kota v delovnem območju žerjava upoštevamo s koeficientom povečanja sile v vrvi (f_{S2}^*).

Kadar žerjav obratuje približno enako na vseh višinah najpogostejšega delovnega območja, je funkcija gostote verjetnosti $q(z)$ enakomerna in je enaka izrazu (4.21):

$$q(z) = \frac{1}{z_2 - z_1} \quad (4.21)$$

kjer je:

$q(z)$ – normalizirana gostota višine žerjava

Glede na izraz (4.21) lahko zapišemo izraz za koeficient povečanja sile v vrvi (f_{S2}^*), ki je enak (4.22):

$$f_{S2}^* = 1 + \left[\frac{1}{\cos \beta(z_2)} - 1 \right] \cdot \left(\frac{z_{\text{ref}} - z_2}{z_{\text{ref}} - z_1} \right)^{0,9} \quad (4.22)$$

kjer je:

z – višinska koordinata

z_{ref} – referenčna višina

(celotno področje delovanja žerjava je definirano od z_{min} do z_{max})

(najpogostejše delovno območje žerjava je definirano od z_1 do z_2)

β – kot med vrvjo in linijo delujoče sile

Vodoravne sile pri navpičnem dviganju bremena

Pri aplikacijah s številnimi nevzporednimi vrvmi je koeficient povečanja sile v vrvi (f_{S3}^*) enak izrazu (4.23):

$$f_{S3}^* = f_{S3} \quad (4.23)$$

Kadar vodoravne sile in pospeševanje pri dvigu bremena ne delujejo pogosto sočasno, je ($f_{S3}^* = 1$).

Dopustna sila v vrvi

Dopustna sila v vrvi ($F_{Rd,f}$) je enaka izrazu (4.24):

$$F_{Rd,f} = \frac{F_u}{\gamma_{rf} \cdot \sqrt[3]{S_r}} \cdot f_f \quad (4.24)$$

kjer je:

F_u – minimalna raztržna sila vrvi

S_r – parameter zgodovine obremenitvene sile v vrvi

γ_{rf} – minimalni koeficient odpornosti vrvi ($\gamma_{rf} = 7$)

f_f – koeficient nadaljnjih vplivov

4.4 Izbira bremenskega kavlja po standardu EN 13001-3-5:2016

4.4.1 Izbira materiala bremenskega kavlja

Najprej izberemo želeni material bremenskega kavlja, ki je definiran v preglednici 11. Izberemo ustrezen trdnostni razred kavlja z minimalno mejo plastičnosti $R_{p0,2}$.

Preglednica 11: Trdnostni razredi bremenskih kavljev, definirani po standardu EN 13001-3-5:2016

Trdnostni razred	Meja plastičnosti f_y (N/mm ²)
P	315
S	390
T	490
V	620
W	770

V nadaljevanju je prikazan dokaz statične in dinamične trdnosti bremenskega kavlja.

4.4.2 Dokaz statične trdnosti

Izhodišče za določitev statične trdnosti predstavlja izraz za silo $F_{Sd,s}$:

$$F_{Sd,s} \leq f_1 \cdot F_{Rd,sm} \quad (4.25)$$

kjer je:

$F_{Sd,si}$ – navpična statična sila na kavelj

f_1 – koeficient vpliva obratovalne temperature kavlja

$F_{Rd,sm}$ – minimalna statična mejna sila kavlja

Koeficient vpliva obratovalne temperature kavlja (f_1) za obratovalno temperaturo je enak izrazu (4.26):

$$\begin{aligned}
 f_1 &= 1 && \text{za } -50 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \\
 &\leq 100 \text{ }^\circ\text{C} \\
 f_1 &= 1 - \left(0,25 \cdot \left(\frac{T - 100}{150} \right) \right) && \text{za } 100 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \\
 &\leq 250 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned} \tag{4.26}$$

kjer je:

T – obratovalna temperatura, merjena v ($^\circ\text{C}$)

Minimalna statična mejna sila kavlja ($F_{Rd,sm}$) je enaka izrazu (4.27):

$$F_{Rd,sm} \geq \frac{F_{Sd,s}}{f_1} = \frac{\Phi_2 \cdot m_{RC} \cdot g \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n}{f_1} \tag{4.27}$$

kjer je:

m_{RC} – masa bremena, ki ga dvigamo s kavljem

Φ_2 – dinamični koeficient vztrajnostnih učinkov

g – gravitacijski pospešek

f_1 – koeficient vpliva obratovalne temperature kavlja

γ_p – delni varnostni koeficient

γ_n – koeficient tveganja

Ustrezno številko bremenskega kavlja izberemo iz preglednice 12 glede na minimalno statično mejno silo kavlja ($F_{Rd,sm}$) in izbrani material kavlja.

Preglednica 12: Statična mejna sila kavlja ($F_{Rd,s}$), merjena v (kN) in definirana po standardu EN 13001-3-5:2016

Št. kavlja	Enojni bremenski kavelj (tip bremenskega kavlja RS in RF)				
	Trdnostni razred bremenskega kavlja				
	P	S	T	V	W
006	5,9	7,3	9,1	11,6	14,4
010	8,6	10,7	13,4	17	21
012	11,5	14,2	17,8	23	28
020	15,0	19	23	30	37
025	17	21	27	34	42
04	26	32	41	51	64
05	31	38	48	60	75
08	45	55	69	88	109
1	54	66	83	105	131
1.6	75	93	116	147	183
2.5	107	132	166	210	260
4	153	189	237	300	373
5	193	239	301	381	473
6	242	299	376	476	591
8	305	377	474	600	745
10	377	467	587	743	922
12	474	587	738	934	1 160
16	607	752	944	1 195	1 484
20	763	944	1 186	1 501	1 864
25	967	1 197	1 504	1 903	2 363
32	1 219	1 509	1 896	2 399	2 980
40	1 512	1 872	2 352	2 976	3 696
50	1 917	2 373	2 982	3 773	4 686
63	2 408	2 981	3 746	4 740	5 886
80	3 040	3 764	4 729	5 984	7 431
100	3 854	4 771	5 995	7 585	9 421
125	4 885	6 048	7 599	9 615	11 941
160	6 105	7 558	9 496	12 015	14 922
200	7 702	9 536	11 981	15 160	18 828
250	9 634	11 927	14 986	18 961	23 549
320	12 154	15 048	18 906	23 922	29 709
400	15 416	19 086	23 980	30 342	37 683

4.4.3 Dokaz dinamične trdnosti

Izhodišče za določitev dinamične trdnosti predstavlja izraz za silo $F_{Sd,f}$:

$$F_{Sd,f} \leq \frac{f_1 \cdot F_{Rd,sm}}{\sqrt[3]{S_h}} = \frac{f_1 \cdot k_5^* \cdot F_{Rd,sm}}{\sqrt[3]{S_Q}} \quad (4.28)$$

kjer je:

$F_{Sd,fi}$ – navpična dinamična sila na kavelj

f_1 – koeficient vpliva obratovalne temperature kavlja

$F_{Rd, fm}$ – minimalna dinamična mejna sila kavlja

Koeficient vpliva obratovalne temperature kavlja (f_1) za obratovalno temperaturo je enak izrazu (4.29):

$$f_1 = 1 \quad \text{za } -50 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$f_1 = 1 - \left(0,25 \cdot \left(\frac{T - 100}{150} \right) \right) \quad \text{za } 100 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 250 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.29)$$

kjer je:

T – obratovalna temperatura merjena v ($^\circ\text{C}$)

Vrednost koeficienta pretvorbe (k_c) glede na število delovnih ciklov in razreda obremenitve je navedena v preglednici 13 pri presečišču stolpca U_i in vrstice Q_i .

$$k_c = \frac{k_5}{\sqrt[5]{S_Q}} \quad (4.30)$$

Preglednica 13: Konstruktivski parametri po standardu EN 13001-3-5:2016

	Razred Q	Q ₀	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅
	kQ	0,031 3	0,062 5	0,125	0,25	0,5	1
	$k_h = k_{(5)}$	0,008 69	0,017 76	0,046 82	0,127 52	0,355 82	1
	Koef. k_5^*	1,292	1,286	1,217	1,144	1,070	1
Razred U	C [cikli]	Koeficient pretvorbe $k_c = k_5^* / \sqrt[5]{S_Q}$					
U ₀	16 000	6,78	5,88	4,84	3,96	3,23	2,63
U ₁	31 500	5,93	5,14	4,23	3,46	2,82	2,29
U ₂	63 000	5,16	4,47	3,68	3,01	2,45	2,00
U ₃	125 000	4,50	3,90	3,21	2,63	2,14	1,74
U ₄	250 000	3,92	3,39	2,80	2,29	1,86	1,52
U ₅	500 000	3,41	2,95	2,43	1,99	1,62	1,32
U ₆	1 000 000	2,97	2,57	2,12	1,73	1,41	1,15
U ₇	2 000 000	2,58	2,24	1,84	1,51	1,23	1,00
U ₈	4 000 000	2,25	1,95	1,61	1,31	1,07	0,87
U ₉	8 000 000	1,96	1,70	1,40	1,14	0,93	0,76

Minimalna dinamična mejna sila kavljaja ($F_{Rd,fm}$) je enaka izrazu (4.31):

$$F_{Rd,fm} \geq \frac{F_{Sd,f}}{f_1 \cdot \left(\frac{k_5}{\sqrt{s_Q}} \right)} = \frac{\Phi_2 \cdot m_{RC} \cdot g \cdot \gamma_n}{f_1 \cdot k_c} \quad (4.31)$$

kjer je:

m_{RC} – masa bremena, ki ga dvigamo s kavljajem

Φ_2 – dinamični koeficient vztrajnostnih učinkov

g – gravitacijski pospešek

γ_n – koeficient tveganja

f_1 – koeficient vpliva obratovalne temperature kavljaja

k_c – koeficient pretvorbe

Ustrezno številko kavljaja izberemo iz preglednice 12 glede na minimalno dinamično mejno silo kavljaja ($F_{Rd,fm}$) in izbrani material kavljaja.

Preglednica 14: Dinamična mejna sila kavljaja ($F_{Rd,fm}$), merjena v (kN) in definirana po standardu EN 13001-3-5:2016

Št. kavljaja	Enojni bremenski kavelj (tip bremenskega kavljaja RS in RF)				
	Trdnostni razred bremenskega kavljaja				
	P	S	T	V	W
006	2,4	2,6	3,1	3,4	3,8
010	3,5	3,8	4,5	5,0	5,6
012	4,7	5,0	6,0	6,6	7,4
020	6,1	6,6	7,9	8,7	10
025	7,0	7,5	9	10	11
04	11	11	14	15	17
05	12	13	16	17	19
08	17	19	22	24	27
1	20	22	26	29	32
1.6	28	30	35	39	44
2.5	38	41	49	54	61
4	53	58	69	75	85
5	66	71	85	94	106
6	81	88	104	115	129
8	101	108	129	142	160
10	122	132	157	172	194
12	151	162	193	213	240
16	190	204	243	267	301
20	234	252	300	330	371

Št. kavlja	Enojni bremenski kavelj (tip bremenskega kavlja RS in RF)				
	Trdnostni razred bremenskega kavlja				
	P	S	T	V	W
25	292	315	375	412	465
32	369	397	473	520	586
40	457	492	586	645	727
50	580	624	743	817	921
63	728	784	933	1 027	1 157
80	919	990	1 178	1 296	1 461
100	1 165	1 255	1 494	1 643	1 852
125	1 477	1 591	1 894	2 083	2 348
160	1 846	1 988	2 366	2 603	2 934
200	2 329	2 508	2 986	3 284	3 702
250	2 913	3 137	3 734	4 108	4 630
320	3 675	3 957	4 711	5 182	5 842
400	4 661	5 019	5 975	6 573	7 409

Opomba: Dokončna izbira kavlja mora ustrezati statičnemu in dinamičnemu pogoju.

Po izbiri ustreznega kavlja izvedemo še kontrolo napetosti v najmanjšem prerezu kavlja na nateg in kontrolo strižne napetosti v prvem ovoju.

4.4.4 Kontrola napetosti v najmanjšem prerezu na nateg

Natezna napetost v najmanjšem prerezu kavlja (σ_s) je enaka izrazu (4.31):

$$\sigma_s = \frac{4 \cdot \Phi_2 \cdot m_{RC} \cdot g \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n}{\pi \cdot d_4^2} \quad (4.31)$$

kjer je:

m_{RC} – masa bremena, ki ga dvigamo s kavljem

Φ_2 – dinamični koeficient vztrajnostnih učinkov

g – gravitacijski pospešek

γ_p – delni varnostni koeficient

γ_n – koeficient tveganja

d_4 – premer najmanjšega prereza kavlja (preglednica 13)

Preglednica 13: Dimenzije kavlja in navoja po standardu EN 13001-3-5:2016

(d_1)	Oznaka navoja	d_3	p	d_4	d_5	r_9	s	r_{th}	r_p	t	m	(D)	(D_1)
60	Rd 50 × 6	50	6	42	43,4	4	20	1,33	0,92	3,3	45	50,6	44
67	Rd 56 × 6	56	6	48	49,4	4	20	1,33	0,92	3,3	50	56,6	50
75	Rd 64 × 8	64	8	54	55,2	4	25	1,77	1,23	4,4	56	64,8	56
85	Rd 72 × 8	72	8	62	63,2	4	25	1,77	1,23	4,4	63	72,8	64
95	Rd 80 × 10	80	10	68	69,0	6	30	2,21	1,54	5,5	71	81	70
106	Rd 90 × 10	90	10	78	79,0	6	30	2,21	1,54	5,5	80	91	80
118	Rd 100 × 12	100	12	85	86,8	6	40	2,65	1,84	6,6	90	101,2	88
132	Rd 110 × 12	110	12	95	96,8	6	40	2,65	1,84	6,6	100	111,2	98
150	Rd 125 × 14	125	14	108	109,6	8	45	3,10	2,15	7,7	112	126,4	111
170	Rd 140 × 16	140	16	120	122,4	10	50	3,54	2,46	8,8	125	141,6	124
190	Rd 160 × 18	160	18	138	140,2	10	55	3,98	2,77	9,9	140	161,8	142
212	Rd 180 × 20	180	20	156	158,0	12	60	4,42	3,07	11,0	160	182	160
236	Rd 200 × 22	200	22	173	175,8	12	70	4,86	3,38	12,1	180	202,2	178
265	Rd 225 × 24	225	24	196	198,6	12	80	5,31	3,69	13,2	200	227,4	201
300	Rd 250 × 28	250	28	217	219,2	15	90	6,19	4,30	15,4	225	252,8	222
335	Rd 280 × 32	280	32	242	244,8	18	100	7,07	4,92	17,6	250	283,2	248
375	Rd 320 × 36	320	36	278	280,4	20	110	7,96	5,53	19,8	280	323,6	284
425	Rd 360 × 40	360	40	314	316,0	22	125	8,842	6,144	22,0	320	364,0	320
475	Rd 400 × 44	400	44	349	351,6	24	140	9,726	6,758	24,2	360	404,4	356

Kavelj je ustrezno izbran, če je zagotovljen naslednji izraz:

$$\sigma_n \leq \sigma_{ndop} = 0,8 \cdot R_{P_{0,2}} \quad (4.32)$$

kjer je:

σ_n – dejanska natezna napetost

σ_{ndop} – dopustna natezna napetost

$R_{P_{0,2}}$ – meja plastičnosti

4.4.5 Kontrola strižne napetosti v prvem navoju

Strižna napetost v prvem navoju kavlja (τ_s) je enaka izrazu (4.33):

$$\tau_s = \frac{\Phi_2 \cdot m_{RC} \cdot g \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n}{\pi \cdot d_5 \cdot h_3} \quad (4.33)$$

kjer je:

m_{RC} – masa bremena, ki ga dvigamo s kavljem

Φ_2 – dinamični koeficient vztrajnostnih učinkov

g – gravitacijski pospešek

γ_p – delni varnostni koeficient

γ_n – koeficient tveganja

d_5 – premer navoja kavlja

h_3 – korak navoja kavlja

Kavelj je ustrezno izbran, če je zagotovljen naslednji izraz:

$$\tau_s \leq \tau_{sdop} = 0,65 \cdot R_{P_{0,2}} \quad (4.34)$$

kjer je:

σ_s – dejanska strižna napetost

σ_{sdop} – dopustna strižna napetost

$R_{P_{0,2}}$ – meja plastičnosti

Literatura

- [1] EN 13001-1:2015 - Cranes - General design - Part 1: General principles and requirements, CEN, Brussels.
- [2] EN 13001-2:2014 - Crane safety - General design - Part 2: Load actions, CEN, Brussels.
- [3] EN 13001-3-2:2014 - Cranes - General design - Part 3-2: Limit states and proof of competence of wire ropes in reeving systems, CEN, Brussels.
- [4] EN 13001-3-3:2014 - Cranes - General design - Part 3-3: Limit states and proof of competence of wheel/rail contacts, CEN, Brussels.
- [5] EN 13001-3-4:2019 - Cranes - General design - Part 3-4: Limit states and proof of competence of machinery - Bearings, CEN, Brussels.
- [6] EN 13001-3-5:2016 - Cranes - General design - Part 3-5: Limit states and proof of competence of forged hooks, CEN, Brussels.
- [7] EN 13001-3-6:2018 - Cranes - General design - Part 3-6: Limit states and proof of competence of machinery - Hydraulic cylinders, CEN, Brussels.
- [8] Herold, Z., Ščap, D., Hoić, M. *Prenosila i dizala*, Sveučilište u zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2020.
- [9] Isakovič, S, Klopčar, F. *Transportne naprave*, Tehniška založba Slovenije, 1992.
- [10] Isakovič, S. *Transportne naprave*, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 1963.
- [11] Potrč, I. *Dvigalne naprave – neobjavljeno zbrano gradivo*, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, 1995.
- [12] Potrč, I. *Preračun mačka na tekalnem žerjavu – neobjavljen rokopis*, Univerza v Mariboru, Visoka tehniška šola, 1985.
- [13] Potrč, S. *Transportne naprave - slikovni del z zbirko tabel*. Univerza v Mariboru, Visoka tehniška šola, 1980.
- [14] Ruckdeschel, W. *Faszination Hebetchnik*, Vereinigte Fachverlage, Mainz, R. Nemčija, 1991.
- [15] Srt, N. *Računalniško podprto načrtovanje mostnih žerjavov*, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, 2012.
- [16] Žlender, M. *Primerjava zasnovne mostnih dvigal po SIST DIN 15018 in SIST EN 13001-2 pristopu*, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, 2013.

Spletni viri:

Adobe Stock

<https://stock.adobe.com/>, dostop 18. 10. 2021

Statista

<https://www.statista/>, dostop 18. 10. 2021

Spannwerk Buntbahn

<http://spannwerk.buntbahn.de/fotos/data/714/01-Seitenansicht.jpg>, dostop 18. 10. 2021

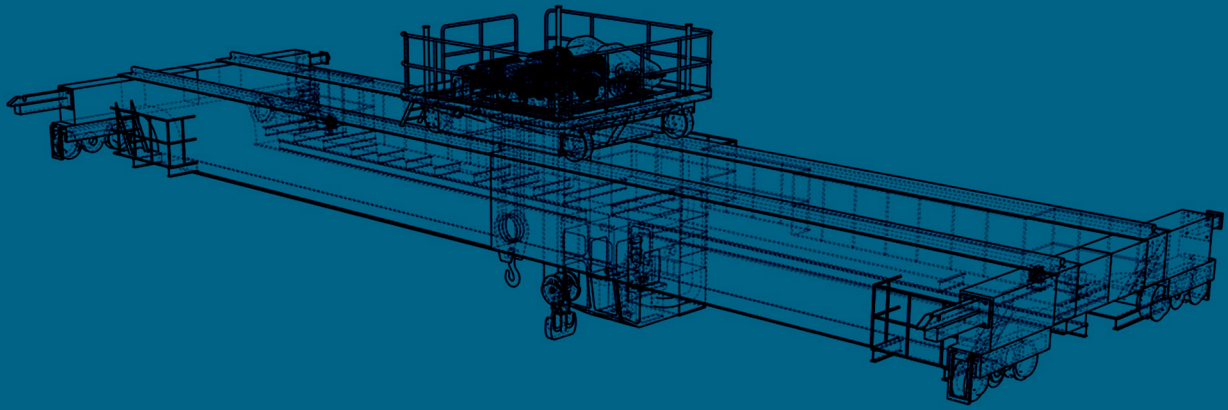
MOSTNI ŽERJAVI V INTRALOGISTIKI

TONE LERHER

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, Slovenija
tone.lerher@um.si

Povzetek Učbenik obravnava transportne naprave za dviganje bremen v logistiki. Poleg kratkega zgodovinskega pregleda uporabe transportne in dvižne tehnike so predstavljene posamezne izvedbe dvigal in žerjavov, ki se uporabljajo v praksi. V učbeniku so posebej obravnavani mostni žerjavi v intralogistiki skupaj z njihovimi osnovnimi komponentami. Naveden je evropski standard EN 13001, ki je v Sloveniji in širše sprejet in uveljavljen standard za načrtovanje mostnih žerjavov. Podani so standardni analitični in empirični izrazi za določitev izbire premera dvižne vrvi po standardu EN 13001-2:2014 in izbire bremenskega kavlja po standardu EN 13001-3-5:2016.

Ključne besede:
logistika,
dvigala in žerjavi,
mostni žerjavi,
standard EN 13001,
standardni preračun
dvižne vrvi in
bremenskega kavlja.



Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo